

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССА СТАБИЛИЗАЦИИ РЕЖУЩЕГО РЕЛЬЕФА АЛМАЗНОГО КРУГА

Новиков Ф.В., докт. техн. наук, Фадеев В.А., канд. техн. наук  
(г. Харьков, Украина)

*Offered theoretical approach to the analysis of process to stabilization's of cutting relief of diamond circle.*

Проблема повышения режущей способности алмазного круга неразрывно связана с разработкой эффективных методов стабилизации и поддержания в процессе шлифования оптимального режущего рельефа, обеспечивающего устойчивую работу круга вплоть до его полного износа. Решением такой задачи может быть правильный выбор режимов шлифования, характеристик круга, СОЖ и других условий обработки, позволяющих продолжительное время сохранять примерное равенство скоростей износа зерен и связки и осуществлять высокопроизводительный съем металла в режиме самозатачивания круга. При определенных сочетаниях прочностных характеристик обрабатываемого металла, зерен и связки работа круга в режиме самозатачивания может быть неосуществима; в широком диапазоне режимов шлифования скорость износа зерен будет выше скорости износа связки и круг необходимо периодически править. Для эффективного ведения процесса шлифования в таких условиях важно знать модель оптимального рельефа круга и механизм его стабилизации.

В настоящей статье предложено аналитическое решение задачи о стабилизации рельефа круга и показана взаимосвязь параметров процесса шлифования с параметрами установившегося рельефа круга. Дана структура оптимизации режимов шлифования.

В расчетах система «круг - изделие» представлена как сложная замкнутая механическая система, функционирование которой всецело подчинено принципу энергетического равновесия. Закономерности процесса шлифования рассмотрены с учетом вероятностного характера участия зерен в резании [1].

В расчетной схеме примем, что зерна равномерно расположены в матрице инструмента. По мере износа зерен (увеличения площадок износа) в процессе шлифования сила резания, действующая на отдельное зерно, увеличивается и при достижении предельного значения приводит к объемному разрушению или выпадению зерна из связки. Очевидно,

первым исчерпает ресурс работы наиболее выступающее зерно, затем через определенное время – второе, третье и т.д. Процесс удаления зерен с рабочей поверхности круга примет во времени устойчивый характер и система «круг – изделие» будет находиться в равновесном состоянии.

Таким образом, необходимым условием стабилизации рельефа круга следует считать периодическое достижение на максимально выступающем зерне предельной силы резания, а достаточным условием – равенство скоростей износа зерен и связки. Рассмотрим равновесное состояние максимально выступающего зерна в связке под действием силы резания  $P$  (рис. 1).

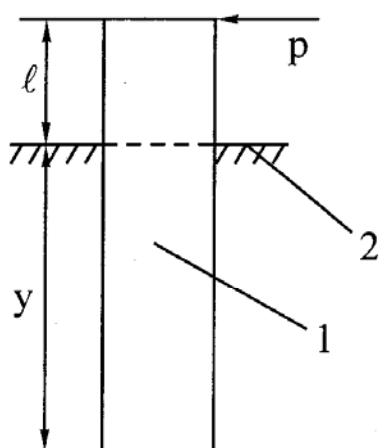


Рис. 1. Расчетная схема:  
1 – зерно; 2 – связка

Из условия равновесия моментов, имеем:

$$P \cdot l = a \cdot y, \quad (1)$$

где  $l$  - высота межзеренного пространства круга, м;  $a$  - экспериментальная характеристика, учитывающая прочность удержания зерна в связке, н;  $y$  - критическая глубина заделки зерна в связке, м.

Для определения  $l$  удаленный металл в виде стружки представим условно как жидкость, равномерно расположенную по всей ширине круга с толщиной слоя  $\Delta = V_{дет} \cdot t / V_{кр}$  [2], где  $V_{дет}$  и  $V_{кр}$  - соответственно скорости детали и круга, м/с;  $t$  - глубина шлифования, м.

$$l = \xi \cdot \Delta = \xi \cdot \frac{V_{дет} \cdot t}{V_{кр}}, \quad (2)$$

где  $\xi$  - безразмерный коэффициент, учитывающий степень заполнения стружкой межзеренного пространства круга (для жидкости  $\xi = 1$ , для металлической стружки  $\xi > 1$ ), определяется расчетно-экспериментальным путем.

