

Ф.В.НОВИКОВ, д-р техн. наук, **А.Н.КОВАЛЬЧУК** (г. Харьков)

ФОРМИРОВАНИЕ ПЛОСКОВЕРШИННЫХ ЗЕРЕН АЛМАЗНОГО КРУГА ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ШЕРОХОВАТОСТИ ОБРАБОТКИ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ТВЕРДОСПЛАВНЫХ ИЗДЕЛИЙ

В роботі надано теоретичний аналіз можливостей створення площадок на вершинах зерен алмазного круга з метою поліпшення шорсткості обробки циліндричних поверхонь виробів з твердих сплавів.

Theoretical analysis of capabilities of forming platforms on grain point of diamond wheel for the purpose of improvement of roughness of machined cylindrical surfaces of products made of hard alloys is given.

В наших работах [1, 2] показана эффективность шлифования алмазным кругом на металлической связке с плосковершинными зёрнами с точки зрения уменьшения микронеровностей обработанной цилиндрической поверхности твердосплавного изделия, т.е. улучшения шероховатости обработки. Формирование плосковершинных зёрен производится путем шлифования алмазным кругом образца из природного алмаза или из любого синтетического сверхтвёрдого материала, например, пластинки поликристалла, используемой при изготовлении лезвийного алмазного инструмента, или алмазного правящего карандаша (одно- или многокристального). Экспериментально установлено, что круглое наружное шлифование алмазным кругом (на металлической связке с плосковершинными зёрнами) цилиндрических поверхностей твердосплавных изделий позволяет уменьшить параметр шероховатости обработки R_a до 0,1 мкм, что соответствует уровню шероховатости обработки после притирки алмазным порошком. При этом обеспечивается достаточно высокопроизводительный съём твёрдого сплава, обработка производится с глубиной шлифования 0,025 – 0,05 мм.

Целью настоящей работы является обоснование наиболее эффективных технологических способов создания плосковершинных зёрен на алмазном круге прямого профиля 1A1.

Рассмотрим условия разрушения алмазных зёрен круга от действия механических нагрузок, возникающих в процессе шлифования алмазной пластинки, которая прижимается к периферии алмазного круга с радиальным усилием P_r . В первом приближении примем равномерный закон выступания вершин неизношенных зёрен над уровнем связки алмазного круга. Предположим, что под действием радиальной силы P_r , действующей

на отдельное зерно в процессе шлифования, зерно “утопает” в связку круга на величину y , т.е. между силой P_{y_i} и радиальным перемещением (“утопанием”) зерна в связку y существует связь: $P_{y_i} = c \cdot y$, где c – жесткость связки, Н·м. Учитывая то, что вследствие “утопания” зерен в связку, в контакте с обрабатываемой алмазной пластинкой будет находиться n зерен из всего числа N зерен, расположенных на рабочей поверхности круга площадью S (где S – площадь обрабатываемой поверхности алмазной пластинки, м²), справедливо равенство:

$$P_y = \sum_{i=1}^n P_{y_i} = c \cdot y + c \cdot (y - \Delta) + c \cdot (y - 2\Delta) + \dots + c \cdot (y - n \cdot \Delta) = c \cdot \left(n \cdot y - \Delta \cdot \sum_{i=1}^n i \right). \quad (1)$$

Здесь $\Delta = b/N$ – среднее расстояние (по высоте) между вершинами зерен, расположенных на рабочей поверхности круга в пределах контакта с обрабатываемой алмазной пластинкой, м; b – максимальная высота выступания вершин зерен над уровнем связки круга, м; $N = k \cdot S$; k – поверхностная концентрация зерен на рабочей поверхности круга, шт/м². Тогда

$$\Delta = \frac{b}{k \cdot S}. \quad (2)$$

Количество контактирующих с обрабатываемой алмазной пластинкой зерен n можно определить из зависимости

$$n = N \cdot \frac{y}{b} = k \cdot S \cdot \frac{y}{b}. \quad (3)$$

Откуда

$$y = \frac{n \cdot b}{k \cdot S}. \quad (4)$$

В зависимости (1) сумма $\sum_{i=1}^n i$ представляет собой сумму первых n членов арифметической прогрессии и равна:

$$\sum_{i=1}^n i = \frac{(1+n) \cdot n}{2}. \quad (5)$$

С учетом зависимостей (2), (4) и (5), зависимость (1) примет вид:

$$P_y = n \cdot (n-1) \cdot \frac{c \cdot b}{2 \cdot k \cdot S}. \quad (6)$$

Данная зависимость содержит неизвестную величину n . Для ее определения разрешим зависимость (6) относительно n . В результате приходим к квадратному уравнению:

$$n^2 - n - \frac{2 \cdot k \cdot S \cdot P_y}{c \cdot b} = 0. \quad (7)$$

Его решение:

$$n = \frac{1}{2} \cdot \left(1 + \sqrt{1 + \frac{8 \cdot k \cdot S \cdot P_y}{c \cdot b}} \right). \quad (8)$$

круга алмазного зерна. Это возможно при шлифовании алмазными кругами на прочных металлических связках, практически исключающих "утопание" зерен в связку ($y \rightarrow 0$).

Из зависимости (8) следует, что с уменьшением жесткости связки c количество зерен n , находящихся в контакте с обрабатываемой пластинкой, увеличится, $n > 1$. Поэтому зависимость (8) можно упростить:

$$n = \sqrt{\frac{2 \cdot k \cdot S \cdot P_y}{c \cdot b}}. \quad (9)$$

Уменьшение жесткости c предполагает применение более мягких связок алмазного круга — органических и керамических. При определенном значении c количество зерен n увеличится до максимального значения N , т.е. в контакте с обрабатываемой алмазной пластинкой будут находиться практически все зерна, расположенные на рабочей поверхности круга в пределах площади S . В этом случае обрабатываемая алмазная пластинка будет контактировать со связкой круга, вызывая ее разрушение и выпадение зерен из связки, обеспечивая таким образом режим самозатачивания алмазного круга.

Исходя из зависимости (9), выполнить условие $n \rightarrow N$ можно также за счет увеличения усилия прижатия обрабатываемой алмазной пластинки к кругу P_y .

Оценим величину радиальной нагрузки, действующей на максимально выступающее из связки зерно, $P_{y1} = c \cdot y$. С учетом зависимостей (4) и (8) она равна:

$$P_{y1} = \frac{c \cdot b}{2 \cdot k \cdot S} \cdot \left(1 + \sqrt{1 + \frac{8 \cdot k \cdot S \cdot P_y}{c \cdot b}} \right) \approx \sqrt{\frac{2 \cdot c \cdot b \cdot P_{y1}}{k}}, \quad (10)$$

где $P_{y1} = P_y / S$ – нормальное давление в зоне обработки, Н/м².

Как видно, с увеличением параметров c , b , P_{y1} и уменьшением k нагрузка P_{y1} увеличивается. Это означает, что наибольшая нагрузка P_{y1} достигается при шлифовании алмазным кругом на металлической связке (вследствие увеличения жесткости c). Следовательно, в этом случае произойдет наибольшее разрушение зерна с образованием наибольшей площадки на его вершине.

При шлифовании алмазными кругами на менее прочных и твердых органических и керамических связках нагрузки P_{y1} будут меньше, что приведет к образованию меньших площадок на вершинах зерен. Поэтому для увеличения нагрузки P_{y1} , согласно зависимости (10), необходимо увеличивать нормальное давление в зоне обработки P_{y1} .

Оценим, как это повлияет на интенсивность съема материала с обрабатываемой пластинки. Нагрузку P_{y1} , действующую на максимально выступающее из связки зерно круга, можно выразить зависимостью:

$$P_{y1} = HV \cdot \pi \cdot \operatorname{tg}^2 \gamma \cdot H^2, \quad (11)$$

где HV – твердость (по Виккерсу) обрабатываемого материала, Н/м²; 2γ – условный угол при вершине конусообразного режущего зерна; H – глубина внедрения режущего зерна в обрабатываемый материал, м.

