

УДК 621.923

Физическая сущность формирования шероховатости и точности поверхности при алмазно-абразивной обработке

Новиков Ф.В., докт. техн. наук, Фадеев В.А., канд. техн. наук

В работе приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований шероховатости, точности и производительности обработки при алмазном шлифовании. Обоснованы пути повышения эффективности алмазно-абразивной обработки.

In work the results theoretical and experimental researches of a roughness, accuracy and productivity of processing are given at diamond grinding. The ways of increase of efficiency diamond абразивной of processing are proved.

Проблеме образования шероховатости поверхности при абразивной и алмазно-абразивной обработке в научно-технической литературе уделено большое внимание [1-5]. Разработаны расчетные схемы для теоретического определения параметров шероховатости обработки. Однако, они, как правило, основаны на кинематическом представлении участия зерен в резании в процессе обработки. Вместе с тем, как показано в работе [6], формирование параметров шероховатости обработки происходит в условиях, когда известное отношение a_z / ρ принимает предельные значения (0,04 – 0,08, по данным проф. Богомолова Н.И.), при которых процесс резания (стружкообразования) переходит в процесс упруго-пластического деформирования обрабатываемого металла без образования стружки, где a_z - толщина среза; ρ - радиус округления режущей кромки зерна. В связи с этим, кинематический расчет параметров шероховатости обработки правомочен при значениях a_z / ρ , которые больше предельных. Если отношение a_z / ρ принимает значения, близкие к предельным, то расчет параметров шероховатости обработки необходимо производить на основе физического условия $a_z / \rho = 0,04 - 0,08$, принимая в первом приближении параметр шероховатости обработки R_{max} равным толщине среза a_z и определяемым по формуле

$$R_{max} = (0,04 - 0,08) \cdot \rho. \quad (1)$$

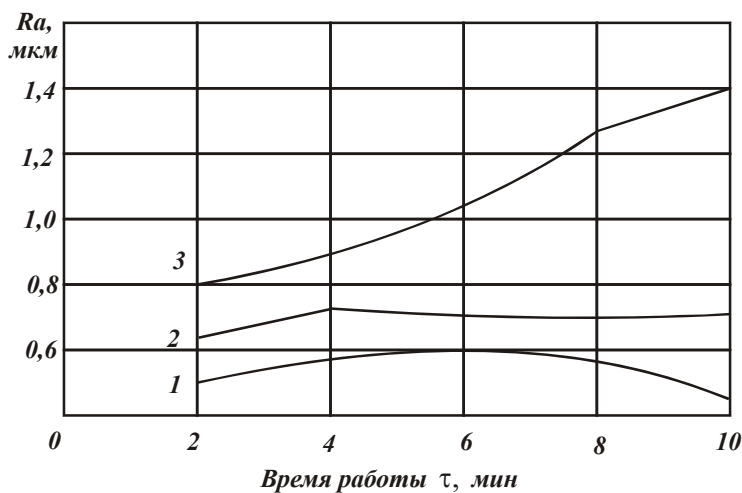


Рис.1. Зависимость параметра шероховатости R_a от времени обработки: 1 – круг АС6 160/125 Б1 – 100%; 2 – круг АС6 160/125 К1 – 100%; 3 – АС6 160/125 М2-01 – 100%; $V_{кр}=23$ м/с; $V_{дет}=60$ м/мин; $S_{пр}=3$ м/мин; $S_{нон}=0,1$ мм/мин

изменения параметра шероховатости обработки R_a с течением времени обработки при шлифовании алмазными кругами на органической, керамической и металлической связках. Как видно, при шлифовании алмазными кругами на органической и керамической связках параметр шероховатости обработки R_a практически не изменяется с течением времени обработки, что обусловлено достаточно устойчивой работой указанных кругов в режиме самозатачивания. При шлифовании алмазным кругом на металлической связке

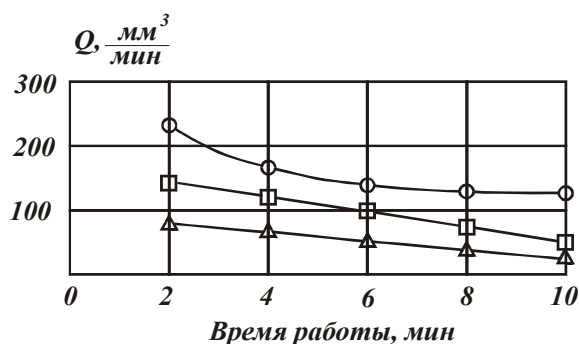


Рис.2. Зависимость производительности обработки Q от времени работы: 1 – алмазный круг АС6 160/125 К1 4; 2 – АС6 160/125 Б1 4; 3 – АС6 160/125 М2-01 4; $V_{кр}=23$ м/с; $V_{дет}=60$ м/мин; $S_{пр}=3$ м/мин; $S_{нон}=0,1$ мм/мин

В настоящей работе приведены результаты экспериментальных исследований, подтверждающие правомочность данного подхода к расчету шероховатости обработки.