Скорость износа зерен  $V_{\text{зер}}$  принимается как функция от максимальной толщины среза  $H_{\text{max}}$  [2]

$$V_{\text{зер}} = \frac{V_{\text{кр}} \cdot c}{\pi \cdot D_{\text{кр}}} \cdot \left( \frac{600 \cdot \pi \cdot \bar{x}^3 \cdot A \cdot V_{\text{дет}} \cdot \sqrt{2t \cdot \rho}}{m \cdot V_{\text{кр}} \cdot P^2} \right)^{0,835}, \quad (3)$$

где  $\rho = \frac{2}{D_{\text{дет}}} + \frac{2}{D_{\text{кр}}}$ ;  $D_{\text{дет}}$ ,  $D_{\text{кр}}$  - диаметры обрабатываемой детали и

круга, м;  $\bar{x}$  - зернистость круга, м;  $m$  - объемная концентрация круга;  $c$  - коэффициент, учитывающий величину износа зерна за одно касание с металлом, 1/м;  $A$  - параметр, учитывающий прочностные свойства металла (для твердого сплава ВК15 -  $A = 1,42$ ).

Скорость износа связки круга определяется главным образом интенсивностью воздействия на нее сходящей стружки и поэтому в расчетах может быть рассмотрена как функция от давления стружки в межзеренном пространстве («камере») круга. Давление в «камере» принимается обратно пропорциональным коэффициенту  $\xi$ , так как чем больше степень заполнения стружкой «камеры», тем больше давление в ней и выше скорость износа связки:

$$V_{\text{связки}} = \frac{V_{\text{кр}}}{\pi \cdot D_{\text{кр}}} \cdot \frac{1}{D \cdot \xi^n}, \quad (4)$$

где  $D$  - параметр, характеризующий износостойкость связки; определяется расчетно-экспериментальным путем.

Показатель  $n$  зависит от марки обрабатываемого материала: для пластичных материалов  $n$  меньше, чем для хрупких.

Система для определения неизвестных параметров  $P$  и  $\xi$  с учетом  $\bar{x} - H \approx \bar{x}$  ( $n = 5$  - для твердого сплава ВК15) имеет вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} (P + a) \cdot \xi \cdot \frac{V_{\text{дет}} \cdot t}{V_{\text{кр}}} = a \cdot \bar{x} ; \\ c \cdot \left( \frac{600 \cdot \pi \cdot \bar{x}^3 \cdot A^2 \cdot V_{\text{дет}} \cdot \sqrt{2t \cdot \rho}}{m \cdot V_{\text{кр}} \cdot P^2} \right)^{0,835} = \frac{1}{D \cdot \xi^5} . \end{array} \right. \quad (5)$$

Разрешим систему относительно  $t$  и  $\xi$ :

$$t = \frac{\bar{x}^{1,636} \cdot A^{0,364} \cdot (c \cdot D)^{0,218} \cdot a^{1,09} \cdot \rho^{0,091} \cdot V_{\text{кр}}^{0,908}}{m^{0,182} \cdot P^{0,364} \cdot (P + a)^{1,09} \cdot V_{\text{дет}}^{0,908}} , \quad (6)$$

$$\xi = \frac{a \cdot \bar{x} \cdot V_{\text{кр}}}{(P + a) \cdot V_{\text{дет}} \cdot t} . \quad (7)$$

