

УДК 621.923

А.Ю. Колодяжный (асп. каф. ТМ), Н.Ю. Ковеленов, к.т.н., доц.

ИССЛЕДОВАНИЕ НОВОЙ СХЕМЫ ШЛИФОВАНИЯ ПЛОСКОСТЕЙ КЕРАМИЧЕСКИХ ЗАГОТОВОК

В промышленности черновое и чистовое алмазное шлифование плоских заготовок из керамики производят на различных станках со скоростями кругов преимущественно > 15 м/с.

Самая распространенная схема обработки – шлифование периферией кругов формы 1А1. Достоинство схемы заключается в высокой жесткости станков и малой площади контакта с поверхностью заготовок, алмазные круги на металлической связке работают в режиме самозатачивания, следовательно, инструмент правят редко, только из-за потери кругом круглости, круги расходуются экономично. К недостатком схемы можно отнести: низкую режущую способность кругов при обработке заготовок из керамики с $HV > 30$ ГПа по причине небольшой глубины резания за 1 ход, скалывание краев при увеличении глубины резания, получение неплоской (выпуклой) поверхности из-за различных площадей контакта круга на выходе (входе) и в середине заготовки, не устраняемой путем длительного выхаживания. При обработке заготовок из материала РКК(SiC) (реакционноспеченный карбид кремния) наибольшая режущая способность кругов зернистостью 63/50-100/80 равна $0,6 \dots 0,8$ см³/мин, отклонение от плоскостности у колец размером 50x30x10 мм достигает 0,03мм.

Скоростное шлифование плоских заготовок с $HV > 30$ ГПа торцом кругов формы 12А2 при $P_y = \text{const}$ обеспечивает на первой минуте шлифования режущую способность равную $0,5 \dots 2,5$ см³/мин. Однако из-за быстрого износа вершин зерен режущая способность снижается в $2,5 \dots 3$ раза к концу второй минуты шлифования. Стойкость кругов $< 3 \dots 4$ мин. Круги необходимо править. Установлено, что только $\sim 1/200$ часть массы алмазов в кругах формы 12А2 расходуется на резание керамики, остальные теряются при правке. И все же, этот способ примерно в $1,5 \dots 2$ раза производительнее периферийного шлифования. Шероховатость поверхности обеспечивается равной $Ra = 0,2 \dots 0,63$ мкм, волнистость – в пределах шероховатости, глубина трещин — $5 \dots 12$ мкм. При работе по этой схеме с постоянной подачей из-за износа зерен резко возрастает сила P_y , что приводит к скалыванию краев и, иногда, к разрушению заготовок.

Указанных недостатков лишена низкоскоростная ($V < 3$ м/с) схема обработки заготовок с постоянной силой прижима заготовок к инструменту формы 6А2. Данная схема обеспечивает хорошую шероховатость и плоскостность деталей, аналогичную высокоскоростной обработке кругами формы 12А2, достаточно высокую режущую способность и небольшой износ круга. Особого внимания заслуживает схема, в которой базирование заготовки при обработке осуществляется по обрабатываемому инструменту, т.к. при этом в значительной степени упрощается конструкция оборудования. Однако предложенная схема недостаточно исследована и требует отработки режимных параметров. Режущая способность кругов, период их стойкости и качество обработки в этом случае существенно зависят от обеспечения соответствующего давления на контактной поверхности зерен с обрабатываемым материалом. Только при достижении определенного контактного давления происходит квазихрупкое или хрупкое разрушение керамики под зерном, но с повышением давления происходит рост температуры и возрастает вероятность ускорения процесса графитизации, а значит повышенного износа зерен.

При шлифовании химически инертных керамик алмазы в кругах изнашиваются вследствие графитизации контактной поверхности при нагреве ее до 1320 К, абразивного или механического истирания. В процессе исследований получена зависимость температуры на контактной поверхности алмазных зерен при наличии охлаждающей среды: $T_{cp} = 4b_a f \sigma_3 V r_o / \lambda_a$, где $b_a = 0,52 \dots 0,85$ – доля тепла, поглощаемая алмазами, f – коэффициент трения

при шлифовании алмазами керамики, $r_0 = \sqrt{r_n(\bar{l} + 3\sigma_1)}$ - эквивалентный радиус цилиндра, заменяющего реальное зерно, \bar{l} - длина зерна основной фракции, σ_1 - среднее квадратическое отклонение длины \bar{l} зерна, r_n - исходный радиус не изношенной вершины зерна, λ_a - теплопроводность алмазов, V - скорость резания, σ_3 - давление на контактной поверхности,