С этой целью были проведены экспериментальные исследования внутреннего врезного алмазного шлифования твердосплавных втулок. На рис. 1 показан характер

изменения параметра шероховатости обработки R_a с течением времени обработки непрерывно увеличивается.

Для того чтобы объяснить данную закономерность, были проведены исследования производительности обработки при шлифовании. Установлено (рис. 2), что производительность обработки при шлифовании алмазными кругами на органической и керамической связках мало изменяется во времени.

При шлифовании алмазным кругом на металлической связке за 10 минут работы производительность уменьшилась почти в 5 раз, что обусловлено потерей режущей способности алмазного круга вследствие затупления алмазных зерен.

Исходя из кинематического представления процесса шлифования, затупление режущих зерен (образование на них площадок износа) должно, по сути, привести к уменьшению параметра шероховатости обработки R_a . Однако, как следует из рис. 1, наблюдается противоположная закономерность. С чем это может быть связано?

Очевидно, по мере затупления режущих зерен увеличиваются радиусы округления их режущих кромок ρ и уменьшается отношение a_z / ρ . При достижении предельного значения a_z / ρ зерна перестают резать. В результате часть зерен в резании не участвуют (в том числе и по причине их выпадения из связки круга). Резать будут лишь те зерна, для которых справедливо условие $a_z / \rho = 004 - 008$. Согласно этому условию, с увеличением параметра ρ во времени будет увеличиваться толщина среза a_z , которая в первом приближении равна параметру шероховатости обработки R_{max} , определяемому зависимостью (1).

Таким образом показано, что увеличение параметра шероховатости обработки R_{max} с течением времени обусловлено, во-первых, достижением предельных значений a_z / ρ , во-вторых, увеличением во времени параметра ρ .

Уменьшение производительности обработки с течением времени связано с уменьшением количества режущих зерен по причине уменьшения отношения a_z / ρ до предельных значений.

На основе зависимости (1) с использованием экспериментальных значений $R_{max} = 5 \cdot R_a$, приведенных на рис. 1, можно рассчитать значения ρ при шлифовании алмазным кругом на металлической связке, табл. 1.

Таблица 1

τ , МИН	2	4	6	8	10
R_a , МКМ	0,8	0,9	1,05	1,3	1,4
ρ , МКМ	50-100	56-112	65-130	81-162	87-174

Как следует из табл. 1, наибольшие значения ρ (соответствующие $a_z / \rho = 0,04$) превышают радиус зерна $R = \bar{X} / 2 = 160 \text{ мкм} / 2 = 80 \text{ мкм}$, где \bar{X} - зернистость алмазного круга. Это свидетельствует о том, что резание производится изношенными зернами.

Для алмазного круга на органической связке Б1 радиус округления режущей кромки зерна ρ рассчитанный по зависимости (2) для $R_a = 0,55 \text{ мкм}$, изменяется в пределах 34-68 мкм. Для алмазного круга на керамической связке К1 ($R_a = 0,7 \text{ мкм}$) радиус $\rho = 44-88 \text{ мкм}$. Как видим, для данных алмазных кругов справедливо условие $\rho \leq R$, т.е. отношение $a_z / \rho \geq 0,04-0,08$ принимает значения, превышающие предельные.

На основе проведенного анализа можно сделать вывод о том, что существуют два условия формирования шероховатости поверхности: $a_z / \rho > 0,04-0,08$; $a_z / \rho \approx 0,04-0,08$. В первом случае формирование шероховатости поверхности происходит в устойчивом режиме процесса резания (стружкообразования). Во втором случае – при достижении предельных значений a_z / ρ , когда резание переходит в упруго-пластическое деформирование обрабатываемого материала и процесс характеризуется большой силовой напряженностью. Тогда, в первом случае формирование шероховатости поверхности можно рассматривать с кинематических позиций как процесс наложения и перекрытия проекций режущих зерен на условную плоскость, расположенную перпендикулярно направлению движения зерен. Во втором случае – с физических позиций, как процесс осуществления предельных значений a_z / ρ . В первом случае расчет параметров шероховатости обработки можно производить по аналитическим зависимостям, полученным на основе кинематических подходов, во втором случае – на основе зависимости (1).

Проведем анализ характера изменения производительности обработки, рис. 2. Уравнение баланса перемещений в технологической системе при внутреннем врезном шлифовании по жесткой схеме имеет вид [7]:

$$V_0 \cdot \tau - V_\phi \cdot \tau = y = \frac{P_y}{c} \quad (3)$$

или

$$V_0 - V_\phi = \frac{P_y}{c \cdot \tau}, \quad (4)$$

где V_0, V_ϕ - номинальная и фактическая скорости радиальной подачи, м/с; τ - время обработки, с; y - величина упругого перемещения в технологической системе, м; P_y - радиальная составляющая силы резания, Н; c - приведенная жесткость технологической системы, Н/м.

$$\text{Здесь } P_y = \frac{\sigma}{K_{рез}} \cdot \frac{Q}{V_{кр}}, \quad \sigma - \text{условное напряжение резания,}$$

Н/м²; $K_{рез}$ - коэффициент резания, равный отношению тангенциальной и радиальной составляющих силы резания; Q - фактическая производительность обработки, м³/с; $V_{кр}$ - скорость круга, м/с.

