

УДК 621.923

В.В. Малыхин, С.Г. Новиков, Ф.В. Новиков, А.Н. Быков

Курский государственный технический университет

ГОУ СПО Курский электромеханический техникум

Харьковский национальный экономический университет

Физическое моделирование удержания алмазных зерен в металлических связках шлифовальных кругов

Предложены физические модели удержания алмазных зерен в металлических связках шлифовальных кругов и аналитическое определение усилий, возникающих в связках под действием радиальной и тангенциальной составляющих силы резания, а также силы трения между зерном и обрабатываемой поверхностью.

Визуальными исследованиями под микроскопом рабочих поверхностей алмазного шлифовального инструмента, эксплуатируемого в режимах как восстановления режущей способности, так и ее потери в процессе резания, установлено, что разрушение системы «алмазное зерно – связка инструмента» можно представить схемой (рис. 1).

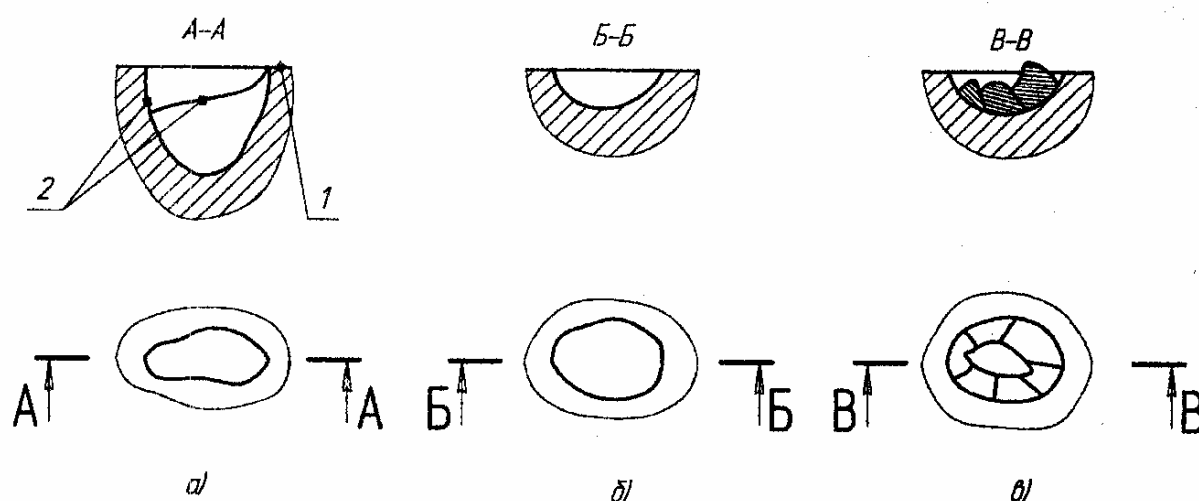


Рис. 1. Схема разрушения системы «алмазное зерно-связка инструмента»: 1 – неизношенная связка за зерном; 2 – изношенная связка перед зерном и по его бокам

В работе [1] все три приведенных случая объяснены следующим образом.

Появление на рабочей поверхности алмазного инструмента лунки удлиненной формы без остатков алмазного зерна внутри лунки (рис. 1,а) происходит в результате усталостной деформации связки за зерном (сдвиг зерен) из-за превышения предельной нагрузки. Неповрежденное алмазное зерно при этом под действием подачи обрабатываемого материала, вдавливаясь в связку инструмента, образует («пропахивает») лунку удлиненной формы («борозду»).

Образование на поверхности шлифовального круга лунки, совпадающей по форме с зерном без его остатков (рис. 1,б), обосновано разрушением соединения зерна со связкой по их границе в результате локального поворота алмазного зерна в лунке связки.

Лунка на поверхности инструмента с остатками части алмазного зерна в ней объясняется разрушением зерна из-за превышения предельной нагрузки на него (рис. 1,в).

