

Ю.Г. Гуцаленко, инженер, Г. В. Новиков, канд. техн. наук.
С.А. Дитиненко, инженер, Харьков, Украина

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ АЛМАЗНОГО ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОГО ШЛИФОВАНИЯ

The theoretical solutions permitted to overcome the productivity reduction of diamond electro-erosional grinding in connection with loss of diamond wheel cutting ability in the course of machining time are offered.

Несмотря на большой объем выполненных научных исследований по разработке и внедрению прогрессивных процессов алмазного электроэрозионного шлифования, данная проблема в полной мере не решена. Так, в инструментальном производстве, где особенно эффективно применение алмазных кругов для шлифования твердосплавных инструментов, по-прежнему обработка ведется с использованием традиционных абразивных кругов. Это связано с тем, что алмазные круги на металлических связках в условиях высокопроизводительного съема материала работают весьма нестабильно. Использование дополнительной электрической энергии не обеспечивает высокопроизводительной правки (обработки) круга. В результате он быстро затупляется, засаливается и теряет режущую способность. В особой мере это относится к алмазным кругам на высокопрочных металлических связках типа М2-01. Данные круги обладают чрезвычайно высокой износостойкостью, однако вследствие недостаточной режущей способности не позволяют обеспечить требуемую производительность обработки. Процесс шлифования протекает с высокой силовой и тепловой напряженностью, что отрицательно сказывается на качестве и точности обработки. С целью повышения эффективности шлифования предлагается перейти от жесткой схемы к упругой, т.е. осуществляемой с постоянным радиальным усилием. Это позволяет регулировать силовую и тепловую напряженность процесса, улучшает технологические параметры шлифования. Проблема обеспечения высокой производительности обработки данным путем на практике не решается. Под этим углом зрения рассмотрим возможности повышения эффективности алмазного электроэрозионного шлифования. Важнейшим направлением решения исследуемой проблемы необходимо рассматривать моделирование и оптимизацию процессов шлифования, например, используя теоретические результаты, приведенные в работах

[1, 2]. Проведем теоретический анализ изменения тангенциальной P_z и радиальной P_y составляющих сил резания при шлифовании, которые описываются аналитическими зависимостями:

$$P_z = \sigma \cdot S_{\text{сумм}} = \sigma \cdot \frac{Q}{V_{\text{кр}}}, \quad (1)$$

$$P_y = \frac{P_z}{k_{\text{ш}}}, \quad (2)$$

где: σ – условное напряжение резания при шлифовании, Н/м^2 ; $S_{\text{сумм}}$ – суммарная мгновенная площадь поперечного сечения среза всеми одновременно работающими зернами круга, м^2 ; Q – производительность обработки, $\text{м}^3/\text{с}$; $V_{\text{кр}}$ – скорость круга, м/с ; $k_{\text{ш}}$ – коэффициент шлифования, $k_{\text{ш}} = P_z / P_y$.

Параметр σ связан с коэффициентом шлифования $k_{\text{ш}}$ аналитической зависимостью [1]:

$$\sigma = \frac{2 \cdot \sigma_{\text{сж}}}{k_{\text{ш}}}, \quad (3)$$

а $k_{\text{ш}}$ определяется

$$k_{\text{ш}} = \sqrt{\frac{4 \cdot \sigma_{\text{сж}}}{\pi \cdot \text{tg} \gamma \cdot HV} \cdot (1 - \eta)}, \quad (4)$$

где $\sigma_{\text{сж}}$ – предел прочности обрабатываемого материала на сжатие, Н/м^2 ; HV – твердость обрабатываемого материала (по Виккерсу), Н/м^2 ; γ – половина угла при вершине конусообразного зерна круга; η – безразмерный коэффициент, изменяющийся в пределах $0 \dots 1$, определяет степень затупления зерен (чем больше η , тем выше степень затупления зерен).

