УДК 621.923

ФОРМИРОВАНИЕ МИКРОГЕОМЕТРИИ ШЛИФУЕМОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Новиков Ф.В., докт. техн. наук

(*г. Харьков, Украина*)

The idealized approach to calculation of main specifications of microgeometry of a surface which is generatrix at grinding is offered.

Управление параметрами шероховатости обработки на финишных операциях – важнейшая задача технологии машиностроения.

Рассмотрим условия формирования шероховатости поверхности при шлифовании. В работе [1] приведена расчётная зависимость относительной полноты профиля круга $\varepsilon(\bar{y})$ - вероятностной функции, идентичной классической относительной опорной длине микропрофиля обработанной поверхности (рис. 1)

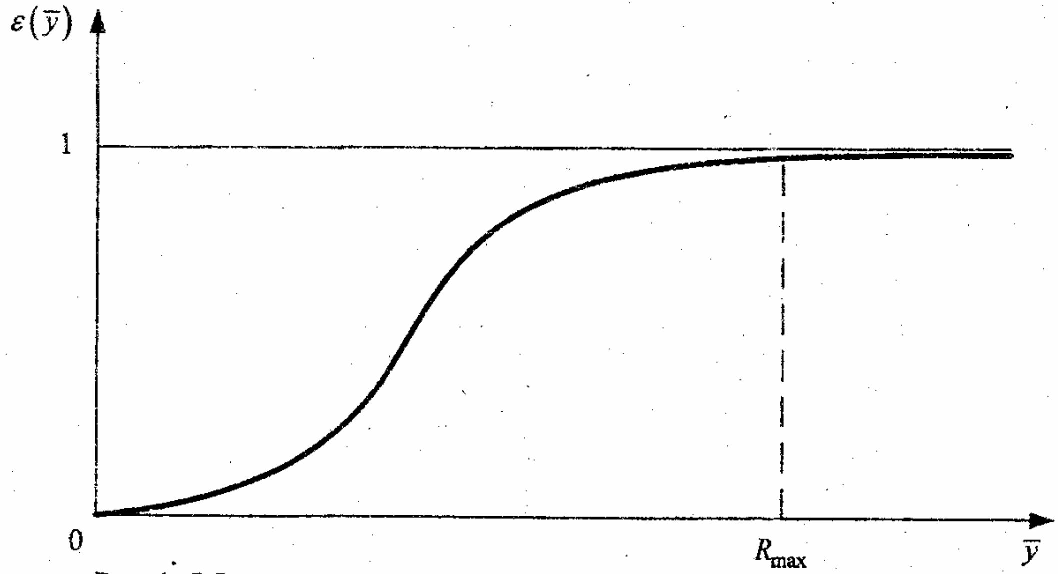


Рис. 1. Общий вид относительной полноты профиля круга.

$$\varepsilon(\bar{y}) = 1 - \exp\left(-\frac{tg\gamma \cdot k \cdot V_{кр}}{3 \cdot b \cdot V'_{дет}} \cdot \bar{y}\right), \tag{1}$$

где k - поверхностная концентрация зёрен круга, шт/м^2;

b - максимальная высота выступания зёрен над уровнем связки, м;

$V_{кр}$ - скорость круга, м/с;

$V'_{дет}$ - скорость прямолинейного образца, движущегося по нормали к кругу, м/с;

γ - половина угла заострения зерна;

$\bar{y}$ - координата, направленная к кругу, м.

Максимальная высота микронеровностей на обработанной поверхности R_{max} определяется из условия $\varepsilon\left(\bar{y} = R_{max}\right) = \varepsilon_0$. Тогда, логарифмируя (1), получим

$$R_{max} = \sqrt[3]{\frac{-3 \cdot b \cdot V'_{дет} \cdot ln(1-\varepsilon_0)}{tg\gamma \cdot k \cdot V_{кр}}}, \tag{2}$$

Полученная зависимость содержит неопределённый параметр $-ln(1-\varepsilon_0)$, который может изменяться в значительных пределах, табл. 1.

Таблица 1.

