

жущую способность, которая повышается также за счет мельчайших сколов абразивных частиц. Но в то же время не все повороты частиц $n_{\text{пов}}$ практически реализуются.

На рис. 1 нанесены значения G_{Σ} , подсчитанные по формуле (1) для частиц зернистостью 200 (точка А) и 125 (точка В) при $K_{\phi} = 1,2$ (по данным работы [5]). Как видно из рис. 1, точки А и В располагаются в непосредственной близости от точек перегиба экспериментальных кривых.

Таким образом, предположение о снижении интенсивности съема металла, связанном с заполнением впадин субмикронеровностей и изменением их режущей способности, подтверждается вышеприведенными расчетами. Изложенные положения о механизме субмикрорезания при обработке незакрепленным абразивом, уплотненным инерционными силами, позволяют объяснить многие физические особенности этого метода обработки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шестопал Ю.Т., Скрябин В.А. Условия микрорезания при обработке деталей уплотненным слоем свободного абразива // Алмаз. и абразив. обработка деталей машин и инструмента. — Пенза, 1980. — Вып. 9. — С. 77–81.
2. Скрябин В.А. Повышение эффективности процесса микрорезания при обработке поверхностей деталей абразивом, уплотненным инерционными силами: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. — Мн., 1984. — 16 с.
3. Мартынов А.Н. Основы метода обработки деталей свободным абразивом, уплотненным инерционными силами. — Саратов, 1981. — 212 с.
4. Королев А.В. Исследование процессов образования поверхностей инструмента и детали при абразивной обработке. — Саратов, 1975. — 120 с.
5. Ящерицын П.И., Мартынов А.Н., Гарнопольский А.В. Двойственная природа съема металла при обработке деталей абразивом, уплотненным центробежно-планетарным способом // Изв. АН БССР. Сер. физ.-техн. наук. — 1987. — № 1. — С. 60–64.

УДК 621.924.93

В.А. СКРЯБИН, канд. техн. наук,
О.Ф. ПШЕНИЧНЫЙ, канд. техн. наук (Пензен. политехн. ин-т)

ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ПРОЦЕССА СУБМИКРОРЕЗАНИЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ ДЕТАЛЕЙ УПЛОТНЕННЫМ СЛОЕМ НЕЗАКРЕПЛЕННОГО АБРАЗИВА

Исследование метода обработки деталей абразивом, уплотненным инерционными силами, позволило установить, что плотность контактирования абразивных частиц с обрабатываемой поверхностью значительно выше, чем при обработке деталей жесткими и эластичными абразивными кругами [1, 2]. При этом съем металла происходит преимущественно выступами микро- и субмикрорельефа поверхности абразивных зерен, в результате чего происходит весьма тонкое диспергирование металла. По известным характеристикам процесса субмикрорезания единичным зерном, физико-механическим свойствам обрабатываемого материала, а также режимам резания и продолжительности обработки можно дать оценку производительности процесса субмикрорезания, а следовательно, и съема металла совокупностью абразивных зерен.

Выполненными ранее исследованиями [2] установлена аналитическая зависимость съема металла от вышеуказанных характеристик процесса субмикрорезания при обработке внутренних поверхностей сложнопрофильных деталей типа колец (рис. 1):

$$Q_{\Sigma B} = 0,45 \rho (1 - \epsilon_n) \times \\ \times \pi D n t b_0 h_0 N_{\Sigma} K_{\text{ш}} K_{\text{ж}},$$

где ρ — плотность обрабатываемого материала; ϵ_n — коэффициент навалов, определяемый экспериментально [2]: $\epsilon_n = 1 - K_c$; D — диаметр обрабатываемой детали; n — частота вращения детали; t — время обработки; b_0 и h_0 — соответственно ширина и глубина царапины от единичного микровыступа абразивного зерна; N_{Σ} — количество зерен на всей площади контакта абразивного бруска с обрабатываемой поверхностью; $K_{\text{ш}}$ — коэффициент, учитывающий влияние исходных параметров шероховатости поверхности, определяемый экспериментально [2]; $K_{\text{ж}}$ — коэффициент, учитывающий влияние жидкой фазы абразивной суспензии, определяемый экспериментально [2].

