

Ф.В. Новиков, докт. техн. наук, В.П. Ткаченко, Харьков, Украина

### УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ АЛМАЗНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКЕ

*Conditions of increasing of roughness and productivity at abrasive machining are theoretically grounded.*

Применение алмазно-абразивных инструментов позволяет добиться высоких показателей качества и точности обработки. Для раскрытия технологических возможностей алмазно-абразивных инструментов в настоящей работе предложен кинематический подход к расчету параметра шероховатости  $R_{\max}$  и производительности обработки.

Рассмотрим схему резания прямолинейного образца, движущегося по нормали со скоростью  $V'_{\text{дет}}$  к рабочей поверхности абразивного инструмента, вращающегося со скоростью  $V_{\text{инст}}$ . Спроецируем все зерна, расположенные на участке инструмента длиной  $L$ , на плоскость, имитирующую движение образца:

$$L = V_{\text{инст}} \cdot \tau = V_{\text{инст}} \cdot \frac{R_{\max}}{V'_{\text{дет}}} \quad (1)$$

где  $\tau$  - время, за которое плоскость переместится на величину  $R_{\max}$ .

Предположим, что вершины спроецированных на плоскость зерен в горизонтальном направлении равноудалены друг от друга, тогда справедливо геометрическое условие:

$$2 \cdot R_{\max} \cdot \text{tg} \gamma \cdot n = B \quad (2)$$

где  $\gamma$  - половина угла при вершине конусообразного зерна;  $B$  - ширина рабочей части инструмента;  $n = k \cdot B \cdot L$  - количество зерен, расположенных на участке инструмента длиной  $L$ ;  $k$  - поверхностная концентрация зерен, шт/м<sup>2</sup>.

Подставим зависимость (1) в (2):

$$R_{\max} = \sqrt{\frac{1}{2 \cdot \text{tg} \gamma \cdot k} \cdot \frac{V'_{\text{дет}}}{V_{\text{инст}}}} \quad (3)$$

Уменьшить  $R_{\max}$  можно увеличением  $\gamma, k, V_{\text{инст}}$  и уменьшением  $V'_{\text{дет}}$ . Для реализации небольших значений  $V'_{\text{дет}}$  эффективна упругая схема обработки с фиксированным радиальным усилием  $P$ , которое может быть выражено:

$$P = HV \cdot n_0 \cdot \pi \cdot tg^2 \gamma \cdot R_{\max}^2 \cdot 0,5 \quad (4)$$

где  $HV$  - твердость обрабатываемого материала;  $n_0$  - количество одновременно работающих зерен;  $n_0 = k \cdot F$ ;  $F$  - площадь контакта.

Разрешим (4) относительно  $R_{\max}$ :

$$R_{\max} = \sqrt{\frac{2 \cdot P}{\pi \cdot tg^2 \gamma \cdot k \cdot F \cdot HV}} \quad (5)$$

Сравнивая зависимости (3) и (5), установим связь между  $V'_{\text{дет}}$  и  $P$ :

$$V'_{\text{дет}} = \frac{4 \cdot \bar{P}}{\pi \cdot tg \gamma \cdot HV} \cdot V_{\text{ист}}, \quad (6)$$

где  $\bar{P} = \frac{P}{F}$  - нормальное давление.

Увеличить  $V'_{\text{дет}}$  и соответственно производительность обработки  $V'_{\text{дет}} \cdot F$  можно увеличением  $\bar{P}$  и  $V_{\text{ист}}$ .

Концентрация зерен  $k$  входит в зависимость (5) и не входит в (6). Следовательно, увеличивая  $k$  и соответственно  $P$  можно увеличить производительность без увеличения параметра шероховатости  $R_{\max}$ .

По физической сути соотношение  $\left(\frac{P}{k \cdot F}\right)$  в зависимости (5) определяет нагрузку, приходящуюся на отдельное зерно. Уменьшая ее, можно уменьшить  $R_{\max}$ . Очевидно, наименьшую нагрузку можно достичь, если обработку вести незакрепленными на рабочей поверхности зернами (например, с применением алмазных паст; алмазного порошка, находящегося в свободном состоянии на притире и т.д.). Шаржирование зерен (предварительное вдавливание их в материал притира) или закрепление зерен с помощью связывающего материала (например, гальваническим методом) повышает прочность их удержания в инструменте и соответственно нагрузку  $\left(\frac{P}{k \cdot F}\right)$ , что ведет к увеличению параметра шероховатости обработки  $R_{\max}$ .

Еще больше прочность удержания зерен в шлифовальном круге и особенно в алмазном круге на металлической связке. В результате нагрузка, действующая на зерно, и параметр  $R_{\max}$  существенно возрастают, что согласуется с экспериментальными данными.

