

## ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМА АЛМАЗНОГО ШЛИФОВАНИЯ

*Optimization of the process according to machining productivity taking into account limits on wheel wear intensity is carried out for grounded selection of competitive scheme and conditions of diamond grinding. Methods of the best cutting mode calculation are proposed.*

В успешном решении задач по интенсификации производства, улучшению качества выпускаемой продукции важная роль принадлежит разработке новых методов механообработки с применением инструментов из синтетических сверхтвердых материалов, в частности, процессов высокопроизводительного алмазного шлифования, обеспечивающих полную замену существующего абразивного шлифования в инструментальном и других производствах. Переход на полную безабразивную обработку, включая операции предварительного и окончательного шлифования, вследствие высокой режущей способности алмазного круга, позволит исключить шлифовочные дефекты (микротрещины, сколы, прижоги и т.д.), которые обычно трудно устраняются последующей доводкой, и тем самым обеспечить требуемое качество обработки. Для эффективного внедрения алмазного шлифования в производство на операциях предварительной обработки производительность процесса должна быть выше соответствующей производительности абразивного шлифования при одних и тех же затратах на расход кругов, обусловленный их износом. Поэтому в настоящей работе для обоснованного выбора конкурентноспособной схемы и условий алмазного шлифования проведена оптимизация процесса по производительности обработки с учетом ограничений по интенсивности износа круга и предложена методика расчета оптимальных режимов резания.

Для выполнения оптимизационных расчетов воспользуемся зависимостью относительного расхода алмаза, приведенной в работе [1]:

$$q = \frac{10^3 \cdot \rho_a \cdot \alpha \cdot V_{кр} \cdot \Delta_1}{\rho_w \cdot V_{zw} \cdot t \cdot \eta} \quad (1)$$

где  $\rho_a, \rho_w$  - соответственно плотности алмаза и обрабатываемого материала,  $\text{н/мм}^3$ ;  
 $\alpha$  - коэффициент, учитывающий плотность связки в зависимости от концентрации алмазов в круге [2];

$V_{кр}$  - скорость круга,  $\text{мм/с}$ ;

$V_{zw}$  - скорость заготовки,  $\text{мм/с}$ ;

$t$  - глубина шлифования, мм;

$\eta$  - параметр, учитывающий степень износа зерна до момента его объемного разрушения или выпадания из связи,  $\eta = 0 \dots 1, 0$ ;

$$\eta = 1 - \left( \frac{A}{P} \right)^{\frac{3}{2n-1}} \left( \frac{600\pi \bar{x}^3 \cdot V_{\text{шл}} \sqrt{2t\rho}}{m \cdot V_{\text{сп}}} \right)^{\frac{2-n}{2n-1}} \quad (2)$$

$P$  - нагрузка, действующая на максимально выступающее зерно, Н;

$A$  - параметр, характеризующий прочностные свойства обрабатываемого материала, определяется расчетно-экспериментальным путем;

$\bar{x}$  - зернистость круга, мм;

$m$  - объемная концентрация круга (100; 50; 25 и т.д.);

$$\rho = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2},$$

$R_1$  - радиус заготовки, мм;

$R_2$  - радиус круга, мм;

$\Delta_l = \frac{P}{c \cdot I}$  - линейный износ зерна за одно касание с обрабатываемым материалом, мм;

$c$  - коэффициент, характеризующий износостойкость зерна,  $\text{н/мм}^3$  (устанавливается расчетно-экспериментальным путем);

$I = \pi \cdot t g^2 \gamma \cdot x^2$  - площадь верхней изношенной части максимально выступающего зерна,  $\text{мм}^2$ ;

$2\gamma$  - угол при вершине зерна;

$x = \eta \cdot H$  - величина линейного износа зерна, мм;

$H$  - максимальная глубина внедрения материала в рабочую поверхность круга, отсчитывается от вершины исходного (неизношенного) максимально выступающего зерна, мм;

$$H = \left( \frac{P}{A} \right)^{\frac{1}{2n-1}} \left( \frac{600\pi \bar{x}^3 \cdot V_{\text{шл}} \sqrt{2t\rho}}{m \cdot V_{\text{сп}}} \right)^{\frac{n-1}{2n-1}} \quad (3)$$

$n$  - экспериментальная характеристика, определяющая процесс стружкообразования при шлифовании,  $n=0,5 \dots 2,0$ .