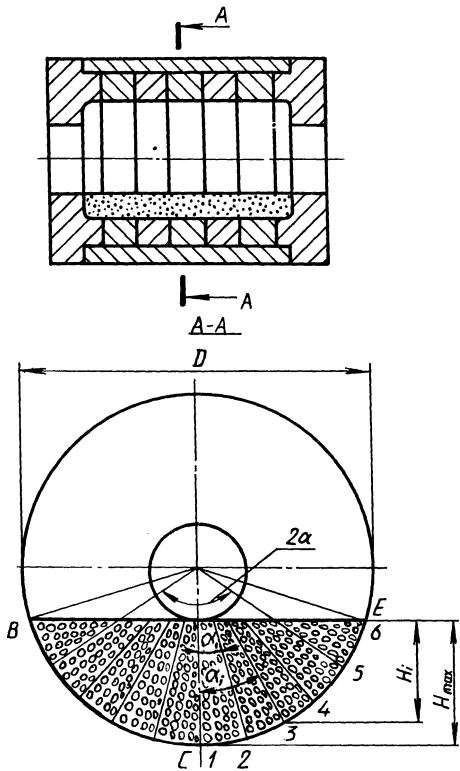


Рис. 1. Схема обработки внутренней поверхности детали незакрепленным абразивом, уплотненным инерционными силами

$$N_{\Sigma} = \frac{\pi D 2\alpha}{360} B_d \left(\sqrt[3]{n_1 \gamma_n} \right)^2,$$

где 2α — центральный угол уплотненного абразивного слоя; B_d — высота детали; $\left(\sqrt[3]{n_1 \gamma_n} \right)^2$ — число абразивных частиц, приходящихся на 1 см^2 площади поверхности обрабатываемой детали.

Для схемы обработки наружных сложнопрофильных поверхностей формула определения съема металла имеет вид [3]

$$Q_{\Sigma H} = 0,5 \rho (1 - \epsilon_n) 2\pi (n_0 R_1 + n_3 r_1) t b_0 h_0 N_{\Sigma} K_{\text{ш}} K_{\text{ж}},$$

где $2\pi n_0$ — разность угловых скоростей водила установки и барабана; $2\pi n_0 = (\omega_2 - \omega_1)$; $2\pi n_3$ — угловая скорость вращения оправок с деталями; R_1 и

r_1 — соответственно радиус водила и детали типа тела вращения сложного профиля.

Количество зерен также можно определить по следующей формуле:

$$N_{\Sigma} = \frac{2\pi r_1 (90^\circ - \alpha_1)}{360^\circ} \delta (\sqrt[3]{n_1 \gamma_H})^2,$$

где $2r_1$ — диаметр обрабатываемой детали; α_1 — полярный угол абразивного слоя; δ — глубина погружения детали в гидроабразивный слой; n_1 — число зерен в единице массы уплотненного слоя; γ_H — удельный вес абразива.

При внедрении абразивных зерен в обрабатываемую поверхность и их относительном движении возникают силы резания, определяющие характер относительного положения абразивных зерен. Если сила резания превысит силу нормального давления абразивного зерна на обрабатываемую поверхность, то оно повернется к этой поверхности другой гранью или вершиной. При этом, поскольку абразивные частицы находятся в уплотненном слое в состоянии плотной упаковки, изменение положения одного зерна может привести к относительному смещению граничащих с ним зерен. В этих условиях абразивные частицы в зоне контакта могут занимать произвольное положение по отношению к обрабатываемой поверхности. Было установлено, что расположение зерен на обрабатываемой поверхности носит равновероятный характер, если рассматривать не единичное зерно, а их совокупность в уплотненном состоянии. Следовательно, абразивное зерно с равной вероятностью может контактировать с обрабатываемой поверхностью любой своей вершиной, ребром и гранью.

При повороте абразивных частиц имеют место частичное скалывание и выкрошивание отдельных вершин. При этом микропрофиль обновляется и его режущие свойства поддерживаются на постоянном уровне.

Поворот абразивных зерен способствует повышению съема металла при обработке, что учитывается коэффициентом поворота ψ . Но в то же время не все повороты частиц n_{Π} практически реализуются.

В соответствии с [4] число поворотов абразивных частиц

$$n_{\Pi} = \frac{A_{\text{эл.ч}}}{\pi a_1 c_1},$$

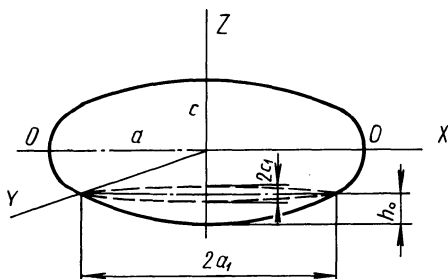
где $A_{\text{эл.ч}}$ — площадь поверхности частицы, моделируемой эллипсоидом вращения; $\pi a_1 c_1$ — площадь эллипса контакта частицы с обрабатываемой поверхностью детали (рис. 2).