Из приведенной выше формулы при $T_{cp} = 1320K$ получили зависимость давления σ_3 для графитизации контактной задней грани зерен кругов: $\sigma_3 = (1320\lambda_a)/(4b_a f V r_0)$, ГПа. Расчеты проведенные по данной формуле показывают, что для кругов зернистостью 40/28, 80/63, 100/80 на связке М1 с острыми вершинами зерен при обработке керамики РКК на скорости $V=1$ м/с давление графитизации равно, соответственно, 45, 32, и 21 ГПа. При скорости $V=3$ м/с давление σ_3 в 4 – 5 раз меньше. При шлифовании керамики ТЛ75 на скорости 1 м/с это давление равно соответственно 68, 52 и 33 ГПа.

При склерометрировании керамики установлено, что в зависимости от прикладываемого к индентору усилия, на керамике остаются риски, исследование которых показывает, что явления, происходящие при их образовании, были различны. Чаще всего происходит хрупкое разрушение керамики царапающим индентором (при больших заглублениях индентора происходит выброс материала из под зерна, т.е. процесс идет по схеме самоподдерживающегося разрушения, как при сильном ударе). При уменьшении силы до определенного предела выброса не происходит, риска представляет собой след от индентора, вдавленный в основной материал, дно и стенки следа состоят из мелко раздробленной, спрессованной керамики. Края таких рисков имеют обколы, под рисками при споллировании обнаруживается трещиноватый слой. В отдельных случаях при малых силах и радиусах индентора на керамике образовывались риски, аналогичные рискам оставляемым на пластичных материалах (без обколов краев, с боковыми пластичными навалами, без трещиноватого слоя под ними).

Для эффективного съема материала необходимо, чтобы при шлифовании происходило хрупкое разрушение керамики по первому типу. Для этого давление на зерне должно достигать определенного значения. Получена зависимость для определения силы самоподдерживающегося разрушения керамики сферическим индентором: $\Delta P_N = K_{IC}(a^*)^{1.5} [3804 + 744(a^*/l_0)^{0.5}]$. Где, $K_{IC} = \sqrt{\pi E \gamma / (1 - \mu^2)}$ коэффициент интенсивности напряжений, $a^* = 10, 12$ ($K_{IC} r_M / E$)^{1.5} - радиус начального конуса разрушения, l_0 - структурная постоянная материала (начальная трещина или средний размер зерна), $\gamma = 2,3 \cdot 10^{-11} HV^{1.054}$ - поверхностная энергия керамики, r_M - радиус кривизны зерна в точке контакта с керамикой. Сила $\Delta P_y = \Delta P_N \cos \alpha$. Угол $\alpha = \arctg f$, где $f = \Delta P_z / \Delta P_y$ - коэффициент трения при шлифовании. И. В. Крагельский установил двучленный закон трения, согласно которому $f = f_m + f_d$. Молекулярный коэффициент f_m для алмазов и керамик в рассматриваемом диапазоне скоростей равен 0,085 – 0,05. Деформационный коэффициент $f_d = \tg \alpha_d$ вычисляется по эмпирической зависимости: $f_d = 0,167 \sqrt{2(I_n + t) / r_M}$, где I_n - линейный износ вершин зерен, t - глубина внедрения зерна.

Для зерен с различной величиной износа были вычислены значения давления на задних гранях в случае хрупкого разрушения керамики при резании $\sigma_3 = \Delta P_y / S_{зф}$. В первые секунды резания эти давления равны, а иногда и превышают, микротвердость керамики, т.е. 98 ГПа. Следовательно, в первые 5 секунд шлифования вершины быстро «сгорают» и давление снижается до 33 ГПа – микротвердости алмаза при температуре близкой к 1320K. Затем давление постепенно падает и в зависимости от силы прижима стабилизируется на уровне 5-10 ГПа при скорости 3 м/с. При шлифовании керамики РКК хрупкое резание будет происходить при давлении на задней грани выше 10 ГПа. Т.е. уже при скорости 2-3 м/с при таком давлении будет наблюдаться интенсивная графитизация зерен.

Следовательно, эффективная алмазная шлифовка высокопрочной керамики по схеме с постоянной силой прижима заготовок к инструменту формы 6А2 возможна при скоростях резания близких к 1 м/с и давлениях на задних поверхностях зерен в пределах 10-15 ГПа. При этом достигается большая стойкость инструмента и устойчивый процесс хрупкого резания материала.