Зависимость (1) носит экстремальный характер от глубины шлифования  $t$ . При значениях  $\eta$ , близких к единице, относительный расход алмаза  $q$  с ростом  $t$  снижается, затем, вследствие интенсивного уменьшения  $\eta$  - возрастает. Экстремальные значения  $t_{\text{экстр}}$  и  $\eta_{\text{экстр}}$  определяются из зависимостей, полученных из условия минимума функции:

$$t_{\text{экстр}} = \left( \frac{m \cdot V_{\text{шл}}}{600\pi \bar{x}^3 \cdot V_{\text{сп}}} \right)^2 \frac{1}{2\rho} \left[ 2 \left( \frac{3n-2}{3n+2} \right) \right]^{\frac{2(2n-1)}{2-n}} \left( \frac{P}{A} \right)^{\frac{6}{2-n}} \quad (4)$$

$$\eta_{\text{экстр}} = 3 \left( \frac{2-n}{3n+2} \right) \quad (5)$$

Значения множителей, входящих в (4) и (5), приведены в табл. 1.

Таблица 1

$\eta$	0,5	0,75	1,0	1,5
$\eta_{\text{экстр}} = 3 \left( \frac{2-n}{3n+2} \right)$	1,3	0,88	0,6	0,23
$\left[ 2 \left( \frac{3n-2}{3n+2} \right) \right]^{\frac{2(2n-1)}{2-n}}$	1,0	0,1	0,16	0,43

Анализ зависимости (4) показывает, что добиться повышения производительности шлифования  $Q$ , определяемой как  $Q = S_n \cdot V_{\text{шл}} \cdot t$ , где  $S_n$  - продольная подача, мм/об, можно применением высокоскоростной глубинной схемы шлифования со скоростью заготовки  $V_{\text{шл}}$ , увязанной по (4) с глубиной шлифования  $t$ . Наибольшее влияние на  $t$  оказывает параметр  $P$ , входящий в (4) с наибольшей степенью. Это указывает на высокую эффективность шлифования от применения новых высокопрочных марок алмазов и металлических связок, позволяющих значительно повысить прочностные характеристики рабочей поверхности круга. Для постоянного поддержания на круге развитого рельефа следует шлифовать с введением в зону резания дополнительной энергии в виде электрических разрядов или непрерывной автономной электрохимической правкой [3].

Сравним экстремальную глубину шлифования  $t_{\text{экстр}}$  с предельной глубиной шлифования  $t_{\text{пр}}$ , обусловленной прочностными свойствами зерен и связки. Значение  $t_{\text{пр}}$  получим из условия  $\eta = 0$ , используя зависимость (2):

$$t_{\text{пр}} = \left( \frac{m \cdot V_{\text{шл}}}{600 \cdot \pi \cdot \bar{x}^3 \cdot V_{\text{св}}} \right)^2 \frac{1}{2\rho} \left( \frac{P}{A} \right)^{\frac{n}{2-n}} \quad (6)$$

Из (4) и (6) следует, что  $t_{\text{экстр}} < t_{\text{пр}}$  и для  $n = 0,75; 1,0$  имеет место соотношение  $t_{\text{экстр}} = (0,1 \dots 0,16) t_{\text{пр}}$ . Это свидетельствует о том, что существует широкий диапазон изменения  $t$ , ограниченный  $t_{\text{экстр}}$  и  $t_{\text{пр}}$ , в котором целесообразно проводить оптимизацию шлифования. Для установления характера изменения  $q$  в таком диапазоне зависимость (1) представим в виде:

$$\frac{q}{q_{\text{экстр}}} = \frac{t_{\text{экстр}} \cdot \eta_{\text{экстр}}^3 \cdot H^2}{t \cdot \eta^3 \cdot H_{\text{экстр}}^2} \quad (7)$$

где  $q_{\text{экстр}}$  - значение относительного расхода алмаза в точке минимума. Здесь в качестве переменной величины принята глубина шлифования  $t$ . Обозначим  $\beta_1 = \frac{t}{t_{\text{экстр}}}$ , тогда с учетом (2) и (3) зависимость (7) опишется

$$\frac{q}{q_{\text{экстр}}} = \frac{\eta_{\text{экстр}}^3}{\beta_1^{\frac{n}{2n-1}} \left[ 1 - \beta_1^{\frac{2-n}{2(2n-1)}} \cdot (1 - \eta_{\text{экстр}}) \right]^3} \quad (8)$$

При  $\beta = 1$  значение  $\frac{q}{q_{\text{экстр}}}$  равно единице, т.е. зависимость получена правильно.

