

## Л и т е р а т у р а

І. Байкалов А.К., Сукенник И.Л. "Алмазный правящий инструмент на гальванической связке". Киев, "Наукова думка", 1976, 204 с.

УДК 621.91

В.Н. Трусов, Ю.А. Копытин

### ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ РАСЧЕТА ИЗНОСА АБРАЗИВНОГО КРУГА ПРИ ШЛИФОВАНИИ

Зерно, участвующее в резании при шлифовании, подвергается воздействию усилия, которое может быть представлено составляющими  $P_z$ ,  $P_y$  и  $P_x$ .

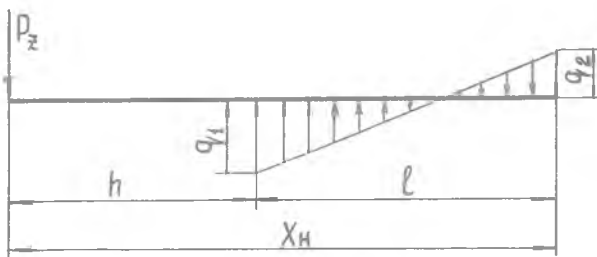
В процессе обработки происходит изнашивание режущей поверхности круга, что является следствием как вырыва отдельных зерен, так и их механического разрушения. Характер износа рабочей поверхности круга будет зависеть от глубины заделки  $\ell$  зерна в связке и физико-механических свойств связки и зерна.

Решить сложную задачу по определению износа круга в процессе его работы с учетом влияния всех факторов пока не представляется возможным. Однако, схематизируя процесс, можно установить некоторые его закономерности.

В первом приближении форму режущего зерна можно принять в виде прямоугольного параллелепипеда высотой  $X_n$  и с равносторонним основанием  $d \times d$ , где  $d = 0,5X_n$ , а связку рассматривать как хрупкую среду с линейно-упругой характеристикой. По мнению авторов [1], подобные допущения вполне оправданы. Характер распределения нагрузки, действующей на зерно, в его заделке можно определить при следующих допущениях: 1 - тангенциальная составляющая сила  $P_z$  целиком воспринимается боковыми стенками заделки; 2 - вертикальная составляющая воспринимается "дном" заделки; 3 - жесткость зерна предполагается бесконечно большой по сравнению с жесткостью связки; 4 - силы трения в расчет не принимаются; 5 - эпюры отпора изменяются по линейному закону; 6 - вертикальная составляющая силы резания приложена по оси симметрии

зерна, а тангенциальная составляющая действует по касательной к вершине зерна.

Согласно опытным данным [2],[3],[4], основной формой износа круга в процессе работы будет вырыв зерен из связки, а также их разрушение (раскалывание). Такой вид износа объясняется определяющей ролью в разрушении режущей поверхности круга тангенциальной составляющей силы резания. Действие радиальной составляющей  $P_y$  приводит к тому, что режущие зерна, вдавливаясь в связку, позволяют включаться в работу большему числу зерен. Это обстоятельство способствует перераспределению нагрузки между ними в сторону уменьшения сил, приходящихся на единичное зерно. Указанные допущения, а также приведенные работы позволяют представить взаимодействие зерна и связки в виде схемы (рис.1).



Р и с.1. Схема определения интенсивности нагрузок в связке от тангенциальной силы  $P_z$  зерна

Максимальные значения на эпюре отпора в заделке зерна обозначены  $Q_1$  и  $Q_2$ . Чтобы определить эти величины достаточно совместно решить систему уравнений:

$$\begin{cases} \sum P_z = 0; \\ \sum M_A = 0, \end{cases}$$

где первое уравнение определяет равенство нулю суммы проекций всех сил на ось  $Z$ , а второе - равенство нулю суммы всех моментов относительно произвольно взятой точки  $A$ .

В результате получим следующие зависимости для максимальных значений на эпюре отпора:

$$Q_1 = 2P_z \frac{2X_H + h}{(X_H - h)^2}; \quad (1)$$

$$q_2 = 2P_z \frac{\chi_n + 2h}{(\chi_n - h)^2} \quad (2)$$

Из выражений (1), (2) видно, что интенсивности нагрузок отпора зависят от усилий, приходящихся на единичное зерно  $P_z$ , от размеров зерна  $\chi_n$  и степени его выступания над связкой  $h$ .

