

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРОЦЕССА ПРОФИЛЬНОГО ШЛИФОВАНИЯ С УЧЁТОМ ЗАТУПЛЕНИЯ И ИЗНАШИВАНИЯ

*А.В. Масилевич, Е.И. Махаринский*

Разработаны алгоритм и программа для определения составляющих силы шлифования  $P_x$ ,  $P_y$ ,  $P_z$  при любой форме рабочей поверхности шлифовального круга, некоторые из которых показаны на рис. 1.

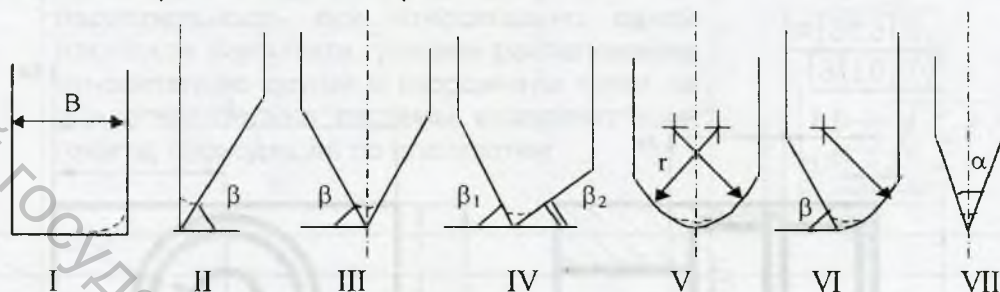


Рис. 1 — зона износа

Исходными данными для определения составляющих силы шлифования являются: обобщенный коэффициент режущей способности [1]; коэффициент абразивного резания  $f_a = P_z/P_y$ ; глубина канавки; рисунок профиля рабочей части шлифовального круга, выполненный в формате DXF ASCII, который поддерживает большинство популярных CAD пакетов; скорость подачи; режим работы отдельных участков шлифовального круга (самозатачивание или затупление); модель изнашивания "острой" кромки профиля рабочей поверхности; модель затупления.

Алгоритм основан на разбиении круга на одноугольные участки достаточно малой ширины  $\Delta B$ . Составляющие силы шлифования находятся как суммы элементарных сил шлифования на этих участках из системы:

$$\begin{cases} P_x = \sum_{i=1}^N [\sin \beta_i] \Delta P_{3N}; \\ P_y = \sum_{i=1}^N [\cos \beta_i \cdot \cos \mu_i - f_a \cdot \sin \mu_i] \Delta P_{3N}; \\ P_z = \sum_{i=1}^N [\cos \beta_i \cdot \sin \mu_i + \cos \mu_i] \Delta P_{3N}; \end{cases}$$

где  $N$  – число микроучастков;  $\beta_i$  – угол наклона образующей текущего микроучастка;  $\mu_i$  – угол между проекцией радиальной составляющей силы резания для микроучастка на плоскость  $ZOY$  и осью  $OY$  (характеризует распределение давления по дуге контакта),

$$\mu_i = 0.97843 \cdot \sqrt{(2a_i / D_i)};$$

$$\Delta P_{3N} = 60 \cdot [a_i \cdot s \cdot L_i / (D_i \cdot \pi \cdot n \cdot K_{po})] \Delta B;$$

$a_i$ ,  $L_i$ ,  $D_i$  – соответственно глубина, длина дуги контакта, диаметр  $i$ -ого микрокруга;  $s$  – продольная подача;  $n$  – частота вращения шлифовального круга.

При профильном шлифовании одной из важнейших характеристик процесса является стойкость профиля шлифовального круга, который искажается в результате износа. Для шлифовальных кругов, имеющих острую кромку износ можно характеризовать радиусом закругления этой кромки, как наиболее нагруженного элемента.

При помощи разработанной программы, для данных профилей было проведено исследование влияния износа кромки от некоторой величины  $r_0$  (начального) до  $r_{кр}$  (критического износа) на составляющие силы шлифования и ряд других технологических характеристик (площадь контакта круга с заготовкой, режущая способность (по ГОСТ 21445–84), отклонение полученного изношенным кругом профиля канавки от номинального). Было рассмотрено два случая: когда по мере износа производится корректировка положения круга с целью сохранения заданной глубины канавки и когда круг находится в фиксированном положении в течении всего контролируемого периода изнашивания.