Как следует из (6) и (7), в явном виде  $P$  и  $\xi$  не выражаются, их расчет возможен численным методом. Проанализируем зависимости  $P$  и  $\xi$  от  $t$ . Исходя из (6), с увеличением  $t$  сила  $P$  непрерывно уменьшается. При небольших  $t$  - она принимает чрезвычайно большие значения (стремится к бесконечности), что физически невыполнимо, так как зерно обладает конечной прочностью и прежде чем выпасть из связки, оно обязательно претерпит объемное разрушение. Следовательно, при изменении  $t$  до определенного значения  $t^*$ , выпадения зерен из связки не будет. Износ круга будет обусловлен объемным разрушением зерен. Сила  $P$  при  $t < t^*$  равна прочности зерна на раздавливание. При  $t < t^*$  сила  $P$  будет определяться условиями удержания зерна в связке, исходя из зависимости (6). Такой характер износа круга обусловлен тем, что при  $t < t^*$  объем межзеренного пространства круга (занимаемый стружкой) и  $l$  не большие, поэтому момента от силы  $P$  недостаточно для того, чтобы вывалить зерно из связки.

Следуя (7), коэффициент  $\xi$  с увеличением  $t$  уменьшается, что вызывает более плотную «упаковку» стружек в межзеренном пространстве круга и увеличение силы трения стружек со связкой. При определенном значении  $\xi$  возможно «засаливание» круга, так как стружки под действием больших давлений будут глубоко внедряться в связку и удерживаться в ней, не допуская износа связки и обновления режущего контура круга.

Установим характер изменения параметров  $H_{max}$ ,  $H = H_{max} + x$ , (где  $x$  - износ зерна), условного напряжения резания  $\sigma$  от  $t$  [2]:

$$H_{max} = \left( \frac{600 \cdot \pi \cdot \bar{x}^3 \cdot A^2 \cdot V_{дет} \cdot \sqrt{2t \cdot \rho}}{m \cdot V_{кр} \cdot P^2} \right)^{0,417} \dots \quad (8)$$

$$H = \frac{P}{A} \cdot \left( \frac{600 \cdot \pi \cdot \bar{x}^3 \cdot A^2 \cdot V_{дет} \cdot \sqrt{2t \cdot \rho}}{m \cdot V_{кр} \cdot P^2} \right)^{0,29} \dots \quad (9)$$

$$\sigma = A \cdot \left( \frac{m \cdot V_{кр} \cdot P^2}{600 \cdot \pi \cdot \bar{x}^3 \cdot A^2 \cdot V_{дет} \cdot \sqrt{2t \cdot \rho}} \right)^{0,7} \dots \quad (10)$$

Высота  $l$  описывается зависимостью:

$$l = \frac{a \cdot \bar{x}}{(P + a)} \quad (11)$$

На рис. 2 каждая позиция зерна 1 ...7 соответствует определенному значению  $t$ . С увеличением  $t$  до значения  $t^*$  параметры  $H_{max}$ ,  $H$  и  $x = H - H_{max}$  увеличиваются. Условное напряжение резания  $\sigma$  уменьшается, а высота  $l$  остается постоянной. Коэффициент  $\xi$  с увеличением  $t$  уменьшается, что предопределяет более плотную «упаковку» стружек в межзеренном пространстве круга и интенсифицирует износ связки.

После превышения значения  $t^*$ , параметр  $H_{max}$  увеличивается более интенсивно, так как  $P$  уменьшается. Параметр  $H$  по данным расчета (табл. 1) в точке  $t = t^*$  принимает максимальное значение, после чего с увеличением  $t$  - уменьшается. Коэффициент  $\xi$  также уменьшается, но менее интенсивно, чем в диапазоне  $t < t^*$ . Интенсивность уменьшения  $\sigma$  при  $t > t^*$  выше, чем при  $t < t^*$ .