Усилие, действующее на единичное зерно, как правило, нелинейно зависит от глубины резания  $t$ . Но в работах [5], [6] на основе опытных данных установлена возможность представления зависимости  $P_z(t)$  в линейной форме для глубин резания от 0 до 10 мкм.

Проведенные нами исследования зависимости данного вида на материалах ЭИЗ47Ш, ВТ9, ЖС6 - КП вполне согласуются с мнением указанных авторов. В связи с этим можно записать:

$$P_z = \begin{cases} ah - b, & h \geq h_3 - t; \\ 0, & h < h_3 - t, \end{cases}$$

где  $a$  - тангенс угла наклона зависимости  $P_z(t)$ .

Следовательно, выражения (1) и (2) можно представить в следующем виде:

$$q_1 = 2(a h - b) \frac{2\chi_n + h}{(\chi_n - h)^2}; \quad (3)$$

$$q_2 = 2(a h - b) \frac{\chi_n + 2h}{(\chi_n - h)^2}$$

Для решения вопроса о надежности закрепления зерна в связке необходимо проанализировать выражения для  $q_1$  и  $q_2$ . Из анализа следует, что  $q_1 \geq q_2$ , так как  $\chi_n \geq h$ . Значит, при определении величины критической нагрузки отпора, которую способна создавать связка, достаточно рассмотреть выражение (3), откуда видно, что при  $h = \chi_n$   $q_1 = \infty$ . Т.е. зерна, глубина заделки которых близка к нулю, будут удалены из связки вследствие ее разрушения. Для случая  $h = \frac{b}{a}$   $q_1 = 0$ . Это будет соответствовать отсутствию нагрузки на зерно, так как высота выступания зерна над связкой в этом случае равна  $h = h_3 - t$ , где  $h_3$  - максимальная разновысотность зерен на поверхности круга. И, наконец,  $q_1 = 0$  при  $h = -2\chi_n$ . Исходя из физических представлений, последнее условие не может быть выполнено.

Условие, при котором произойдет разрушение связки, можно записать:

$$\sigma_{св} = \frac{2}{d} (ah - b) \frac{2X_H + h}{(X_H - h)^2} \geq \sigma_{\sigma_{св}} \quad (4)$$

где  $\sigma_{св}$  и  $\sigma_{\sigma_{св}}$  - нормальные напряжения и предел прочности связки соответственно.

Условие разрушения зерна от действия изгибающего момента, вызванного силой  $p$ , запишется в виде

$$\sigma_3 = (ah - b) h \frac{1}{W_3} \geq \sigma_{\sigma_{уз2}} \quad (5)$$

где  $\sigma_3$  и  $\sigma_{\sigma_{уз2}}$  - напряжения в зерне и его предел прочности на изгиб соответственно.

Вид разрушения режущей поверхности круга будет определяться величиной отношения  $\frac{\sigma_3}{\sigma_{св}}$ . Если это отношение меньше  $\frac{\sigma_{\sigma_{уз2}}}{\sigma_{\sigma_{св}}}$ , то разрушение происходит преимущественно за счет вырыва зерен из связки. При условии  $\frac{\sigma_3}{\sigma_{св}} > \frac{\sigma_{\sigma_{уз2}}}{\sigma_{\sigma_{св}}}$  износ происходит преимущественно за счет разрушения зерен.

Поделив выражение (5) на (4) и учитывая, что  $d = 0,5X_H$ , получим

$$\xi = \frac{\sigma}{X_H^2} \frac{h(X_H - h)^2}{2X_H + h} \quad (6)$$

Анализ выражения (6) показывает, что

$$\xi = 0 \quad \text{при} \quad \begin{cases} h = X_H; \\ h = 0; \end{cases}$$

$$\xi > 0 \quad \text{при} \quad 0 < h < X_H.$$

Так как значения  $h$  лежат в пределах рассмотренного диапазона, то экстремальные значения функции  $\xi(h)$  можно найти, взяв первую производную и приравняв ее нулю. Интересующее нас решение уравнения  $\frac{d\xi}{dh} = 0$  имеет вид

$$h = -\frac{3X_H}{2} + \sqrt{\frac{9X_H^2 + 16X_H}{4}}$$

Соответствующее ему максимальное значение  $\xi$  равно

$$\xi_{\max} = \frac{6}{X_H^2} \frac{(-3X_H + \sqrt{9X_H^2 + 16X_H})(4X_H - \sqrt{9X_H^2 + 16X_H})}{X_H + \sqrt{9X_H^2 + 16X_H} + 16X_H}$$