Было установлено, что при работе шлифовального круга в режиме самозатачивания с компенсацией износа коррекцией размерной настройки, компоненты силы шлифования по-разному увеличиваются в зависимости от формы рабочего профиля (от 7% до 71%). Значительное увеличение значения составляющих силы шлифования связано с тем, что при коррекции на глубину канавки изменяется её ширина. Если коррекция на глубину не производится, то составляющие силы шлифования растут в зависимости от формы профиля на 1..12%, а иногда даже уменьшаются.

Так для профиля II, зависимости составляющих силы от износа показаны на рис. 2. При этом, диаметр шлифовального круга 120 мм, угол профиля  $50^\circ$ , ширина круга 8 мм,  $K_{po} = 0.005$ ,  $f_a = 0.3333$  (считали, что круг работает в режиме самозатачивания, так, что эти коэффициенты не изменяются в течении контролируемого периода износа  $T_{из}$ ), продольная подача 1 мм/с, скорость резания 30 м/с, глубина канавки 5 мм.

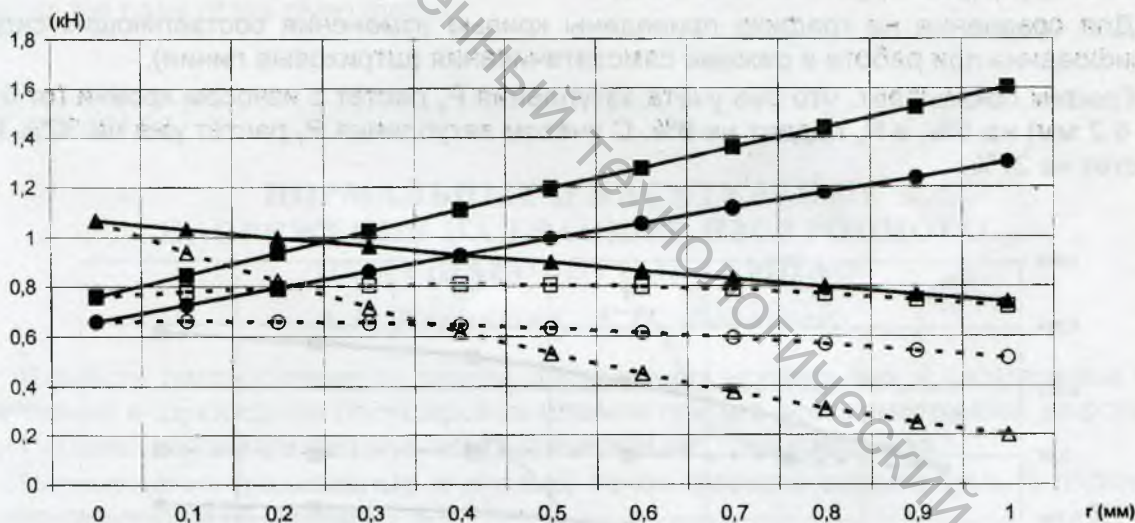


Рисунок 2 (—) – составляющие силы шлифования при корректировке положения круга с сохранением глубины резания 5 мм в течении всего периода  $T_{из}$ . (---) – с  $\blacktriangle$  –  $P_x$ ;  $\blacksquare$  –  $P_y$ ;  $\bullet$  –  $P_z$  фиксированной установкой.  $\blacktriangle$  –  $P_x$ ;  $\blacksquare$  –  $P_y$ ;  $\bullet$  –  $P_z$

При затуплении круга, который работает в режиме частичного самозатачивания, значения коэффициентов  $K_{po}$  и  $f_a$  уменьшаются со временем.