Расчётные значения $-ln(1-\varepsilon_0)$

ε_0	0,85	0,9	0,99	0,999	0,9999	0,99999	0,999999
$-ln(1-\varepsilon_0)$	1,897	2,3	2,995	4,6	6,907	11,5	13,81

Для определения параметра ε_0 рассмотрим расчётную схему, рис. 2. Рабочую поверхность круга представим множеством элементарных горизонтальных слоёв бесконечно малой толщины dy_s и определим количество вершин зёрен, прошедших через аналогичные горизонтальные элементарные слои плоскости, толщиной dy_s и шириной B, равной высоте круга, рис. 2. Через первый, наиболее удалённый от уровня связки элементарный слой плоскости, прошло n_1 вершин зёрен первого элементарного слоя рабочей поверхности круга

$$n_1 = k \cdot B \cdot V_{кр} \cdot \tau \cdot \frac{dy_s}{b}, \tag{3}$$

где $\tau = \frac{dy_s}{V'_{дет}}$ - время, за которое плоскость в радиальном направлении переместилась на величину dy_s;

$\frac{dy_s}{b}$ - коэффициент, учитывающий изменение поверхностной концентрации зёрен круга k на уровне первого элементарного слоя.

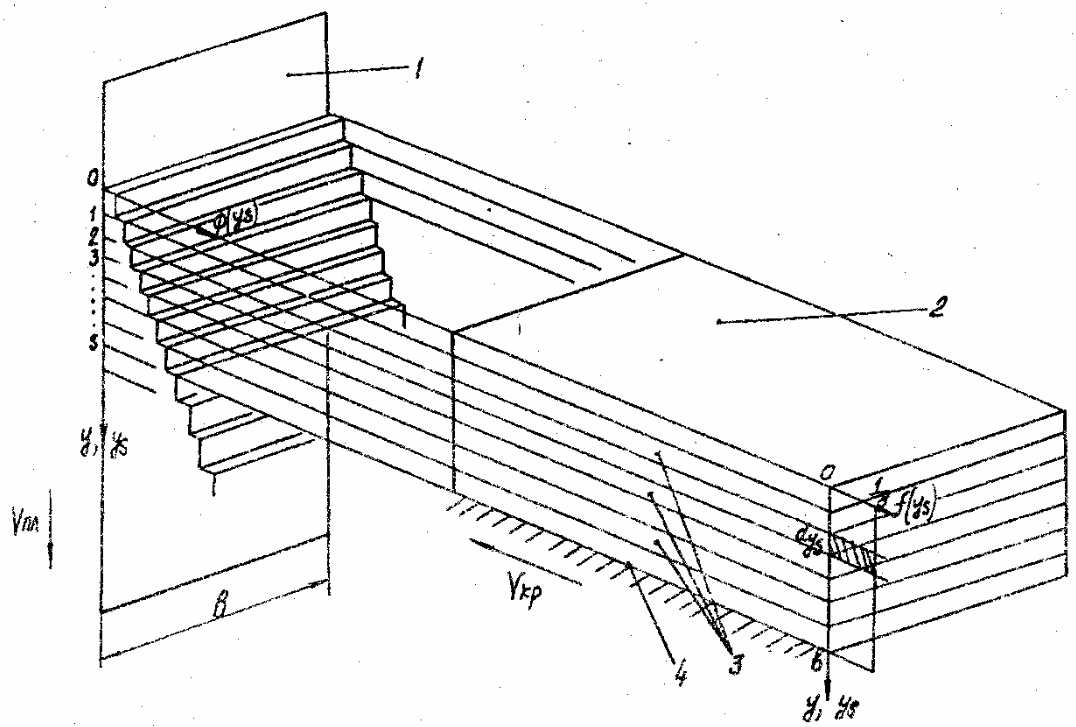


Рис. 2. Расчётная схема закона распределения вершин проекций зёрен на движущейся плоскости: 1 – движущаяся плоскость; 2 – элементарный объём рабочей поверхности круга; 3 – зёрна круга; 4 – уровень связки круга.