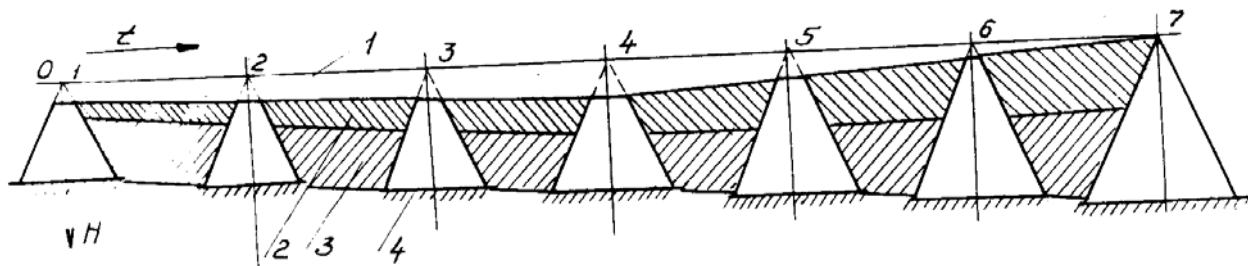


Рис. 2. Характер изменения максимальной толщины среза  $H_{max}$  (2) и толщины слоя, занимаемого стружкой (3) с увеличением глубины шлифования  $t$ :  
 1 – положение вершины начального максимально выступающего над связкой зерна;  
 4 – уровень связки круга.

Таблица 1  
 Расчетные значения параметров шлифования в зависимости от глубины шлифования  $t$  ( $V_{кр} = 30$  м/с;  $D_{кр} = 300$  мм;

$$D_{дет} = 160 \text{ мм}; \bar{x} = 0,25 \text{ мм}; m = 100; S_{кр} = 25 \text{ мм/об};$$

$$a = 4,9 \text{ н}; A = 1,42)$$

$t$ , мм	0,1	0,3	0,6	1,0
$H$ , мм	0,0289	0,0339	0,0375	0,0345
$H_{max}$ , мм	0,0121	0,0152	0,0176	0,0266
$x$ , мм	0,0168	0,0187	0,0198	0,0079
$l$ , мм	0,0881	0,0881	0,0881	0,110
$\xi$	1585	528	264	198
$P$ , н	9	9	9	6,2
$q$	0,423	0,223	0,15	0,206

Высота выступания зерен над связкой с увеличением  $t$  непрерывно увеличивается. Величина площадки износа на зерне первоначально при изменении  $t$  до значения  $t^*$  увеличивается, затем уменьшается, что обусловлено уменьшением прочности удержания зерна в связке. В табл. 1

приведены значения относительного расхода алмаза  $q$  в зависимости от  $t$ , которое показывает, что в точке  $t = t^*$  относительный расход алмаза принимает минимальное значение. Следовательно, работа круга в режиме объемного разрушения зерен позволяет уменьшить  $q$ . Основным препятствием повышения ресурса работы зерен и уменьшения  $q$  является образующийся слой стружки высотой  $l$ , который увеличивает «плечо» от силы  $P$  и приводит к преждевременному выпадению зерен из связки.

Расчет  $q$  произведен по зависимости:

$$q = \frac{V_{\text{зер}}}{Q} \cdot \frac{m}{m_0} = \frac{m \cdot V_{\text{кр}} \cdot c}{\pi \cdot D_{\text{кр}} \cdot m_0} \cdot \frac{H_{\text{max}}^2}{S_{\text{пр}} \cdot V_{\text{дет}} \cdot t}, \quad (12)$$

где  $Q$  - производительность обработки, м<sup>3</sup>/с;  $S_{\text{пр}}$  - продольная подача, м/об;  $m_0$  - базовое значение  $m$ , которое в расчетах принимается 100.

Таким образом аналитическим путем раскрыт и описан механизм и условия перехода одного вида износа круга в другой и подтверждена правомочность предпосылок к разработке физической модели шлифования, приведенная в работах [2, 3].

#### Список литературы:

1. Новиков Ф.В. Кинетика образования режущего рельефа алмазного круга в процессе шлифования. – Контактные процессы при больших пластических деформациях. Темат. сборник научн. трудов. Харьков, 1992, с. 37-43.
2. Новиков Ф.В. Механика круглого алмазного шлифования изделий с прерывистыми поверхностями и пути ее оптимального управления. – Автореф. дис. ... канд. техн. наук, Киев, 1984. – 21 с.
3. Новиков Ф.В. Режущий рельеф алмазного круга и его роль в формировании технологических показателей шлифования. – Резание и инструмент. – Харьков: Вища школа, 1984, вып. 32, с. 64-70.