Однако если объяснение двух последних видов разрушений, в какой-то мере, адекватно шлифованию алмазными кругами на металлических связках, то первый случай не соответствует реальным условиям.

На рис. 2 представлена фотография рабочей поверхности шлифовального круга, на которой видны алмазное зерно с площадкой износа 1, стружечная канавка 2 перед зерном, канавки 3 по бокам зерна и неизношенная по высоте связка 4 за зерном.

Стружечная канавка перед зерном образуется под воздействием стружки, сходящей по передней поверхности зерна. Канавки по бокам зерна появляются от воздействия стружки, которая выдавливается из стружечной канавки перед зерном. Алмазное зерно защищает связку инструмента за собой, поэтому и существует не изношенный по высоте участок связки за зерном.

Обобщая результаты исследований расположения связки инструмента вокруг алмазного зерна, понятно, что самыми ослабленными и наоборот прочными местами связки, удерживающей алмазное зерно, являются, соответственно, изношенная связка перед зерном и по его бокам и неизношенная связка за зерном, кроме того, очень велик массив связки за зерном. Поэтому заключение, что первый вид разрушения происходит за счет сдвига зерен в сторону неизношенной связки, является спорным, так как тогда удлиненная лунка имела бы более

правильную, например, овальную форму. Мы считаем, что удлиненная рваная лунка с утонченным концом с одной стороны (рис. 1,а) образуется за счет разрыва изношенной ослабленной связки перед алмазным зерном и по его бокам и требует иного взгляда на причину разрушения.

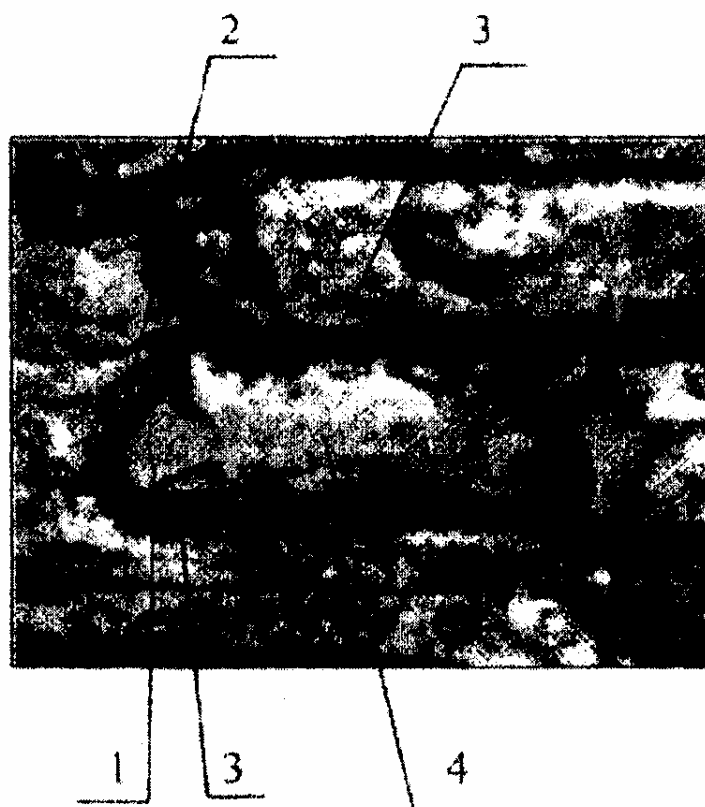


Рис. 2. Рабочая поверхность алмазного шлифовального круга

Существующие предлагаемые модели удержания алмазных зерен в связке инструментов [1] имеют следующие недостатки:

1. Упрощенные формы зерна в виде куба или прямоугольного параллелепипеда искажают форму реального зерна;

2. Необоснованно выбрана ось поворота алмазного зерна при потере устойчивости;

3. Не учтено наличие опоры за зерном, образовавшейся из-за того, что в процессе работы зерно защищает связку от износа позади себя, это существенно увеличивает опору зерна.