Через второй, ниже расположенный элементарный слой плоскости, прошли вершины зёрен первого и второго элементарных слоёв рабочей поверхности круга, по количеству вдвое больше n_1.

$$n_2 = 2 \cdot k \cdot B \cdot \frac{dy_s}{V'_{дет}} \cdot \frac{dy_s}{b}, \tag{4}$$

Через третий элементарный слой плоскости прошли вершины зёрен первого, второго и третьего элементарных слоёв рабочей поверхности круга, по количеству втрое больше n_1

$$n_3 = 3 \cdot k \cdot B \cdot \frac{dy_s}{V'_{дет}} \cdot \frac{dy_s}{b}, \tag{5}$$

Через S-тый элементарный слой, по аналогии, прошло n_S вершин зёрен

$$n_S = S \cdot k \cdot B \cdot \frac{dy_s}{V'_{дет}} \cdot \frac{dy_s}{b}, \tag{6}$$

Как видим, равномерный закон распределения высот выступания вершин зёрен над уровнем связки $f(y_S)$ трансформировался в треугольный $\varphi(y_S)$ на движущейся плоскости. Учитывая независимый случайный характер наложения проекций зёрен на плоскости, можно полагать, что в пределах одного элементарного горизонтального слоя плоскости вершины зёрен по ширине распределены равномерно и каждому зерну соответствует одинаковая по площади прямоугольная ячейка, рис. 3. Ширина ячейки первого элементарного слоя равна

$$C_1 = \frac{B}{n_1} = \frac{b \cdot V'_{дет}}{k \cdot V_{кр} \cdot dy_s^2}, \tag{7}$$

Ширина ячейки S-того элементарного слоя плоскости определяется аналогичным образом

$$C_S = \frac{b \cdot V'_{дет}}{S \cdot k \cdot V_{кр} \cdot dy_s^2}, \tag{8}$$

С ростом порядкового номера ячейки элементарного слоя ширина ячейки и соответственно расстояние между вершинами зёрен уменьшаются, рис.3. В результате взаимного перекрытия проекций зёрен одного элементарного слоя плоскости образуется пилообразный элементарный профиль, характеризуемый определённой частотой и амплитудой. С увеличением порядкового номера слоя частота элементарного профиля возрастает, а амплитуда уменьшается.

Следуя такой расчётной схеме, максимальную высоту микронеровностей приведенного режущего профиля круга определяет тот элементарный профиль, для которого функционал

$$R_{\max} = (S-1) \cdot dy_s + \left(dy_s + \frac{C_S}{tg\gamma} \right) \tag{9}$$

принимает максимальное значение,

где $(S-1) \cdot dy_s$ - координата $(S-1)$ элементарного слоя;

$\left(dy_s + \frac{C_S}{tg\gamma} \right)$ - максимальная амплитуда S-того элементарного профиля, полученная в соответствии с принятым расположением проекций зёрен на плоскости, рис. 2. После подстановки (8) в (9) и несложных преобразований параметр $R_{\max}$ выразится

$$R_{max} = S \cdot dy_s + \frac{b \cdot V'_{дет}}{tg\gamma \cdot S \cdot k \cdot V_{кр} \cdot dy_s^2}, \tag{10}$$

