

**НЕКОТОРЫЕ ПРЕДПОСЫЛКИ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАЗРАБОТКИ
ФОРМАЛИЗОВАННОЙ ФИЗИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ШЛИФОВАНИЯ**

Some preconditions and results of formalized physical model of grinding are presented and discussed

Известно, что кристаллиты на поверхности твердого тела находятся в особом полусвободном состоянии и потому характеризуются повышенной подвижностью. В понижение механических свойств тонкого поверхностного слоя материалов вносит свой определенный вклад физико-химическая агрессия внешней среды. Даже в отсутствие механического контакта, тем более деформирования, отмечаются определенные отличия физико-механических свойств поверхности. Схемы напряженно-деформированного состояния при поверхностном и объемном разрушении совершенно различны, и поверхностная прочность в более сложной, неочевидной зависимости от свойств исходного материала. Деформирование предшествующей обработкой, наследственность после нее в виде остаточных напряжений приводит к появлению вакансий и облегчению выхода дислокаций на поверхность, что вызывает на ней появление микротрещин – концентраторов напряжений, дополнительно понижает прочность поверхностного слоя.

Отсюда несложно прогнозировать возможность осуществления прецизионного шлифования с меньшей удельной энергоемкостью, при условии его проведения с соответствующими весьма малыми глубинами t и весьма малыми максимальными толщинами единичных срезов H_{\max} . Некоторые проблемы организации таких рабочих процессов шлифования, характеризующихся относительной малостью внедрения режущего профиля в обрабатываемый материал, связаны с необходимостью обеспечения достаточной жесткости технологической системы, минимизации биений рабочей поверхности круга и разновысотности расположенных на ней режущих зерен. При этом проблемы, связанные с состоянием рабочей поверхности круга в процессе эксплуатации (точность, сглаживание рельефа), могут быть решены, с одной стороны, повышением степени соответствия характеристики инструмента особенностям рабочего процесса, например, уменьшением зернистости и повышением концентрации штифпорошка, с другой – применением специальных методов регенерации режущего рельефа кругов в процессе шлифования.

Одним из таких методов в ряду других разработок комбинированных электрофизикохимических процессов шлифования и правки является метод обработки кругами из сверхтвердых материалов на металлических связках, основанный на введении в зону резания дополнительной энергии в форме электрических разрядов.

Этот метод электроэрозионного шлифования, получивший также известность как «алмазно-искровое шлифование», широко апробирован в промышленности, включая выпуск специальных станков и генераторов технологического тока, и во многих случаях, особенно связанных с труднообрабатываемыми материалами, по уровню достигаемых выходных показателей является либо безальтернативным, либо конкурентоспособным [1].

Разработанная формализованная модель процесса шлифования [2], опираясь на определенные физические и технологические предпосылки, предлагает искать практические решения задач повышения производительности обработки в областях $t < N_{\max}$ и $t > N_{\max}$.

Учитывая то, что реализация условия $t < N_{\max}$ требует создания нового шлифовального оборудования, более простым и эффективным путем следует рассматривать реализацию условия $t > N_{\max}$, что может быть осуществлено на действующем оборудовании. Условие $t > N_{\max}$ предполагает переход в область высокопроизводительного глубинного шлифования. Для обоснования условий повышения производительности обработки Q ($t > N_{\max}$) воспользуемся известной зависимостью:

$$Q = V_{кр} \cdot S_{мгн} \quad (1)$$

где $V_{кр}$ – скорость круга, м/с; $S_{мгн}$ – мгновенная суммарная площадь поперечного сечения среза всеми одновременно работающими зёрнами круга, м²; $S_{мгн} = n_p \cdot S$; n_p – количество одновременно работающих зёрен; $S = P/\sigma$ – площадь поперечного сечения среза отдельным зёрном, м²; P – нагрузка, действующая на отдельное зёрно, в тангенциальном направлении, м; $\sigma = \rho \left(\frac{a_z}{\rho} \right)^2$ – условное напряжение резания, Па; a_z – толщина среза, м²; $\rho = \varphi(X)$ – радиус округления режущей части зёрна, м; X – величина линейного износа зёрна, м; A – параметр, определяющий прочностные свойства обрабатываемого материала [2].

В общем виде производительность обработки Q можно представить функцией от шести параметров:

$$Q = \psi(V_{кр}, n_p, a_z, X, P, A) \quad (2)$$

Следует отметить, что в теории шлифования известны и реализованы на практике условия повышения производительности обработки Q за счет регулирования кинематическими параметрами $V_{кр}$, n_p , a_z . Технологические возможности изменения Q путем регулирования физическими параметрами X и P не обоснованы. Однако результаты экспериментальных исследований, выполненных в Институте сверхтвёрдых материалов НАН Украины им. Бакуля и других научных центрах, свидетельствуют о существовании тесной корреляции между производительностью обработки, удельным расходом алмаза, шероховатостью обработки, прочностными свойствами рабочей поверхности круга (обобщенно определяемыми параметром P) и степенью износа выпавших из связки алмазных зёрен (определяемой параметром X).