Отношение $K_{рез} / \sigma$ определяется зависимостью

$$\frac{K_{рез}}{\sigma} = \frac{1}{3} \cdot \sqrt[3]{\frac{2}{HV^2 \cdot \tau_{сдв}} \cdot \left(\frac{a_z}{\rho}\right)^2}, \quad (5)$$

где HV , $\tau_{сдв}$ - соответственно твердость (по Виккерсу) и предел прочности на сдвиг обрабатываемого металла, Н/м²; a_z - толщина среза при абразивной обработке, м; ρ - радиус округления режущей кромки, м.

Параметры V_0, V_ϕ определяют соответственно номинальную Q_0 и фактическую Q производительности обработки. При шлифовании алмазным кругом на металлической связке, исходя из рис. 2, разность $V_0 - V_\phi$ увеличивается во времени вследствие уменьшения V_ϕ . Согласно зависимости (4), это обусловлено более интенсивным увеличением радиальной составляющей силы резания P_y по сравнению с увеличением параметра τ . Увеличение P_y связано с уменьшением отношения $K_{рез} / \sigma$ за счет уменьшения отношения a_z / ρ . Поскольку процесс резания при $a_z / \rho \geq 0,04-0,08$, правильнее зависимость (5) представить в виде

$$\frac{K_{рез}}{\sigma} = \frac{1}{3} \cdot \sqrt[3]{\frac{2}{HV^2 \cdot \tau_{сдв}} \cdot \left(\frac{a_z}{\rho} - 0,04\right)^2} \quad (6)$$

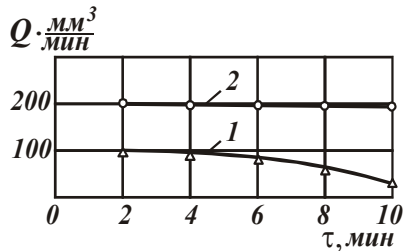


Рис.3. Зависимость производительности Q от времени работы τ : обр. материал – ВК15; круг – АС6 160/125 М2-01 4; $V_{кр}=23$ м/с; $V_{дет}=60$ м/мин; $S_{np}=3$ м/мин; $S_{non}=0,1$ мм/мин; 1 – $I=0$; 2 – $I=15$ А.

Тогда, при $a_z / \rho \rightarrow 0,04$ отношение $K_{рез} / \sigma \rightarrow 0$, а $P_y \rightarrow \infty$, $y \rightarrow \infty$, $(V_0 - V_\phi) \rightarrow \infty$. Таким образом, используя зависимость (6), раскрыта физическая сущность рассматриваемого процесса алмазного шлифования. Следуя зависимости (6), увеличить отношение $K_{рез} / \sigma$ и уменьшить параметры P_y , y , $V_0 - V_\phi$ можно увеличением отношения a_z / ρ за счет уменьшения ρ , что подтверждается результатами исследований шлифования алмазными кругами на органических и бакелитовых связках, рис. 2.

Повысить эффективность шлифования алмазными кругами на металлических связках можно применением непрерывной или периодической электроэрозионной правки. В этом случае фактическая производительность обработки стабилизируется во времени, незначительно отличаясь от номинальной производительности обработки, равной $250 \text{ мм}^3/\text{мин}$, рис. 3.

Приведенные в работе результаты исследований определяют новые возможности высокоэффективной алмазно-абразивной обработки.

Список литературы:

1. Новиков Ф.В. Физические и кинематические основы высокопроизводительного алмазного шлифования. – Автореф. дис. ... докт. техн. наук. – Одесса, 1995. – 36 с.
2. Новоселов Ю.К. Динамика формообразования поверхностей при абразивной обработке. – Изд-во Сарат. ун-та, 1979. – 232 с.
3. Королев А.В. Исследование процессов образования поверхностей инструмента и детали при абразивной обработке. – Изд-во Сарат. ун-та, 1975. – 212 с.

4. Евсеев Д.Г., Сальников А.И. Физические основы процесса шлифования. – Изд-во Саратов. ун-та, 1978. – 128 с.
5. Островский В.И. Теоретические основы процесса шлифования. – Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1981. – 139 с.
6. Новиков Ф.В., Ткаченко В.П. Энергетический подход к оценке шероховатости поверхности при алмазно-абразивной обработке. – Вісник НТУ "ХП". Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Технології в машинобудуванні. – Харків: НТУ "ХП". – 2002. - № 19. – С. 142-145.
7. Фадеев В.А., Новиков Ф.В. Управление упругими перемещениями при финишной механической обработке. - Вісник НТУ "ХП". Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Технології в машинобудуванні. – Харків: НТУ "ХП". – 2002. - № 19. – С. 153-159.