При шлифовании по упругой схеме торцом алмазного круга параметр шероховатости  $R_{\max}$  определяется:

$$R_{\max} = \bar{x} \cdot \sqrt[3]{\frac{400 \cdot P}{3 \cdot \operatorname{tg}^2 \gamma \cdot m \cdot Z \cdot F \cdot HV}}, \quad (7)$$

где  $\bar{x}$  - зернистость круга;  $m$  - объемная концентрация круга (100; 50; 25 и т.д.);  $Z$  - безразмерный коэффициент, учитывающий степень «утопания» зерен в связку круга при шлифовании под действием возникающих нагрузок (для алмазных кругов на металлических связках  $Z \cong 1$ , для кругов на менее прочных органических связках  $Z > 1$ ).

Чем больше  $Z$ , т.е. чем «мягче» связка круга, тем меньше параметр шероховатости обработки  $R_{\max}$ .

Экспериментальные исследования торцевого шлифования по упругой схеме твердого сплава «Рэлит» показали, что применение алмазных кругов на органической связке В2-01 позволяет уменьшить параметр шероховатости  $R_{\max}$  по сравнению с шлифованием алмазными кругами на металлической связке М1-01. Причем, с уменьшением зернистости эффект от применения кругов на органической связке увеличивается.

Исходя из зависимости (7), зернистость  $\bar{x}$  оказывает на  $R_{\max}$  наибольшее влияние, что согласуется с экспериментальными данными.

На рисунке 1 показана блок-схема условий уменьшения параметра шероховатости обработки  $R_{\max}$  с учетом ограничения по производительности  $Q = V'_{\text{дет}} \cdot F$ .

Уменьшить  $R_{\max}$  можно двумя путями: уменьшением радиальной составляющей силы резания, действующей на отдельное зерно,  $P_1$  и увеличением угла при вершине зерна  $\gamma$ . Первый путь реализуется за счет уменьшения нормального давления  $\bar{P} = \frac{P}{F}$  и увеличения поверхностной концентрации зерен  $k$ . Так как уменьшение  $\bar{P}$  ведет к уменьшению  $V'_{\text{дет}}$  и  $Q$ , основным условием  $P_1$  следует рассматривать увеличение поверхностной концентрации  $k$  при обработке свободным абразивом. Второй путь уменьшения  $R_{\max}$  за счет увеличения угла  $\gamma$  предполагает уменьшение  $V'_{\text{дет}}$  и производительности. Для поддержания  $Q$  на заданном уровне необходимо