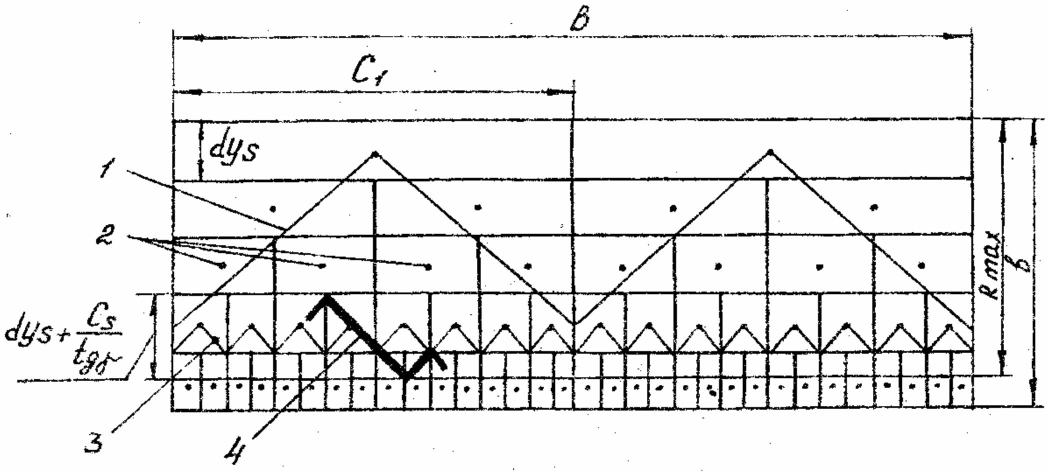


Рис. 3. Схема наложения и перекрытия элементарных пилообразных профилей круга на движущейся плоскости: 1 – пилообразный профиль, образованный первым элементарным слоем зёрен; 2 – вершины проекций зёрен; 3 - пилообразный профиль, образованный S-тым элементарным слоем зёрен; 4 – участок профиля, определяющий его максимальную амплитуду.

Функционал R_{max}, описанный зависимостью (10), носит экстремальный характер от изменения двух переменных dy_s и S, так как с их увеличением первое слагаемое увеличивается, а второе уменьшается.

Первоначально определим экстремальное значение dy_s, при котором R_{max} принимает минимальное значение, рис. 4. Подчинив функционал R_{max} условию экстремума $-R'_{max} = 0$, получим

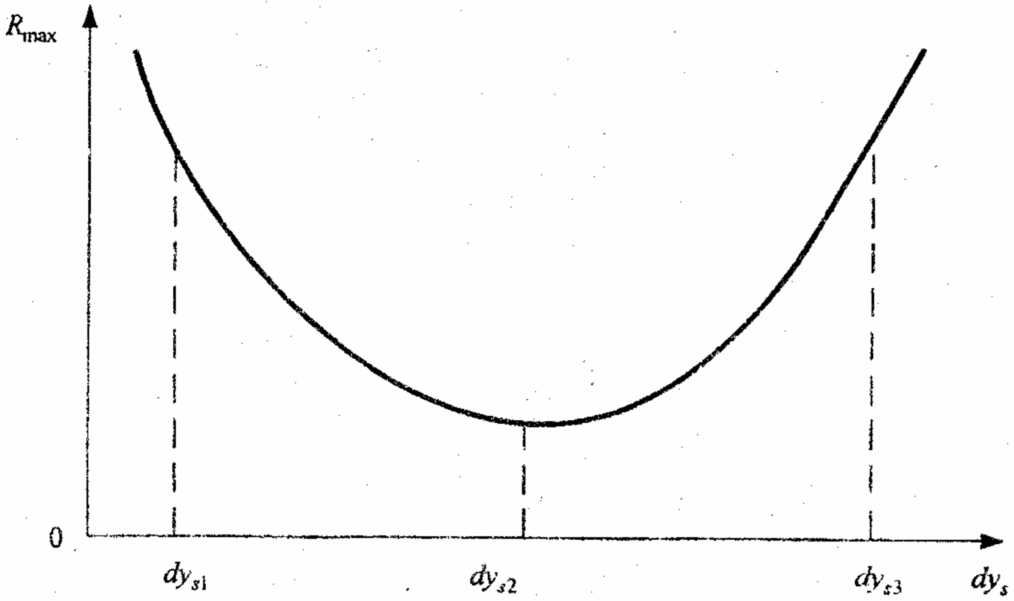


Рис. 4. Общий вид зависимости $R_{max} - dy_s$

$$dy_s = \sqrt[3]{\frac{2 \cdot b \cdot V'_{дет}}{tg\gamma \cdot S^2 \cdot k \cdot V_{кр}}}, \tag{11}$$

тогда

$$R_{\max} = \sqrt[3]{\frac{6,75 \cdot b \cdot S \cdot V'_{дет}}{tg\gamma \cdot k \cdot V_{кр}}}. \tag{12}$$

Наименьшее значение $R_{\max}$ достигается при $S = 1$, т.е. определяющим является профиль первого элементарного слоя плоскости. Ширина ячейки C_1 для такого элементарного слоя в два раза меньше его высоты dy_s. Зависимость (12) идентична зависимости (2) при $\varepsilon_0 = 0,895$.