Принимая во внимание связь  $K_{po}$  и  $K_p$  [1], для обобщенного коэффициента режущей способности можно использовать модель затупления плоского шлифования [2]:

$$K_{po} = (K_{рон} - K_{рос}) \exp(-M\tau) + K_{рос}$$

где  $K_{рос}$  – стабильное значение обобщенного коэффициента режущей способности;  $K_{рон}$  – начальное значение обобщенного коэффициента режущей способности

(непосредственно после правки);  $M$  характеризует темп затупления и равняется  $\ln(2) / \tau_h = 0,693 / \tau_h$ , где  $\tau_h$  – время, за которое коэффициент режущей способности  $K_{po} = (K_{poh} + K_{poc}) / 2$ ,  $\tau$  – текущее время. Интенсивность уменьшения обобщённого коэффициента режущей способности может быть различной для различных условий шлифования.

Коэффициент абразивного резания изменяется незначительно, причём с уменьшением зернистости интенсивность изменения уменьшается [3]. Так как при профильном шлифовании применяют преимущественно средние и мелкозернистые круги, то значение коэффициента  $f_a$  можно считать постоянным на контролируемом временном интервале.

Так как  $K_{poc}$  зависит от силы шлифования, характер изменения  $K_{po}$  будет различным для различных участков контактного профиля, работающих с разной нагрузкой. Пусть на кромке  $K_{po} = K_{poh}$  для всего контролируемого периода износа (кромка работает в режиме самозатачивания), а остальные участки контактного профиля в течение периода  $T_{из}$  работают в режиме затупления. Для участков, работающих в режиме затупления, в качестве примера принимаем, что  $\tau_h = T_{из}/3$ ,  $K_{poc} = 0,3 K_{poh}$ . Для вышлифовки метрической резьбы с шагом  $S = 1$  мм период стойкости круга обычно составляет 20 мин. Допустимый износ кромки в этом случае  $r \in [0,1..0,2]$ . Пусть круг изнашивается до критической величины по истечении периода стойкости (что соответствует рационально заправленному кругу). Тогда для шести контрольных значений износа  $r \in [0,1, 0,12, 0,14, 0,16, 0,18, 0,2]$  на равных временных интервалах и периода  $T_{из} = 1200$  с., что соответствует предполагаемой модели износа кромки  $r = 8 \cdot 10^{-5} \cdot \tau + 0,1$ , получены зависимости составляющих силы шлифования от времени работы круга (рис. 3) (сплошные линии).

Для сравнения на графике приведены кривые изменения составляющих силы шлифования при работе в режиме самозатачивания (штриховые линии).

График показывает, что без учёта затупления  $P_y$  растёт с износом кромки (от 0,1 до 0,2 мм) на 5%, а  $P_z$  падает на 8%. С учётом затупления  $P_y$  растёт уже на 30%,  $P_z$  растёт на 27%.