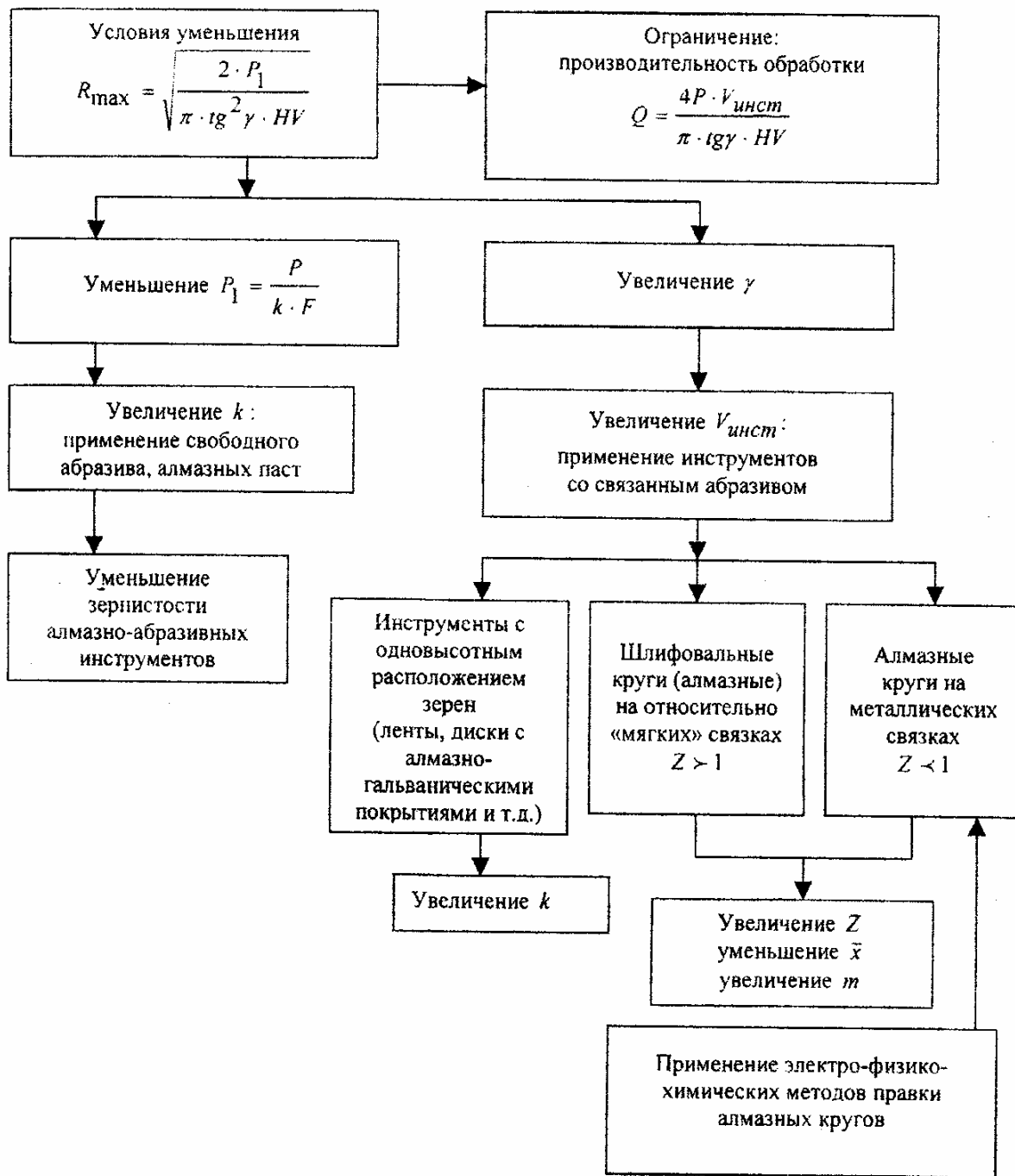


Рисунок 1. Блок-схема

существенно увеличить скорость инструмента  $V_{инст}$ , а зерна закрепить на его рабочей поверхности, так как резание зернами с большим углом  $\gamma$  вызывает увеличение силы резания. Примером жесткого закрепления зерен является шлифовальный (алмазный) круг. Чем «мягче» связка круга, тем больше глубина «утопания» зерен в связку (больше коэффициент  $Z$ ), и больше зерен одновременно участвует в резании, что ведет к уменьшению параметра шероховатости  $R_{max}$ .

При шлифовании алмазными кругами на прочных металлических связках ( $Z \cong 1$ ) уменьшить параметр  $R_{max}$  можно главным образом за счет увеличения угла  $\gamma \rightarrow 90^\circ$ . Для своевременного удаления затупленных зерен с рабочей поверхности круга необходимо использовать эффективные методы электрофизикохимической правки. Учитывая то, что существенное увеличение  $\gamma \rightarrow 90^\circ$  ведет к уменьшению  $V'_{ост}$  (согласно приведенным зависимостям), возможно увеличение  $\bar{P}$ , но при одновременном уменьшении зернистости  $\bar{x}$  и увеличении объемной концентрации зерен  $m$ .

При шлифовании по жесткой схеме уменьшить параметр шероховатости  $R_{max}$  без уменьшения производительности обработки можно уменьшением зернистости круга  $\bar{x}$  и увеличением объемной концентрации зерен  $m$  и скорости круга.

Оценим значения поверхностной концентрации зерен  $k$  при обработке свободным абразивом. Согласно ГОСТ 16877-71 «Пасты алмазные», с увеличением зернистости пасты процентное содержание алмазного порошка в ней увеличивается, таблица 1. Это связано с тем, что с увеличением зернистости уменьшается количество зерен, содержащихся в 1 карате. Поэтому, с целью увеличения количества зерен процентное содержание алмазного порошка в пасте увеличивают. Однако из таблицы 1 нетрудно видеть, что с увеличением зернистости количество зерен в единице объема пасты уменьшается, так как при увеличении зернистости от 1/0 до 60/40 (т.е. приблизительно в 60 раз) концентрация алмазного порошка в пасте увеличивается лишь в 10 раз.

Из этого можно заключить, что поверхностная концентрация зерен  $k$  (при использовании алмазной пасты) с увеличением зернистости увеличивается. Это ведет к уменьшению параметра  $R_{max}$ .

Установленная закономерность допускает увеличение зернистости при обработке материалов повышенной твердости  $HV$  (для обеспечения заданного значения  $R_{\max}$ ).

Таблица 1

Процентное содержание алмазного порошка в пасте

Зернистость пасты	Концентрация алмазного порошка, мас %	
	нормальная	повышенная
60/40	10	20
40/28	7	14
28/20		
20/14	5	10
14/10		
10/7	3	6
7/5		
5/3	2	4
3/2		
2/1	1	2
1/0		

Список литературы: 1. Якімов О.В., Новиков Ф.В., Новиков Г.В., Якімов О.О. Високопродуктивне шліфування: навч. посібник. — К.: ІСДО, 1995. — 180 с. 2. Новиков Ф.В., Ткаченко В.П., Свидерский В.И. Торцевое алмазное шлифование твердого сплава «рэлит» // Вісник Інженерної Академії України. — К., 2001. — Вип.3. — С. 395—398.

Поступила в редколлегию 16.06.01