Последняя разработанная модель, представляющая форму алмазного зерна в виде сферы с диаметром, равным наибольшему размеру зерна [1], не лишена названных, да и других недостатков:

1. Неверно считается, что сфера зерна одинаково жестко заделана как в металлическую, так и в органическую связки.

2. Не рассматривается геометрия зерна, например, угол профиля при его вершине, который существенно влияет на процесс шлифования.

3. Необоснованно выбрана ось поворота алмазного зерна при потере устойчивости, проходящая через центр сферы, что не позволяет учитывать радиальную составляющую силы шлифования \bar{P}_y .

4. Не учтено существенное увеличение опоры позади зерна, что неверно объясняет образование на поверхности инструмента лунки удлиненной формы без остатков разрушившегося алмазного зерна.

Мы полагаем, что необходимо дифференцировать физические модели удержания алмазных зерен, соответственно, расположенных в металлических и органических связках шлифовального инструмента.

В нашей работе рассмотрим модели расположения зерна в металлических связках, для которых считаем адекватными жестко заделанными в них две модели алмазных зерен в виде полусферы и расположенного на ее экваториальной плоскости конуса (рис. 3,а) или двух обратных конусов, имеющих общее основание (рис. 3,б). В предложенных моделях радиус полусферы и высота конуса, расположенного в связке, принимаются равными наибольшему размеру зерна «у» – критической глубине заделки зерна в связке, м.

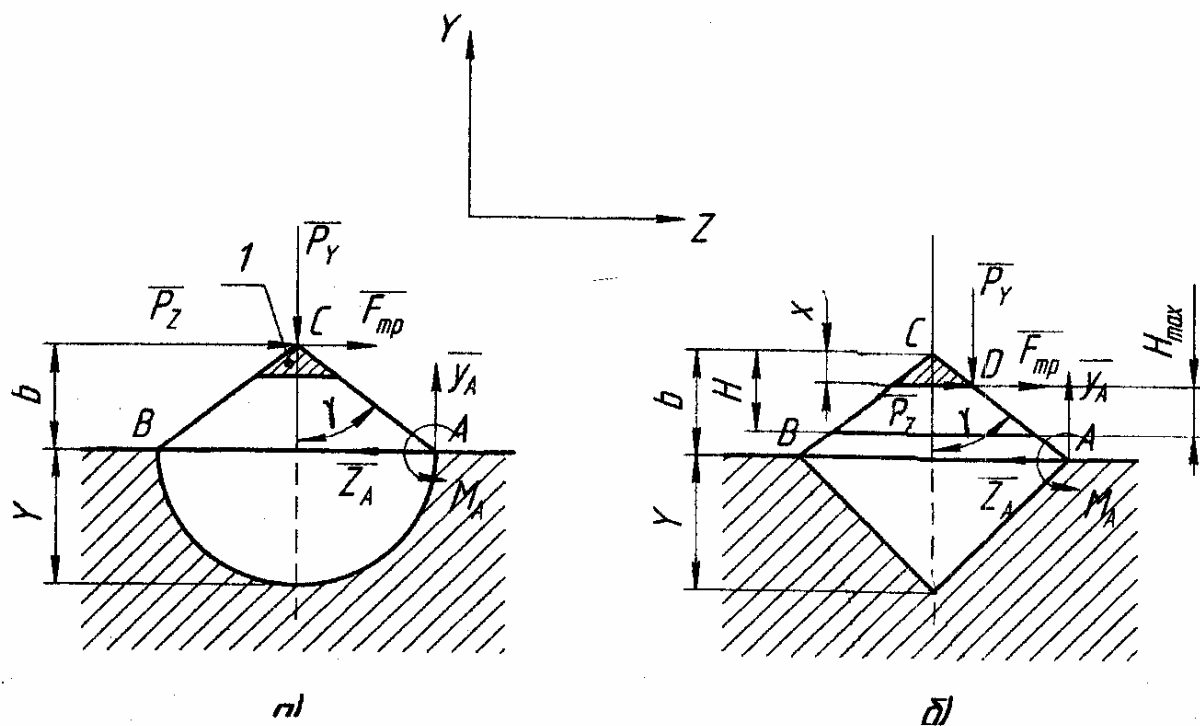


Рис. 3. Расчетная схема процесса шлифования:
1 - изношенная часть режущего зерна

Для анализа поведения зерна при шлифовании введены обозначения:

b – исходная максимальная высота выступания зерна над уровнем связки, м; H_{\max} – максимальная вероятностная (приведенная) толщина среза, м; H – максимальная (условная) глубина внедрения зерна в обрабатываемый материал, м; x – величина линейного износа выступающего над связкой зерна, м; γ – половина угла при вершине режущего зерна, град.

В процессе шлифования на зерно действуют радиальная \bar{P}_y и тангенциальная \bar{P}_z составляющие силы резания. Кроме того, примем во внимание силу трения скольжения $\bar{F}_{\text{тр}}$ между алмазным зерном и обрабатываемым материалом, направленную в противоположную сторону от скорости круга $\bar{V}_{\text{кр}}$, т. е. сила $\bar{F}_{\text{тр}}$ совпадает по направлению с вектором \bar{P}_z . Модуль $F_{\text{тр}} = f \cdot N = f \cdot P_y$, где f – коэффициент трения круга с обрабатываемым материалом; $N = P_y$ – нормальная реакция обрабатываемой поверхности. Весом зерна пренебрегаем ввиду его малости.

Очевидно, что ось поворота алмазного зерна при потере устойчивости пройдет через самую удаленную точку от его вертикальной оси симметрии в направлении сил \bar{P}_z и $\bar{F}_{\text{тр}}$, т. е. через точку A .

Для зерна в металлической связке мысленно отбросим жесткую заделку, заменив ее реактивным моментом M_A и реакцией \bar{R}_A , которую разложим по двум взаимно перпендикулярным направлениям: $\bar{R}_A = \bar{Y}_A + \bar{Z}_A$. Момент $M_A = a \cdot y$, где a – экспериментальная характеристика, учитывающая прочность удержания зерна в металлической связке, Н.

Из рис. 3,а видим, что силы \bar{P}_z и $\bar{F}_{\text{тр}}$ стремятся опрокинуть (вырвать) зерно относительно точки A , создавая опрокидывающий момент M_0 , а сила \bar{P}_y сохраняет зерно в связке удерживающим моментом M_y . С учетом линейного износа « x » минимальный удерживающий момент будет при прохождении обрабатываемой детали через точку D площадки износа, т. к. при этом плечо силы \bar{P}_y относительно точки A также минимально (рис. 3,б).

С учетом сказанного составим уравнения равновесия алмазного зерна в металлической связке под действием произвольной плоской системы сил:

$$\begin{cases} \sum Y_k = 0; -P_y + Y_A = 0; & (1) \\ \sum Z_k = 0; P_z + F_{\text{тр}} - Z_A = 0; & (2) \\ \sum M_{Ak} = 0; M_A + P_y (b-x) \operatorname{tg} \gamma - (P_z + F_{\text{тр}})(b-x) = 0. & (3) \end{cases}$$

Решая уравнения (1)–(3), находим реакции жесткой заделки зерна (усилия в металлической связке):

$$\begin{aligned} P_y &= Y_A; Z_A = P_z + F_{\text{тр}} = P_y (K_{\text{ш}} + f); \\ M_A &= P_y (b-x)(K_{\text{ш}} + f - \operatorname{tg} \gamma), \end{aligned} \quad (4)$$

где $K_{\text{ш}} = \frac{P_z}{P_y}$ – коэффициент шлифования.

Введем безразмерный параметр, определяющий степень затупления зерен $\mu = \frac{x}{H} = 0 \dots 1$ (для острого зерна $\mu \rightarrow 0$, для затупленного $\mu \rightarrow 1$).