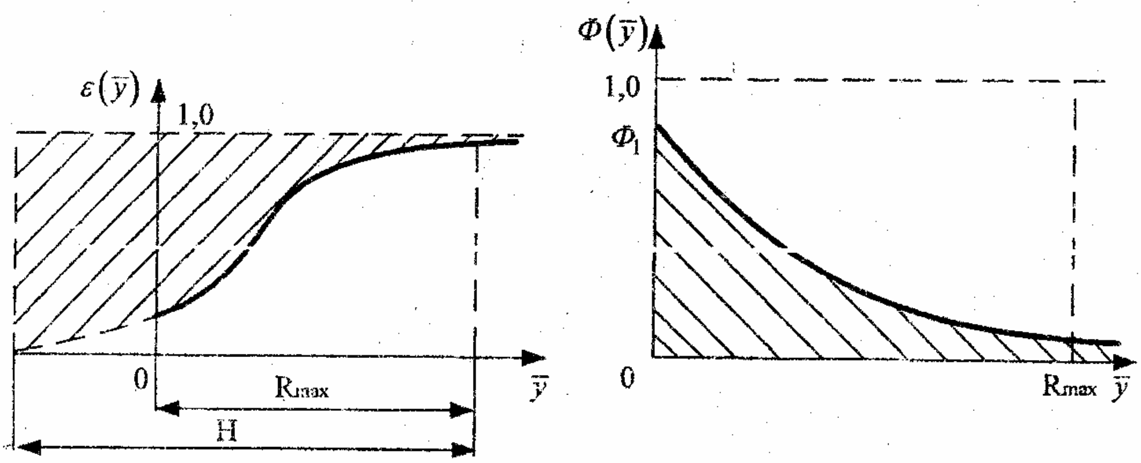
В работе [1] получена аналитическая зависимость для определения относительной полноты профиля круга $\varepsilon(\bar{y})$ с учёт ом износа зёрен

$$\varepsilon(\bar{y}) = 1 - e^{-\left[\frac{tg\gamma \cdot k \cdot (1-\eta^2)}{3 \cdot b} \cdot \frac{V_{кр}}{V'_{дет}} \cdot \bar{y}^3\right]}, \tag{13}$$

где η - безразмерный коэффициент, определяющий степень затупления зёрен, 0...1. При $\eta = 0$ зависимости (1) и (13) идентичны. Характер изменения функции $\varepsilon(\bar{y})$ показан на рис. 5а. Заштрихованная область определяет оставшийся материал в виде микронеровностей. Максимальная высота микронеровностей равна $R_{\max}$. Максимальную (условную) глубину внедрения материала в рабочую поверхность круга, отсчитывая её от вершины неизношенного максимально выступающего над уровнем связки зерна, обозначим H. Параметр H определится из условия $\varepsilon(H) = 0,895$. Относительная опорная длина микропрофиля $\Phi(\bar{y})$ выражается

$$\Phi(\bar{y}) = e^{-\frac{tg\gamma \cdot k \cdot (1-\eta^2)}{3 \cdot b} \cdot \frac{V_{кр}}{V'_{дет}} \cdot \bar{y}^3}, \tag{14}$$

Графически функция $\Phi(\bar{y})$ показана на рис. 5б. Чем больше коэффициент η, тем меньше значение функции Φ_1. При $\eta \to 1$, т.е. при шлифовании кругом с затупившимися зёрнами, $\Phi_1 \to 0$. Это означает, что доля оставшегося материала в виде микронеровностей в слое толщиной $R_{\max}$ не существенна.