Используя данные по  $\eta_{\text{экстр}}$ , определим  $\frac{q}{q_{\text{экстр}}}$  для  $n = 1,0$ .

Расчетные значения параметров  $\frac{q}{q_{\text{экстр}}}, \eta$

Таблица 2.

$\beta$	1	2	3	4	5	6
$\frac{q}{q_{\text{экстр}}}$	1	1,3	2,66	7,0	43,2	
$\eta$	0,6	0,43	0,3	0,2	0,1	0

Как следует из табл. 2, при увеличении  $\beta$  от 1 до 2 значение  $\frac{q}{q_{\text{экстр}}}$  возрастает

незначительно. С превышением  $\beta_1 = 2$  интенсивность роста  $\frac{q}{q_{\text{экстр}}}$  увеличивается и

стремится при  $\beta = 6$  к бесконечности. Очевидно, работать в этом диапазоне экономически невыгодно вследствие катастрофического износа круга. Предпочтительным режимом работы круга может быть режим с  $\beta = 2$ , когда глубина шлифования  $t$  в два раза превышает экстремальную глубину шлифования  $t_{\text{экстр}}$ .

Оптимальное значение  $\eta$ , исходя из табл. 2, равно 0,43, а оптимальное соотношение

$\frac{q}{q_{\text{экстр}}} = 1,3$ . Зная оптимальные значения  $\beta, \eta, \frac{q}{q_{\text{экстр}}}$ , можно определить оптимальный

режим шлифования, обеспечивающий износ круга с заданной интенсивностью, в данном случае с заданным относительным расходом алмаза  $q$ . Для этого необходимо из

соотношения  $\frac{q}{q_{\text{экстр}}} = 1,3$  определить  $q_{\text{экстр}}$  и, пользуясь зависимостью (1) с учетом зависимости (2) (разрешая ее относительно  $t$  и подставляя полученное выражение в (1)), получить оптимальное значение  $V_{\text{экстр}}$ . Далее по известным  $V_{\text{экстр}}$  и  $\eta_{\text{экстр}}$  определяется экстремальная глубина шлифования  $t_{\text{экстр}}$ . Зная ее, из соотношения  $\beta = \frac{t}{t_{\text{экстр}}}$ , где  $\beta = 2$ , можно установить оптимальную глубину шлифования  $t$ . Такой порядок расчета оптимальных режимов шлифования состоит в том, что для заданного значения  $q$  определяется положение соответствующего ему экстремума функции относительного расхода алмаза, а по нему - в зависимости от величины  $\eta$  — оптимальные параметры режима шлифования.

Следует отметить высокую эффективность шлифования с управлением параметром  $\eta$ , который оказывает на  $q$  и другие показатели шлифования определяющее влияние. Параметр  $\eta$ , следуя (2), является обобщенным параметром шлифования и поэтому добиться его изменения можно различными путями. Наиболее перспективно управлять  $\eta$  с помощью величины линейного износа зерна, которая эквивалентна в (2) изменению высокочувствительного параметра  $P$ .

Используя предложенную методику, можно произвести расчет и других параметров процесса шлифования.

Список литературы: 1. Новиков Ф.В. Теоретический анализ износа и стабилизации рельефа алмазного круга. - Резание и инструмент, 1986, вып. 36, с. 47-53. 2. Кашук В.А., Мелехин Д.А., Бармин В.П. Справочник заточника. - М.: Машиностроение, 1982, 232 с. 3. Грабченко А.И. Расширение технологических возможностей алмазного шлифования. - Х.: Вища шк. Изд-во при Харьк. ун-те, 1985. - 184 с.

Поступила в редакцию 15.06.01