Откуда

$$H = \sqrt{\frac{P_{y1}}{\pi \cdot \operatorname{tg}^2 \gamma \cdot HV}}. \quad (12)$$

Параметр H тем больше, чем больше нагрузка P_{y1} и меньше твердость обрабатываемого материала HV . Для заданного значения HV (равного твердости алмаза) увеличить параметр H и соответственно производительность обработки можно увеличением нагрузки P_{y1} . А это

достигается, согласно зависимости (10), увеличением жесткости связки (т.е. применением алмазных кругов на металлических связках) и нормального давления P_n . Чем меньше c , тем больше должно быть нормальное давление P_n . Поэтому при шлифовании алмазной пластинки алмазным кругом на металлической связке нормальное давление P_n должно быть меньше, чем при шлифовании алмазным кругом на менее прочной органической или керамической связках.

Это хорошо согласуется с практическими данными. Так, в работе [3] показано, что для нормального протекания процесса шлифования синтетического сверхтвердого материала алмазным кругом на органической связке нормальное давление P_n должно быть приблизительно в 10 раз больше, чем при шлифовании алмазным кругом на металлической связке. В противном случае сьем обрабатываемого материала (алмаза) не произойдет.

Исходя из зависимости (10), важным условием увеличения нагрузки P_n и соответственно производительности обработки является увеличение максимальной высоты выступания зерен над уровнем связки круга b и уменьшение поверхностной концентрации зерен круга k . Выразим параметры b и k через стандартные параметры – объемную концентрацию зерен круга m и зернистость круга \bar{X} , используя известные зависимости, приведенные в работе [4]:

$$k = \frac{3m \cdot (1 - \varepsilon)}{200\pi \cdot \bar{X}^2}, \quad (13)$$

$$b = (1 - \varepsilon) \cdot \bar{X}, \quad (14)$$

где $(1 - \varepsilon)$ – безразмерный коэффициент, учитывающий степень выступания режущего зерна над уровнем связки круга,

Тогда соотношение b/k выразится:

$$\frac{b}{k} = \frac{200\pi \cdot \bar{X}^3}{3m}. \quad (15)$$

Как видно, увеличение соотношения b/k предполагает увеличение зернистости круга \bar{X} и уменьшение объемной концентрации зерен круга m . Причем, зернистость круга \bar{X} оказывает на соотношение b/k более существенное влияние.

Параметр H , определяемый зависимостью (12), приблизительно равен максимальной высоте микронеровностей обработанной поверхности.

Поэтому, чем больше нагрузка P_{y1} , тем больше шероховатость обработки. Как показано выше, при шлифовании алмазным кругом на металлической связке нагрузка P_{y1} больше, чем при шлифовании алмазным кругом на органической связке. Следовательно, будет больше и шероховатость обработки, что также хорошо согласуется с практическими данными. Эффект уменьшения шероховатости обработки обусловлен возможностью “утопания” режущих зерен в органическую связку круга и увеличением количества одновременно работающих зерен.

Таким образом, в работе теоретически обосновано условие создания значительных площадок на вершинах алмазных зерен круга в процессе их взаимодействия с обрабатываемой алмазной пластинкой.

Список литературы: 1. Новиков Ф.В., Дитиненко С.А., Ковальчук А.Н. Финишная обработка твердосплавных изделий алмазными кругами на металлических связках // Труды 11-й Межд. науч.-техн. конф. “Физические и компьютерные технологии”, 2-3 июня 2005 г. – Харьков: ХНПК “ФЭД”, 2005. – С.8-10. 2. Новиков Г.В., Ковальчук А.Н., Яценко С.М. Исследование структуры параметров рабочей поверхности алмазно-абразивных инструментов // Вісник Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут” – Харків: НТУ “ХПІ”, 2005, №12. – С. 110-118. 3. Грабченко А.И., Пыжов И.Н. Особенности контактного взаимодействия алмазных кругов с СТМ при шлифовании // Контактные процессы при больших пластических деформациях. – Темат. сборник науч. трудов. – Харьков, 1982. – С. 33-37. 4. Абразивно-алмазная обработка материалов: Справочник / Под ред. А.Н. Резникова. – М.: Машиностроение, 1977. – 390 с. 5. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения / Под общ. ред. Ф.В. Новикова и А.В. Якимова. В десяти томах. – Т.4. “Теория абразивной и алмазно-абразивной обработки материалов”. – Одесса: ОНПУ, 2002. – 802 с.

Поступила в редколлегию 01.06.05.