

Ф.В. НОВИКОВ, д-р техн. наук, ХНЭУ, г. Харьков

В.А. АНДИЛАХАЙ, ПГТУ, г. Мариуполь

УСЛОВИЯ ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ И ТОЧНОСТИ ОБРАБОТКИ НА ОПЕРАЦИЯХ ШЛИФОВАНИЯ

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; σ – условное напряжение резания, Н/м²; 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

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

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

Если зависимость (3) разделить на параметр B_1 , то с учетом $y = B_1 \cdot t_\phi$ и $y = t - t_\phi$ (где t_ϕ – 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 τ 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 τ 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 $e \approx 2,72$.

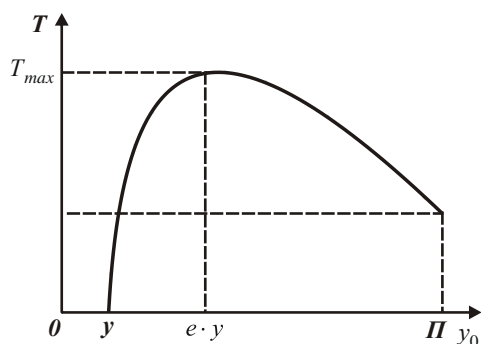
Доказано, что в точке экстремума $T''_{y_0} < 0$. Следовательно, имеет место максимум функции T (рисунок).

Максимальное значение T равно

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

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

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



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. Однако 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 $V_{дет}$ 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 20.10.2010