

**Ф.В. НОВИКОВ**, д-р техн. наук, ХНЭУ, г. Харьков  
**В.А. АНДИЛАХАЙ**, асп., ПГТУ, г. Мариуполь

## УСЛОВИЯ ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ И ТОЧНОСТИ ОБРАБОТКИ НА ОПЕРАЦИЯХ ШЛИФОВАНИЯ

В работе теоретически обоснованы закономерности изменения упругих перемещений в технологической системе при шлифовании и определены условия повышения производительности и точности обработки

The paper theoretically grounded regularities of change of elastic displacements in the technological system for grinding and the conditions for increasing productivity and accuracy of processing

При шлифовании контактных поверхностей (изготовленных из износостойких наплавочных материалов) конусов и чаш диаметром 5 м засыпных аппаратов доменных печей постоянно возникают сложные задачи по обеспечению высоких показателей качества и точности обработки [1]. Это связано прежде всего со съемом неравномерного припуска (составляющего 3–7 мм), а также с высокой твердостью наплавочного материала HRC 57 и его плохой обрабатываемостью. В результате резко увеличивается трудоемкость обработки, т.к. для обеспечения заданной точности формы обрабатываемой поверхности (погрешность – в пределах 10 мкм) необходимо производить длительное выхаживание в связи с возникающими в технологической системе упругими перемещениями [2, 3]. Это требует изыскания новых технологических возможностей повышения эффективности шлифования. Цель работы – обоснование условий повышения точности и производительности обработки при круглом наружном шлифовании крупногабаритных изделий металлургического назначения, контактные поверхности которых выполнены из износостойкого наплавочного материала.

Для решения поставленной задачи воспользуемся результатами исследований, приведенных в работе [4]. Установлено, что величина упругого перемещения  $y$ , возникающего в технологической системе, при шлифовании по жесткой схеме и при выхаживании описывается соответственно зависимостями

$$y = y_{ycm} \cdot \left( 1 - e^{-\frac{n}{B_1}} \right), \quad (1)$$

$$y = y_0 \cdot e^{\frac{n}{B_1}}, \quad (2)$$

где  $n$  – количество проходов круга;  $y_{ycm} = B_1 \cdot t$  – величина упругого перемещения, возникающего в технологической системе в установившемся во времени процессе шлифования, м;  $t$  – номинальная глубина шлифования, м;

$B_1 = \frac{\sigma \cdot H \cdot V_{\text{дем}}}{c \cdot K_{\text{ш}} \cdot V_{\text{кр}}}$  – безразмерный параметр;  $K_{\text{ш}} = P_z / P_y$  – коэффициент шлифования;  $P_y, P_z$  – радиальная и тангенциальная составляющие силы резания, Н;  $\sigma$  – условное напряжение резания, Н/м<sup>2</sup>;  $c$  – приведенная жесткость технологической системы, Н/м;  $H$  – ширина шлифования, м;  $V_{\text{дем}}, V_{\text{кр}}$  – скорости детали и круга, м/с.

Как видно, с увеличением количества проходов  $n$  величина упругого перемещения  $y$  в первом случае увеличивается, а во втором случае уменьшается. Поэтому, очевидно, уменьшить величину  $y$  и тем самым повысить точность обработки можно применением схемы выхаживания. Из зависимости (2) следует, что чем меньше параметр  $B_1$ , тем меньше величина  $y$  и тем меньше необходимо проходов  $n$  для обеспечения заданного значения  $y$ .

Уменьшить  $B_1$  можно уменьшением  $V_{\text{дем}}$  при заданной ширине шлифования  $H$ . Поэтому уменьшая  $V_{\text{дем}}$ , появляется возможность уменьшения  $n$  при заданном значении  $y$ . В этом плане многопроходное и однопроходное (глубинное) шлифование равносильны. Рассмотрим случай однопроходного шлифования ( $n=1$ ;  $y_0 = t$ ). Тогда зависимости (1) и (2) примут вид

$$y = y_{\text{ycm}} \cdot \left( 1 - e^{-\frac{1}{B_1}} \right), \quad (3)$$

$$y = t \cdot e^{-\frac{1}{B_1}}. \quad (4)$$

Если зависимость (3) разделить на параметр  $B_1$ , то с учетом  $y = B_1 \cdot t_\phi$  и  $y = t - t_\phi$  (где  $t_\phi$  – фактическая глубина шлифования, м) получим зависимость  $t \cdot e^{-\frac{1}{B_1}} = t - t_\phi$ . Соответственно,  $y = t \cdot e^{-\frac{1}{B_1}}$ .

В результате пришли к зависимости (4). Следовательно, зависимости (3) и (4) описывают один и тот же процесс обработки, т.е. с физической точки зрения при однопроходном шлифовании жесткая схема и схема выхаживания равнозначны. Это обусловлено тем, что для двух схем закономерности формирования величины  $y$  подчиняются начальной зависимости  $y = B_1 \cdot t_\phi$ .

Необходимо отметить, что зависимости (1) и (2) получены на основе решения уравнения баланса перемещений в технологической системе, составленного в форме интегрального уравнения [4]. В случае однопроходного шлифования ( $n=1$ ) задачу определения величины упругого перемещения  $y$  можно упростить, рассматривая уравнение баланса в виде  $y = B_1 \cdot (t - y)$ .

Разрешая его относительно величины  $y$ , получим

$$y = \frac{t}{\left(1 + \frac{1}{B_1}\right)}. \quad (5)$$

Сравнивая зависимость (5) с аналогичными зависимостями (3) и (4), видно, что во всех случаях величина  $y$  определяется лишь параметром  $B_1$ . С увеличением  $B_1$  величина  $y$  увеличивается. Исходя из таблицы, рассчитанные по зависимостям (4) и (5) значения  $y/t$  отличаются незначительно. С увеличением  $n$  отношение  $y/t \rightarrow 1$ . Следовательно, практически с одинаковой точностью расчет  $y$  можно производить по зависимостям (3), (4) и (5).