Из равенства следует, что  $\xi_{\max}$  будет зависеть только от  $X_H$  и для исследуемого диапазона зернистостей кругов (80/63 - 250/200) лежит в пределах от 0,054 до 0,017. Средневероятный

размер зерен подсчитывался, согласно [7].

По литературным данным [1] предел прочности связки МВ1 равен  $20 \text{ кгс/мм}^2$ , а предел прочности алмазного зерна на изгиб составляет  $30 \text{ кгс/мм}^2$  [8]. Тогда  $\xi = 1,5$ . Следовательно, при работе алмазными кругами на металлической связке МВ1 разрушение режущей поверхности кругов будет происходить преимущественно за счет вырывания зерен из связки. Значит, критическая высота выступания зерна из связки будет определяться путем решения неравенства (4), т.е.

$$h_{кр} = \frac{\left[ \left( \frac{b}{\chi_n} - 2a - \sigma_{\text{св}} d \right) + \sqrt{\left( \frac{b}{\chi_n} - 2a - \sigma_{\text{св}} d \right)^2 + \left( \frac{4b}{\chi_n} + \sigma_{\text{св}} d \right) (2a - \sigma_{\text{св}} d)} \right]}{2a - \sigma_{\text{св}} d}$$

Как видно из уравнения, на величину  $h_{кр}$  влияют зернистость кругов, обрабатываемый материал (через параметры  $a$  и  $b$ ), прочность связки, а также величина разновысотности зерен и фактическая глубина шлифования.

Зависимости  $h_{кр}$  от  $a$ , построенные с учетом приведенной формулы, представлены на рис. 2, 3. Показано, что механические характеристики обрабатываемого материала наиболее существенно влияют на критическую высоту выступания зерна из связки при малых значениях  $a$ . Причем следует отметить возрастание зависимости  $h_{кр}$  от  $a$  с увеличением зернистости применяемых кругов, т.е. с ростом  $\chi_n$ . Увеличение глубины шлифования приводит к уменьшению критической высоты выступания зерна на ту же величину практически на всем диапазоне изменения параметра  $a$  при использовании кругов малых зернистостей (80/63). Аналогичное явление характерно и для кругов больших зернистостей, но при значениях  $a \geq 6 \text{ кгс/мм}$ .

Знание  $h_{кр}$  позволяет при условии известного закона распределения высот выступания зерен из связки определить расход алмазов для различных режимов обработки. Общее число зерен  $N_o$ , прошедших зону обработки за время шлифования  $\tau$ , можно определить по формуле

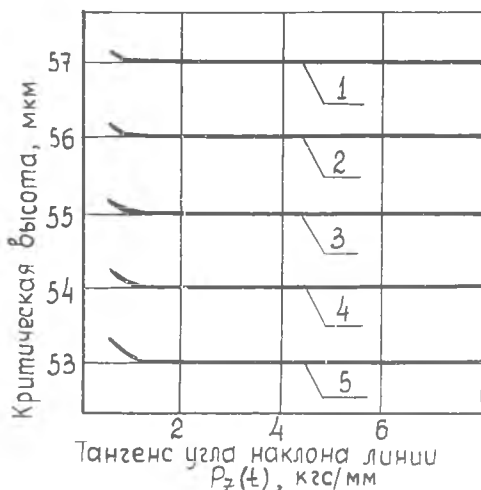
$$N_o = V_k \tau B n,$$

где  $V_k$  - скорость вращения круга;

$B$  - высота круга;

$n$  - плотность распределения зерен на поверхности.