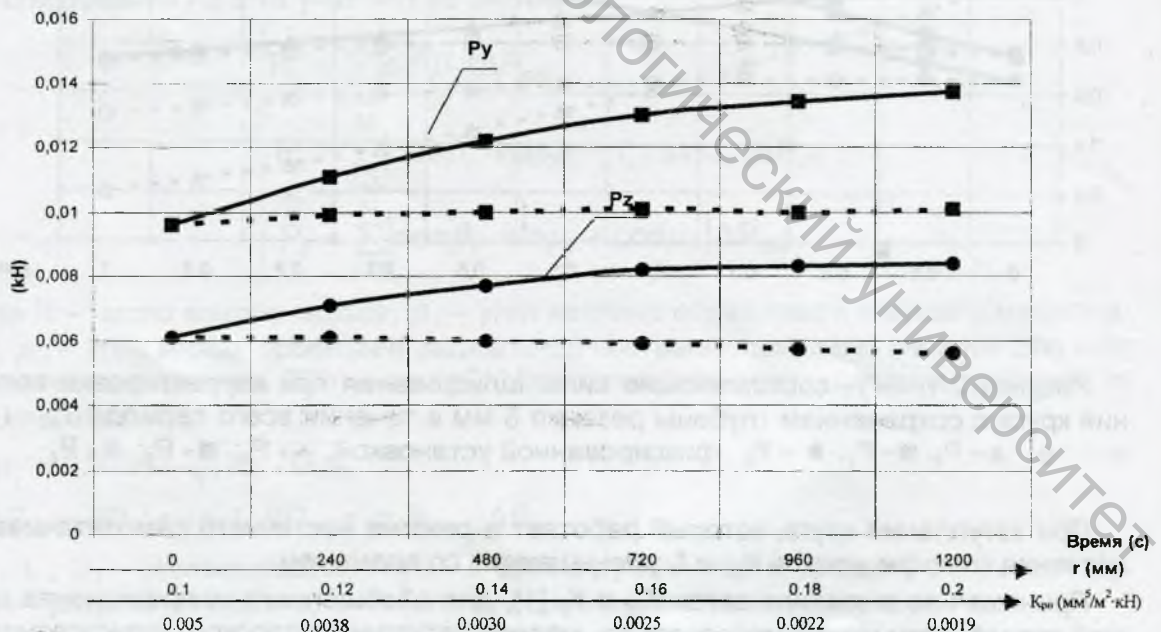


Рисунок 3 – Зависимости  $P_y=f_1(r)$ ,  $P_z=f_2(r)$  с учетом затупления.

Таким образом, можно использовать разработанную программу для анализа и управления процессом глубинного шлифования с учётом неравномерного изнашивания и затупления шлифовального круга. Для этого необходимо экспериментально определять зависимости  $K_{p0}$  и  $\gamma$  от времени при различных характеристиках пары круг-заготовка. Значение  $f_a$  можно брать из справочной литературы [3]. Данная разработка может оказаться полезной для предприятий переходящих на новый перспективный метод глубинного шлифования зубчатых колёс [4] или направляющих станков без предварительного фрезерования.

#### Литература

1. Махаринский Е.И., Масилевич А. В. "Рабочие характеристики глубинного шлифования" – Сб. научных трудов "Машиностроение" 2001 Вып. 17. С. 38-42;
2. М.И. Ящерицын, Е.И. Махаринский, Ю.Е. Махаринский "Моделирование затупления шлифовального круга" – Весті Академії Навук 1997 №4 С. 49-54;
3. Попов С.А. Малевский Н.П. и др. Алмазно-абразивная обработка металлов и твёрдых сплавов. М.: Машиностроение, 1977. – стр. 106 таб. 57
4. Ю.С. Елисеев, В.С. Новиков и др. "Профильное глубинное шлифование зубчатых колёс" – Вестник машиностроения 2001 №1 С. 41-44.

#### SUMMARY

In this paper the numerical method of definition of component force for creep feed work of grooves of any profile is offered in view of their wear and non-uniform loss of cutting ability of a wheel. Some outcomes of operation of the program, designed are submitted on the basis of the given method.

УДК 621.98

### НОРМАЛЬНЫЕ И КАСАТЕЛЬНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ НА ГРАВЮРЕ ИЗОТРОПНОГО ПОЛУШАРОВОГО ШТАМПА

*А.В. Карпушко, Г.Н. Федосеев*

В работе рассматривается задача определения нормальных и касательных напряжений в однородном полусферовом штампе при его осесимметричной деформации. Штамп рассматривается в цилиндрической системе координат.

Перемещения (радиальные и осевые) точек гравюры штампа (рис.1) положим изменяющимися по законам

$$\begin{aligned}
 u_{\Gamma} &= -\left(U \sin^2 \Theta\right) \cos \Theta, & \text{или} & & u_{\Gamma} &= -U \eta^2 \sqrt{1-\eta^2}, \\
 w_{\Gamma} &= -\left(V \sin^2 \Theta\right) \sin \Theta, & & & w_{\Gamma} &= -V \eta^3, \\
 & & & & \rho^2 + \eta^2 &= 1,
 \end{aligned} \tag{1}$$

где введены безразмерные координаты (рис.1)

$$\rho = \frac{r}{R}, \eta = \frac{z}{R} \tag{2}$$

(на гравюре  $\rho = \cos \Theta, \eta = \sin \Theta$ ),  $U$  и  $V$ - константы.