Таблица

Расчетные значения  $y/t$

$B_1$	2	4	6	10	20	100
Зависимость (4)	0,61	0,78	0,852	0,905	0,95	0,99
Зависимость (5)	0,666	0,8	0,857	0,91	0,95	0,99

Установим наименьшее основное время обработки  $\tau$  при съеме припуска величиной  $\Pi = y_0$  по схеме выхаживания при плоском шлифовании с учетом ограничения по точности размера обрабатываемой поверхности, определяемой величиной  $y$ . В общем случае  $\tau = n \cdot \tau_0$ , где  $\tau_0 = L/V_{\text{дем}}$  – время одного продольного хода круга, с;  $L$  – длина продольного хода круга, м.

Разрешим зависимость (2) относительно  $n$ :

$$n = \frac{\sigma \cdot H \cdot V_{\text{дем}}}{c \cdot K_{\text{ш}} \cdot V_{\text{кр}}} \cdot \ln \frac{y_0}{y}. \quad (6)$$

Тогда

$$\tau = \frac{\sigma \cdot H \cdot L}{c \cdot K_{\text{ш}} \cdot V_{\text{кр}}} \cdot \ln \frac{y_0}{y}. \quad (7)$$

Время  $\tau$  однозначно определяется входящими в зависимость (7) параметрами. При невозможности создания в технологической системе натяга  $y_0 = \Pi$ , съем припуска удаляется за счет создания в системе периодических натягов, кратных снимаемому припуску. Тогда основное время обработки  $T$  равно:

$$T = \frac{\Pi}{y_0} \cdot \tau = \frac{\Pi}{y_0} \cdot \frac{\sigma \cdot H \cdot L}{c \cdot K_{\text{ш}} \cdot V_{\text{кр}}} \cdot \ln \frac{y_0}{y}. \quad (8)$$

Как видно, время  $T$  неоднозначно зависит от величины начального натяга  $y_0$ , т.е. существует экстремум функции  $T$  от  $y_0$ . Для его определения подчиним зависимость (8) необходимому условию экстремума  $T'_{y_0} = 0$ . В результате установлено экстремальное значение  $y_0 = e \cdot y$ , где  $e \approx 2,72$ .

Доказано, что в точке экстремума  $T''_{y_0} < 0$ . Следовательно, имеет место максимум функции  $T$  (рисунок). Максимальное значение  $T$  равно

$$T_{max} = \frac{\Pi}{e \cdot y} \cdot \frac{\sigma \cdot H \cdot L}{c \cdot K_{ш} \cdot V_{кр}}. \quad (9)$$

Соответственно, наименьшие значения основного времени обработки  $T$  при  $y_0 = \Pi$  и  $y_0 = y$  равны

$$T(y_0 = \Pi) = \frac{\sigma \cdot H \cdot L}{c \cdot K_{ш} \cdot V_{кр}} \cdot \ln \frac{\Pi}{y}; \quad T(y_0 = y) = 0. \quad (10)$$

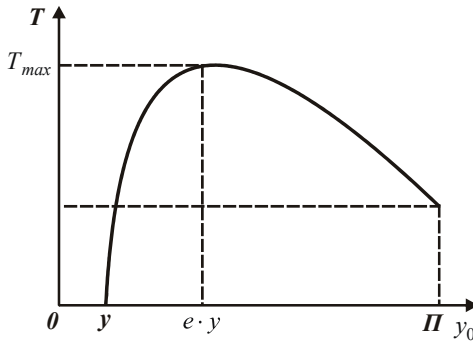


Рисунок – Зависимость  $T$  от  $y_0$ .

Таким образом установлено, что уменьшить основное время обработки  $T$  можно за счет реализации левой и правой ветвей зависимости  $T - y_0$  (рисунок). Причем, реализация левой ветви зависимости позволяет более существенно уменьшить  $T$ , т.к. в этом случае  $T \rightarrow 0$ . Это указывает на эффективность обработки с пульсирующей радиальной подачей, что согласуется с практикой шлифования. Одна-

ко реализовать в полной мере данный эффект обработки сложно в связи с относительно небольшой величиной  $y$ , определяющей погрешность обработки и устанавливаемой, как правило, в пределах 10 мкм. Поэтому более предпочтительным вариантом уменьшения  $T$  следует рассматривать случай  $y_0 > e \cdot y$ , реализующий правую ветвь зависимости  $T - y_0$ . Скорость детали  $V_{дем}$  при этом необходимо устанавливать в соответствии с зависимостью (2) для заданных значений  $y_0 / y$  и  $n$ .

**Список литературы:** 1. Рыбицкий В.А. Опыт внедрения алмазного шлифования деталей с защитными покрытиями / В.А. Рыбицкий – К.: Общество “Знание” УССР, 1987. – 23 с. 2. Лурье Г.Б. Прогрессивные методы круглого наружного шлифования / Г.Б. Лурье – Л.: Машиностроение, Ленинград. отд-ние, 1984. – 103 с. 3. Корчак С.Н. Прогрессивная технология и автоматизация круглого шлифования / С.Н. Корчак – М.: Машиностроение, 1968. – 108 с. 4. Новиков Ф.В. Оптимизация структуры и параметров операций шлифования плоских и внутренних цилиндрических поверхностей деталей / Ф.В. Новиков, Р.А. Бережной // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка. – 2010. – Вип. 101. – С. 28-39.

Поступила в редколлегию 20.09.2010