Например, экспериментально установлено, что с увеличением поперечной подачи количество зерен с площадками износа и со сколами уменьшается, а количество выпавших из связки круга зерен без заметного изменения формы и размеров – увеличивается. Такая закономерность прослеживается для всех рассматриваемых пар «абразив – обрабатываемый материал». Для кругов из малопрочного кубонита характерен незначительный процент зерен с площадками износа. Для кругов из прочных марок АС15 этот процент выше, а для малопрочных алмазов марки АС2 – практически равен нулю. Это указывает на то, что алмазные зерна АС2 разрушаются и выпадают из связки, практически не претерпев линейного износа. Меньшему линейному износу зерен АС2 соответствует чрезвычайно высокий удельный расход алмаза, достигающий значений 150 мг/см^3 и более, тогда как при тех же условиях обработки кругом с алмазами АС15 удельный расход алмаза на порядок меньше. Из этого вытекает четкая корреляция между процентом зерен с площадками износа и удельным расходом алмаза.

Для иллюстрации сделанного вывода проанализируем зависимость $P = S \cdot \sigma$. Вполне очевидно, что с ростом поперечной подачи увеличивается параметр S ; а предельное значение P (из условий прочности зерна и связки) будет достигаться при меньших значениях условного напряжения резания σ . Физически это возможно при резании более острым зерном, т.е. когда величина линейного износа зерна X меньше. При фиксированном значении S (при заданной поперечной подаче) меньшее значение P (для алмазов марки АС2) будет достигаться также при меньшем значении σ , что возможно при резании более острым зерном, т.е. когда величина линейного износа зерна X меньше. Этим показано, что при постоянном предельном значении P переменной величиной в процессе шлифования является X , изменение которой и связано с изменением удельного расхода алмаза. Проф. Сагарда А.А. показал, например, что обработка более прочной стали Р12Ф5М (по сравнению со сталью ШХ15) характеризуется меньшим процентом зерен с площадками износа и большим удельным расходом алмаза, т.е. разрушение и выпадение из связки зерен при обработке стали Р12Ф5М происходит при меньшем их линейном износе (меньшем значении величины X). При шлифовании алмазными кругами на органических связках на зернах образуются меньшие по размеру площадки износа, чем при шлифовании алмазными кругами на металлических связках. Меньшим площадкам износа соответствует больший удельный расход алмаза.

Из проведенного анализа можно сделать вывод о том, что, с изменением величины X в процессе шлифования (так же как и величины P) и применением для этого соответствующих оптимальных режимов шлифования кругами из сверхтвердых материалов, появляется возможность более полно использовать уникальные режущие свойства таких кругов.

В качестве примера ниже приведено решение об определении максимально возможной производительности обработки Q и реализующих ее параметров режима шлифования $V_{дет}$, $V_{кр}$ с учетом ограничения по температуре резания Θ :

$$Q = \frac{0,074 \cdot B \cdot \lambda \cdot c \cdot \rho_v \cdot \Theta^2 \cdot (1-\eta)^{1,8}}{A^2 \cdot \psi^2 \cdot t^{0,5} \cdot \rho^{0,5}} \cdot \left(\frac{P}{A}\right)^{1,2}, \quad (3)$$

$$V_{дет} = \frac{Q}{B \cdot t}, \quad (4)$$

$$V_{кр} = \frac{330,6 \cdot \lambda \cdot c \cdot \rho_m \cdot X^3 \cdot \Theta^2 \cdot (1-\eta)^{0,2}}{m \cdot A^2 \cdot \psi^2 \cdot t} \cdot \left(\frac{P}{A}\right)^{1,2}, \quad (5)$$

где λ – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К); c – удельная теплоемкость, Дж/(кг·К); ψ – коэффициент, показывающий, какая часть работы переходит в теплоту, поглощаемую деталью; B – ширина шлифования, м; $\rho = \frac{1}{R_{кр}} + \frac{1}{R_{дет}}$; $R_{кр}$, $R_{дет}$ –

соответственно радиусы круга и детали, м; ρ_m – плотность обрабатываемого материала, кг/м³; m – объемная концентрация алмазного круга (100; 50; 25 и т.д.); t – глубина шлифования, м; $V_{дет}$ – скорость детали, м/с; $V_{кр}$ – скорость круга, м/с; $\eta = X/N$ –

безразмерный коэффициент, учитывающий степень затупления зерен, изменяется в пределах 0..1 ($\eta \rightarrow 0$ – для острого зерна, $\eta \rightarrow 1$ – для затупленного зерна); N – условная максимальная глубина внедрения обрабатываемого материала в рабочую поверхность круга, отсчитываемая от уровня максимально выступающего (неизношенного) зерна, м.

Следуя зависимости (3), с увеличением глубины шлифования t (при $\Theta = \text{const}$ и $P = \text{const}$) производительность обработки Q уменьшается. Компенсировать уменьшение Q можно за счет снижения $\eta \rightarrow 0$ и увеличения P , поскольку эти два параметра входят в зависимость (3) со значительно большей степенью, чем глубина шлифования t . Важным условием повышения Q при глубинном шлифовании следует рассматривать также уменьшение $V_{кр}$ по зависимости (5) в связи с ростом t и P . Поэтому для поддержания $V_{кр}$ на традиционном уровне 30..50 м/с необходимо увеличивать зернистость и уменьшать концентрацию шлифпорошка круга, что хорошо согласуется с практикой обычного абразивного глубинного шлифования, основанного на применении крупнозернистых высокопористых кругов.

Список литературы: 1. Беззубенко Н.К. Повышение эффективности алмазного шлифования путем введения в зону обработки дополнительной энергии в форме электрических разрядов: Автореф. дис. ...д-ра техн. наук. – Харьков, 1995. – 56 с. 2. Новиков Ф.В. Физические и кинематические основы высокопроизводительного алмазного шлифования. – Автореф. дис. ...д-ра техн. наук. – Одесса, 1995. – 36 с.

Поступил 15.03.01