Тогда $x = \mu H$ и выражение (4) примет вид

$$M_A = P_y (b - \mu H)(K_{\text{ш}} + f - \operatorname{tg} \gamma). \quad (5)$$

Очевидно $H = H_{\text{max}} + x$, $\mu = \frac{x}{H_{\text{max}} + x}$.

Отсюда $x = \frac{\mu H_{\text{max}}}{1 - \mu}$. Из зависимости (4) получаем:

$$M_A = P_y \left(b - \frac{\mu H_{\text{max}}}{1 - \mu} \right) (K_{\text{ш}} + f - \operatorname{tg} \gamma). \quad (6)$$

Таким образом, добиться увеличения M_a и уменьшения M_o можно применением силового шлифования (\bar{P}_y), поддержанием постоянной относительной скорости износа зерна и связки ($b-x = \text{const}$), увеличением угла при вершине конусного зерна (2γ), повышением режущей способности круга за счет поддержания в нем «острого» режущего рельефа (увеличение $K_{\text{ш}}$), которое достигается за счет большего роста \bar{P}_z

чем \bar{P}_y , путем применения самозатачивающихся связок, комбинированных методов шлифования, за счет использования эффективных технологических сред, импрогнации круга (уменьшение f) и т. д.

Если $M_A > 0$, но $\sigma_{сж} = \frac{P_y}{A} > [\sigma_{сж}]$ (где A – площадь конуса по площадке износа; $\sigma_{сж}$ и $[\sigma_{сж}]$ – напряжение и допускаемое напряжение сжатия алмазного зерна), то произойдет разрушение алмазного зерна и на поверхности инструмента образуется лунка с остатками в ней зерна (рис. 1, в).

Рассмотрим случай, когда $M_A = 0$, условие вырывания зерна из связки при этом $M_y \leq M_0$. Тогда из (4) видим, что

$$b - x = 0 \quad (7)$$

или
$$K_{ш} + f - \operatorname{tg} \gamma = 0. \quad (8)$$

Из выражения (7) следует, что по мере затупления зерен, увеличивается условная глубина внедрения зерна в обрабатываемый материал H и при значении $b = x$ обрабатываемый материал начнет контактировать со связкой круга. Поэтому при шлифовании инструментом на прочных металлических связках, которые не склонны к самозатачиванию, круги быстро затупляются, теряют режущую способность и засаливаются из-за вдавливания образующихся стружек в связку (образование площадки износа 1 на рис. 2).

Таким образом для нормальной работы круга необходимо в процессе шлифования управлять параметром H , обеспечивая полный сьем подводимого в зону резания материала на уровне $H \leq b$ [2].

Из выражений (5, 6) можно определять μ , H_{\max} , H в зависимости от условий задачи.

Из (8) имеем

$$\operatorname{tg} \gamma = K_{ш} + f. \quad (9)$$

При этом произойдет поворот зерна относительно точки A и на поверхности образуется лунка, совпадающая по форме с зерном без его остатков, т. к. износ металлической связки незначителен и диаметр лунки практически не изменяется. Из выражения (9) можно определять $K_{ш}$ или f .

Важное значение в обеспечении устойчивости алмазных зерен в связке инструмента имеют учитываемые моментом M_a силы сцепле-

ния зерна и связки, которые возникают в результате одновременного действия различных явлений: механического зацепления-заклинивания зерна в связке, сил адгезии, образования химического соединения между материалами связки и зернами.

Вывод: предложенные физические модели позволяют представить механику поведения алмазного зерна в металлических связках с учетом его геометрии и действующих на зерно сил, а также дают возможность аналитически исследовать процесс шлифования и определить прочностные характеристики связок.

1. Попов, А.В. Механико-прочностной анализ алмазного шлифовального инструмента [Текст] / А.В. Попов; Тул. гос. ун-т: Тула, 2003. 227 с.

2. Новиков, Ф.В. Значение параметров режущего рельефа круга в интенсификации процесса шлифования [Текст] / Ф.В. Новиков // Вестник инженерной академии Украины. Вып. 3. Киев, 2001. С. 569–572.