а б

Рис. 5. Общий вид зависимостей $\varepsilon(\bar{y}) - \bar{y}$ и $\Phi(\bar{y}) - \bar{y}$

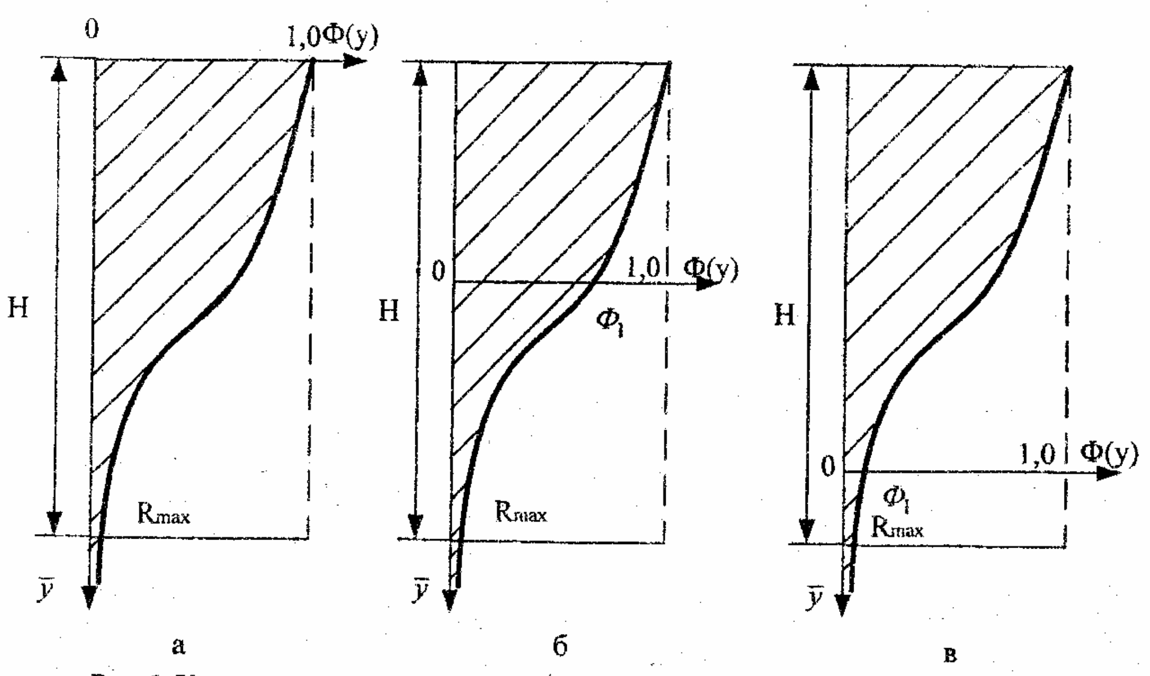


Рис.6. Характер изменения функции $\Phi(\bar{y})$.

На рис. 6 показаны положения функции $\Phi(\bar{y})$ для различных значений η $\eta_в > \eta_б > \eta_а$. С увеличением $\eta \to 1$ параметр H увеличивается, а R_{max} - уменьшается. Параметры H и R_{max} связаны зависимостью $x = H - R_{max}$, где x - величина линейного износа максимально выступающего над уровнем связки зерна. Очевидно, с увеличением коэффициента η величина x увеличивается.

Из рис. 6 следует, что одному значению R_{max} соответствуют различные значения функции Φ_1.

Изменяя систему координат, приходим к классическому построению относительной опорной длины микропрофиля обработанной поверхности при фиксированном значении R_{max}, рис. 7 $(\eta_3 > \eta_2 > \eta_1 = 0)$. Чем больше коэффициент η, тем меньше относительная опорная длина микропрофиля и соответственно контактная жёсткость деталей машин, определяемая углом наклона функции $\Phi(y)$ к оси OY.

