

УПРАВЛЕНИЕ ДИНАМИКОЙ ПРОЦЕССА ШЛИФОВАНИЯ

Ф.В. Новиков, Ю.Г. Гуцаленко, Харьков, Украина

Some peculiarities of dynamics of grinding process and possibilities its control are discussed.

При шлифовании деталей с недостаточной жесткостью крепления на станке фактическая производительность обработки может быть меньше номинальной (определяемой параметрами режима шлифования, устанавливаемыми на станке) до 5-ти и более раз вследствие упругих перемещений в технологической системе. Увеличить фактическую производительность обработки можно повышением режущей способности круга и жесткости технологической системы, а также за счет ударно-циклического взаимодействия круга с обрабатываемой деталью, реализуя эффект запаздывания упругих перемещений системы от действия кратковременной силы в связи с инерционностью элементов системы. Максимальная амплитуда перемещений обрабатываемой детали при этом определяется

$$X_{\max} = \frac{P_y}{\left(C \cdot \frac{\omega}{\pi \cdot k} \right)},$$

где P_y — радиальная составляющая силы резания; C — статическая приведенная жесткость системы; ω — частота следования импульсов силы P_y ; k — собственная частота системы.

Знаменатель дроби выражает динамическую жесткость технологической системы. При $\omega > \pi \cdot k$ динамическая жесткость больше статической. Следовательно, при одном и том же значении силы резания P_y с увеличением частоты ω максимальная амплитуда X_{\max} уменьшается и приближает фактическую производительность обработки к номинальной. При определенных значениях ω фактическая и номинальная производительности обработки станут приблизительно одинаковыми, т.е. увеличивая ω можно существенно повысить динамическую жесткость и практически исключить "отжатия" в технологической системе (обеспечивая полный съем подводимого в зону резания обрабатываемого материала), существенно повысить точность обработки.

Реализовать ударно-циклический характер взаимодействия круга с деталью можно, например, за счет использования прерывистого круга, состоящего из чередующихся рабочих выступов и впадин. Частота ω при этом определится

$$\omega = \frac{2 \cdot V_{\text{кр}}}{D_{\text{кр}}} \cdot n,$$

где $V_{\text{кр}}$ — скорость круга; $D_{\text{кр}}$ — наружный диаметр круга; n — число рабочих выступов круга.

Чем больше $V_{кр}$ и n , тем выше частота ω . При $V_{кр}=30$ м/с, $D_{кр}=300$ мм и $n=15$ частота ω равна 3000 1/с, т.е. динамический эффект обработки будет достигаться при $k < 1000$ 1/с. В случае $k > 1000$ 1/с частоту ω необходимо увеличить за счет увеличения числа рабочих выступов круга (так, при шлифовании с $k \approx 10000$ 1/с количество рабочих выступов должно быть более 150 штук, $\omega > 30000$ 1/с).

Обычно на практике эффект прерывистого шлифования связывают с уменьшением температуры резания за счет исключения теплового насыщения поверхностных слоев обрабатываемой детали. В действительности возможности прерывистого шлифования шире: за счет возникающего динамического эффекта увеличивается динамическая жесткость системы, что приводит к росту производительности обработки.

Для реализации частоты ω в диапазоне 10000...30000 1/с можно использовать ультразвуковые колебания круга, возбуждаемые специальным генератором ультразвуковых колебаний (ультразвуковой головкой). Для обеспечения прерывистости контакта круга с деталью амплитуда ультразвуковых колебаний должна быть соизмерима (или превышать) максимальную толщину среза отдельным зерном круга, т.е. должна изменяться в пределах 5...20 мкм. Тогда в первой половине периода колебаний будет происходить съём материала, а во второй половине – зерна выйдут из контакта с обрабатываемым материалом. Ультразвуковые колебания эффективно накладываются на круг в направлении наибольших перемещений детали (в радиальном направлении или под некоторым углом к радиальному направлению).

Наряду с увеличением производительности обработки, ударно-циклический контакт круга с деталью (за счет уменьшения упругих перемещений в технологической системе) позволяет повысить точность обработки. Поэтому высокочастотные колебания эффективно использовать на доводочных операциях алмазно-абразивной обработки, в том числе на операциях хонингования и притирки.

Эффект ударно-циклического взаимодействия круга с деталью имеет также место при шлифовании прерывистых поверхностей (круглое наружное шлифование многолезвийных инструментов и т.д.).

В связи с кратковременностью контакта обрабатываемого элемента детали с кругом и запаздыванием упругих перемещений системы от действия импульсной силы, в начальный момент контакта происходит более глубокое внедрение режущих зерен в обрабатываемый материал, что ведет к интенсификации съема материала и износа круга. Обрабатываемая деталь при этом, по сути, выполняет роль правящего инструмента, обеспечивает срезание верхних слоев рабочей поверхности круга и непрерывное восстановление его режущих свойств. При повышенной скорости вращения детали круг может работать в режиме интенсивного самозатачивания, не требующего дополнительной правки. Возможно эффективное использование более твердых абразивных кругов, которые при шлифовании сплошных поверхностей работают в режиме затупления и требуют частых правок.

Ударно-циклический характер контакта круга с деталью (с использованием ультразвуковых колебаний) повышает эффективность шлифования труднообрабатываемых материалов за счет увеличения глубины внедрения режущего зерна в материал

$$H = \sqrt[3]{\frac{m \cdot V_0^2}{2\pi \cdot HV}}$$

где m — масса шлифовального круга; HV — твердость обрабатываемого материала по Виккерсу; V_0 — скорость ультразвуковых колебаний.

С увеличением твердости обрабатываемого материала (для заданного значения H) необходимо увеличить амплитуду и частоту колебаний, т.е. применение ультразвуковых колебаний практически снимает ограничения обработки по твердости материала. С высокой производительностью могут обрабатываться стали, твердые сплавы, керамика, а также синтетические и природные алмазы.

Увеличение параметра H приводит к ударно-циклическому контакту связки круга с деталью, что обеспечивает разрушение связки и образующихся стружек, непрерывное поддержание высокой режущей способности круга. Об этом, в частности, свидетельствуют данные по шлифованию прерывистым кругом, режущая способность которого выше, чем обычного сплошного, и поддерживается вплоть до полного износа прерывистого круга.

При алмазном электроэрозионном (алмазно-искровом) шлифовании с введением в зону резания энергии постоянного электрического тока применение ультразвуковых колебаний является дополнительным источником образования электрических разрядов высокой частоты, интенсифицирующих ударно-термическое разрушение образующихся стружек и металлической связки круга, снижающих силы и температуру резания, увеличивающих стойкость алмазного круга, производительность, качество и точность обработки. Особенно эффективно их действие при шлифовании хрупких материалов (твердых сплавов), когда образуются мелкие пылевидные стружки, практически исключая образование электрических разрядов — в данном случае возбуждение разрядов дополнительно инициируется за счет периодически образующегося межэлектродного зазора между металлической связкой круга и обрабатываемым материалом в результате наложения на круг ультразвуковых колебаний.

Результаты исследований использованы при создании ряда процессов обработки с изменяющимися во времени характеристиками.