Подставляя (3) и (4) в зависимости (1) и (2) имеем

$$P_z = \sqrt{\frac{\pi \cdot \text{tg} \gamma \cdot HV \cdot \sigma_{\text{сж}}}{(1 - \eta)}} \cdot \frac{Q}{V_{\text{кр}}}, \quad (5)$$

$$P_y = \frac{\pi \cdot \text{tg} \gamma \cdot HV}{2 \cdot (1 - \eta)} \cdot \frac{Q}{V_{\text{кр}}}. \quad (6)$$

При шлифовании по жесткой схеме (когда $Q = \text{const}$), составляющие силы резания P_z и P_y с увеличением коэффициента $\eta \rightarrow 1$ неограниченно увеличиваются. Это

хорошо согласуется с экспериментальными данными, согласно которым в процессе шлифования по мере затупления круга (т.е. с увеличением коэффициента $\eta \rightarrow 1$) сила резания существенно возрастает, в системе появляются вибрации и ведение процесса шлифования в таких условиях становится неэффективным. Основным условием снижения силы резания при заданной производительности обработки Q является повышение «остроты» режущих зерен (уменьшение коэффициента η). Большой эффект в этом плане достигается от применения алмазного электроэрозионного шлифования. Однако, как показывает практика, стабилизировать коэффициент η в процессе высокопроизводительного шлифования не удастся – с течением времени обработки он постоянно увеличивается, что ведет к увеличению P_z и P_y . В этих условиях важно найти такое решение, которое позволило бы нивелировать существенное влияние коэффициента η на силу резания (составляющие P_z и P_y). Судя по приведенным зависимостям (5) и (6), коэффициент η в меньшей мере влияет на P_z , чем на P_y . Следовательно, в процессе шлифования более эффективно зафиксировать силу P_z , т.е. обработку вести по упругой схеме с фиксированной силой P_z . Это приведет к меньшему изменению (уменьшению) производительности обработки Q с течением времени шлифования (в связи с увеличением коэффициента η в условиях алмазного электроэрозионного шлифования) по сравнению с упругой схемой при $P_y = \text{const}$. Однако реализовать на практике упругую схему шлифования с $P_z = \text{const}$ значительно сложнее, чем упругую схему с $P_y = \text{const}$. Одним из эффективных вариантов реализации данной схемы можно рассматривать схему глубинного плоского или круглого (наружного и внутреннего) шлифования. В данном случае глубина шлифования t и ширина шлифования B задаются неизменными величинами. Тогда с учетом $Q = B \cdot V_{дет} \cdot t$ (где $V_{дет}$ – скорость детали, м/с) зависимости (5) и (6) примут вид

$$P_z = \sqrt{\frac{\pi \cdot \text{tg} \gamma \cdot HV \cdot \sigma_{сж}}{(1-\eta)} \cdot \frac{B \cdot V_{дет} \cdot t}{V_{кр}}} \quad (7)$$

$$P_y = \frac{\pi \cdot \text{tg} \gamma \cdot HV}{2 \cdot (1-\eta)} \cdot \frac{B \cdot V_{дет} \cdot t}{V_{кр}} \quad (8)$$

Как следует из (7), с увеличением коэффициента η при заданных значениях P_z , B , t в процессе шлифования будет уменьшаться скорость детали $V_{дет}$, что приведет к уменьшению производительности обработки Q . Однако, уменьшение $V_{дет}$ будет не

столь существенно, т.к. величины $(1-\eta)$ и $V_{дет}$ входят в зависимость (7) с разными степенями. Здесь важно добиться того, чтобы увеличение коэффициента η не выходило за определенный предел, после превышения которого величина $(1-\eta)$ становится относительно небольшой и приводит к резкому уменьшению $V_{дет}$ и соответственно Q . Таким образом, повысить эффективность алмазного электроэрозионного шлифования при использовании упругой схемы $P_z = \text{const}$ можно, ограничивая верхний предел изменения коэффициента η . Это достигается, например, периодическим прерыванием процесса шлифования на время электроэрозионной правки для восстановления режущей способности алмазного круга на металлической связке.