Р и с. 2. Зависимость критической высоты выступающего зерна из связи от тангенса угла наклона линии  $P_z(t)$  (зернистость 80/63): 1, 2, 3, 4, 5 - соответственно  $t = 1, 2, 3, 4, 5$  мкм

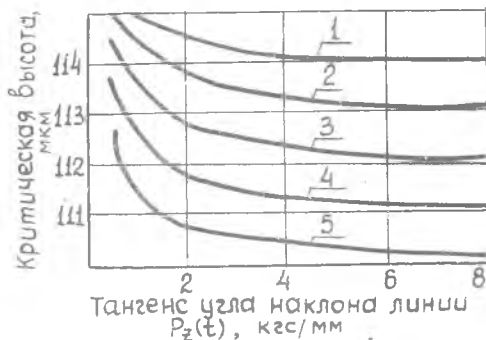


При условии постоянства параметров распределения разновысотности зерен на поверхности круга можно записать выражение для определения числа зерен, вырванных с поверхности круга:

$$N_a = N_0 P(h_{кр} \leq h \leq h_3),$$

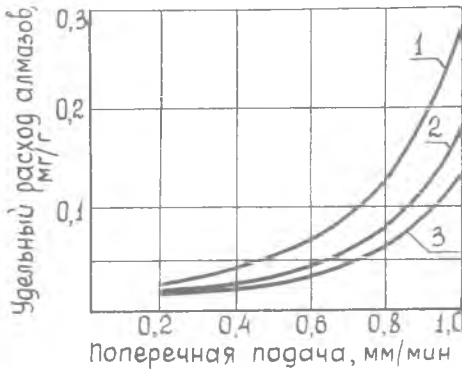
где  $P(h_{кр} \leq h \leq h_3)$  - вероятность появления зерен с высотой  $h_{кр} \leq h \leq h_3$ .

Тогда расход алмазов вычисляется как произведение среднего веса алмазных зерен данной зернистости на их количество, удаляемое с поверхности круга при снятии припуска определенной величины на заданных режимах.



Р и с. 3. Зависимость критической высоты выступающего зерна из связи от тангенса угла наклона линии  $P_z(t)$  (зернистость I60/I25): 1, 2, 3, 4, 5 - соответственно  $t = 1, 2, 3, 4, 5$  мкм

Расчеты, проведенные при использовании нормального закона распределения высот выступления зерен из связки для случая обра-



ботки сплава ВТ9, показали удовлетворительное совпадение их с опытными данными. Результаты расчета представлены на рис. 4. Максимальное расхождение расчетных и экспериментальных данных лежит в пределах 30%. Следовательно, предлагаемая методика может применяться для предварительной оценки износа кругов.

Р и с.4. Зависимость удельного расхода алмазов от поперечной подачи при обработке сплава ВТ9 кругами различной зернистости на связке МВ1: 1-80/63; 2 - 160/125; 3 - 250/200 ( $v = 40$  м/с,  $v_c = 25$  м/мин,  $u = 12B$ )

#### Л и т е р а т у р а

1. Резников А.Н., Мовла-Заде В.З. Исследование устойчивости алмазных зерен в связке алмазно-абразивного инструмента. "Синтетические алмазы". Научн.-произв. сб., вып.5. 1972.
2. Грановский Г.И., Попов С.А. и др. О механизме износа алмазных кругов. "Алмазы", НИИМАШ, 1970, № 2.
3. Григорьев О.Н. и др. Исследование механизма разрушения алмаза при абразивной обработке. "Синтетические алмазы". Научн.-произв. сб., вып.2, 1972.
4. Иосикава, Сата. Изучение износа шлифовальных кругов.— Труды американского общества инженеров-механиков, Серия В, 1963, №1.
5. Безыкорнов А.И., Богомолов Н.И. и др. Силы микрорезания при шлифовании титана. "Порошковая металлургия", 1969, № 9.
6. Сагарда А.А., Химач О.В. Силы резания и температура в зоне контакта алмазного зерна с металлом." Вестник машиностроения", 1973, № 6.
7. Кондратов А.С., Старков В.К. Закономерности расположения зерен на рабочей поверхности алмазного круга.— В кн.: "Внедрение алмазов в промышленность". М., НИИМАШ, 1967.
8. Бакуль В.Н. Оценка синтетических алмазов по прочности. Киев, И.С.М., 1969.