Теоретические решения подтверждаются экспериментальными данными [2], рис. 8, одному значению $R_{max}(R_a)$ соответствуют различные кривые относительной длины микропрофиля t_p (где p - координата профиля, отсчитываемая от вершины максимального выступа материала). Наименьшая относительная опорная длина микропрофиля достигается после шлифования абразивным кругом, а наибольшая после шлифования алмазным кругом на металлической связке и кругом из кубонита. Это связано с тем, что при шлифовании абразивным кругом безразмерный коэффициент η больше, чем при шлифовании алмазным кругом и кругом из кубонита. Следовательно, шлифование кругами из синтетических сверхтвёрдых материалов позволяет увеличить опорную площадь и соответственно несущую способность и износостойкость деталей машин. Поэтому при выборе оптимального метода обработки необходимо знать его возможности по формированию как высотных параметров шероховатости R_a, R_z, R_{max}, так и относительной опорной длины микропрофиля обработанной поверхности.

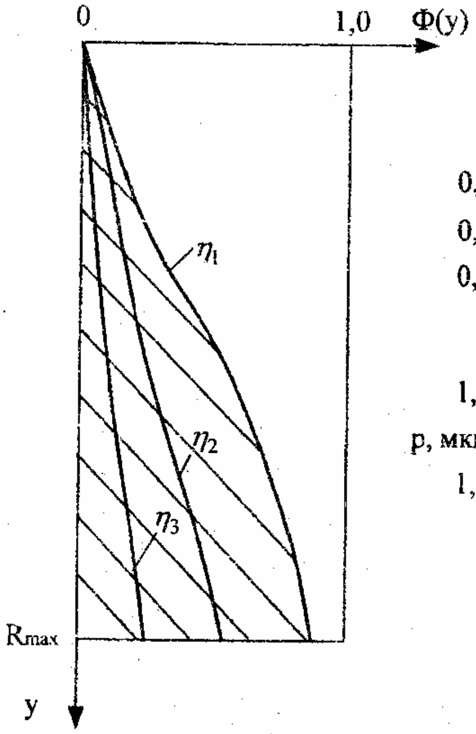


Рис.7. Зависимость $\Phi(\bar{y}) - \bar{y}$.

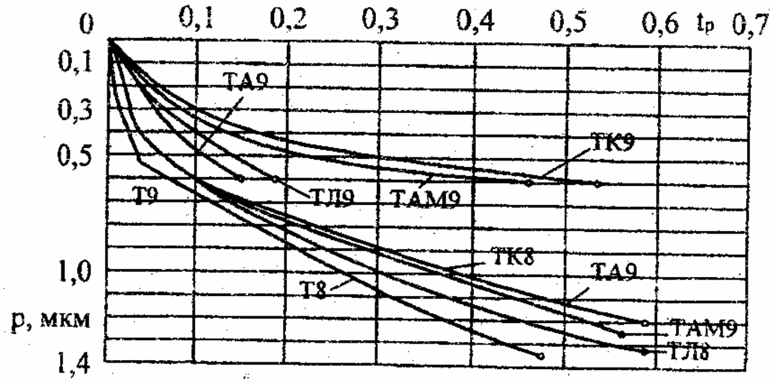


Рис. 8. Начальные участки кривых опорных поверхностей, обработанных шлифованием торцом круга (обозначения кривых соответствуют условным обозначениям обработки, приведенным в табл. 2)

Таблица 2.

Условное обозначение обработки	Характеристика круга	Режим обработки			
		t, мм	$S_{поп}$, мм/дв. х	$V_{кр}$, м/с	$S_{кр}$, м/мин
Т8	12А2 150х32х15 24А40СМ2К	0,01	0,007	25	6
Т9			0,003		4
ТА8	12А2 150х32х12 АС2 160/125-Б3-4		0,005		4
ТА9			0,003		4
ТЛ8	12А2 150х32х12 ЛО 160/100-Б1-4		0,005		4
ТЛ9			0,003		4
ТАМ8	12А2 125х32х10 АС6 160/125-М04-4		0,01	21	3
ТАМ9			0,01		1
ТК8	12А2 125х32х10 КОС 160/125-Б8-4		0,02		3
ТК9			0,02		1

Список литературы:1. Новиков Ф.В. Физические и кинематические основы высокопроизводительного алмазного шлифования. – Дис. … докт. техн. наук – Харьков, 1995. – 431 с. 2. Технологические методы повышения износостойкости деталей машин /Рыжов Э.В. – К.: Наук. думка, 1984. – 272 с.