При использовании упругой схемы с $P_y = \text{const}$ очевидно, что переменной величиной в процессе шлифования будет не $V_{дет}$, а глубина шлифования t . Скорость детали $V_{дет} = \text{const}$. В этом случае под действием изменяющегося (увеличивающегося) в процессе шлифования коэффициента η (при заданных значениях P_y , B , $V_{дет}$) будет непрерывно уменьшаться глубина шлифования t . Причем, значительно интенсивнее, чем $V_{дет}$ при шлифовании по упругой схеме с $P_z = \text{const}$, т.к. величины $(1-\eta)$ и t входят в зависимость (8) с одинаковой степенью.

Приведенный теоретический анализ показывает наиболее эффективные области применения алмазного электроэрозионного шлифования, когда с течением времени обработки не удастся стабилизировать режущую способность инструмента, например, алмазного круга на высокопрочной металлической связке М2-01.

При шлифовании алмазным кругом на менее твердой металлической связке М1-01 процесс может протекать довольно стабильно в режиме самозатачивания. В этом случае можно говорить о стабилизации коэффициента η во времени обработки и предпочтительности применения жесткой схемы шлифования ($Q = \text{const}$). Составляющие силы резания P_z и P_y , судя по зависимостям (7) и (8), будут постоянными в процессе шлифования. Поэтому нет необходимости в применении упругой схемы шлифования с $P_y = \text{const}$, т.к. конструктивно более просто реализовать на станке жесткую схему шлифования.

Сравнивая составляющие P_z и P_y в соответствии с зависимостями (5) и (6), видим, что P_z определяется произведением параметров $HV \cdot \sigma_{сж}$, а P_y — лишь твердостью HV . Очевидно, с увеличением твердости обрабатываемого материала HV составляющая силы резания P_y будет пропорционально увеличиваться, а P_z —

увеличиваться с меньшей интенсивностью, т.к. увеличение параметра $\sigma_{сж}$ менее интенсивно, чем HV . Следовательно, с увеличением твердости обрабатываемого материала HV важно уменьшить составляющую P_y . Эффективным решением следует рассматривать увеличение $V_{кр}$, т.е. чем тверже обрабатываемый материал, тем больше должна быть скорость круга.

Сделанные теоретические выводы подтверждаются практикой шлифования. Так, по данным Иванова Н.П., применение круглого наружного шлифования по упругой схеме с $P_z = \text{const}$ позволяет повысить производительность обработки. При этом алмазный круг на металлической связке более длительное время сохраняет относительно высокую режущую способность в условиях электроэрозионного шлифования. Кроме того, данная схема позволяет устранить вибрации, которые практически не устраняются при шлифовании по упругой схеме с $P_y = \text{const}$, особенно при невысокой режущей способности круга.

Естественно, предлагаемые решения являются «полумерами», т.к. направлены лишь на снижение отрицательной роли снижения остроты круга (коэффициента η) в формировании параметров P_z и P_y при шлифовании по жесткой схеме или формировании производительности обработки Q при шлифовании по упругой схеме. Несомненно, главная задача состоит в устойчивой стабилизации остроты круга (коэффициента η) в процессе высокопроизводительного шлифования. Однако, это требует высокой концентрации подводимой в зону резания электрической энергии в единицу времени, что связано с рядом пока трудноразрешимых технико-экономических задач.

Список литературы: 1. Якимов О.В., Новиков Ф.В., Новиков Г.В., Якимов О.О. Високопродуктивне шліфування: Навчальний посібник. К.: ІСДО, 1996. – 180 с. 2. Теоретические основы резания и шлифования материалов: Учебное пособие/ А.В. Якимов, Ф.В. Новиков, Г.В. Новиков, Б.С. Серов, А.А. Якимов. – Одесса: ОГПУ, 1999. – 450 с.

Поступила в редколлегию 25.06.02
Представлена докт. техн. наук Беззубенко Н.К.