Коэффициент поворота в первом приближении можно определить следующим образом:

$$\psi = \frac{\sum_{i=1}^m P(d_i) P_i}{n_{\Pi}},$$

где P_i — вероятность поворота зерна в вертикальное положение, $0 \leq P_i \leq 1$;

Рис. 2. Схема внедрения абразивного зерна в поверхность детали



$P(d_i)$ – вероятность поворота абразивного зерна в виде эллипсоида вращения вокруг его продольной оси OO' , $P(d_i) = d_i^0/d_i$; d_i^0 – возможное число контактов зерна при его повороте вокруг оси OO' ; d_i – общее количество положений абразивного зерна при его повороте.

Кроме того, на съем металла влияет и коэффициент K_φ [4], учитывающий то, что при поворотах частиц часть металла выпадает из впадин субмикронеровностей, увеличивая их режущую способность. Последняя увеличивается также за счет мельчайших сколов режущих частиц.

В этом случае расчетные зависимости съема металла для внутренней и наружной обработки незакрепленными абразивными зёрнами имеют следующий вид:

$$Q_{\Sigma В} = 0,45 \rho (1 - \epsilon_n) \pi D n t b_0 h_0 N_\Sigma n_\Pi \psi K_\varphi K_{\text{ш}} K_{\text{ж}} : \quad (1)$$

$$Q_{\Sigma Н} = 0,5 \rho (1 - \epsilon_n) 2\pi (n_0 R_1 + n_3 r_1) t b_0 h_0 N_\Sigma n_\Pi \psi K_\varphi K_{\text{ш}} K_{\text{ж}} . \quad (2)$$

В соответствии с выполненными исследованиями [5] глубина статического внедрения абразивного зерна в обрабатываемую поверхность определяется следующим образом:

$$h_{\text{ст}} = \frac{1,3 a^{2/3} c p_y^{2/3} K_\Pi^{2/3}}{(c + a - 0,67 \sqrt{ca})^{2/3} \text{HB}^{2/3}} ,$$

где a и c – соответственно продольная и поперечная оси абразивного зерна в виде эллипсоида вращения; p_y – давление уплотненного абразивного слоя на обрабатываемую поверхность; K_Π – коэффициент, учитывающий наличие свободных участков между абразивными зёрнами; HB – твердость обрабатываемого материала.

На съем металла большое влияние оказывает динамическая глубина внедрения $h_{\text{дин}}$, которая определяется в соответствии с [2]:

$$h_{\text{дин}} = h_0 = K_{\text{дин}} h_{\text{ст}} ,$$

где $K_{\text{дин}}$ – коэффициент динамичности, характеризующий соотношение глубин внедрений и определяемый экспериментально в соответствии с [2].

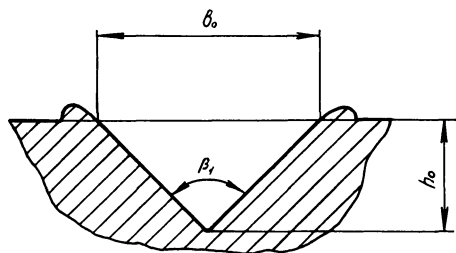


Рис. 3. Профиль царапины, полученной единственным выступом микрорельефа вершины абразивного зерна

Исследованиями [2] установлено, что в первом приближении можно считать угол царапины от единичного микровыступа абразивного зерна равным углу профиля данного микровыступа, образующего царапину при перемещении по поверхности детали (рис. 3).

В этом случае ширина царапины, образованной единичным микровыступом, определяется следующим образом:

$$b_0 = 2h_0 \operatorname{tg} \frac{\beta_1}{2},$$

где β_1 — угол профиля царапины от единичного микровыступа поверхности абразивного зерна.

Таким образом, определив числовые значения параметров, входящих в зависимости (1) и (2), можно прогнозировать весовой и размерный съем металла в условиях абразивного субмикрорезания в зависимости от технологических свойств абразива и обрабатываемого материала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мартынов А.Н. Основы метода обработки деталей свободным абразивом, уплотненным инерционными силами. — Саратов, 1981. — 212 с. 2. Скрябин В.А. Повышение эффективности процесса микрорезания при обработке поверхностей деталей абразивом, уплотненным инерционными силами: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. — Мн., 1984. — 16 с. 3. Пшеничный О.Ф. Выбор оптимальной схемы обработки наружного профиля деталей инерционно уплотненным абразивом // Алмаз. и абразив, обработка деталей машин и инструмента. — Пенза, 1983. — Вып. 12. — С. 53–58. 4. Скрябин В.А., Пшеничный О.Ф. Субмикрорезание при обработке поверхностей деталей незакрепленным абразивом, уплотненным инерционными силами // Машиностроение. — Мн., 1987. — Вып. 12. — С. 60–64. 5. Скрябин В.А., Пшеничный О.Ф. Контактное взаимодействие незакрепленных абразивных зерен с обрабатываемой поверхностью // Чистовая обработка деталей машин. — Саратов, 1987. — С. 98–103.