

Ю.А. СИЗЫЙ, Д.В. СТАЛИНСКИЙ, А.Ю. ПИРОГОВ, О.Н. БУТКО

## ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ САМООСЦИЛЛИРУЮЩЕГО КРУГА С ПРЕРЫВИСТОЙ РЕЖУЩЕЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ

Шлифование самоосциллирующим кругом (ППО) является своеобразной разновидностью прерывистого шлифования. Прерывистость контакта круга с поверхностью шлифуемого проката создается за счет смещения пятна контакта вдоль оси вращения круга. На рис.1 показан упрощенно самоосциллирующий круг, т.е. круг с наклонно расположенными торцами к оси Z его вращения. Теплофизический анализ процесса шлифования таким кругом выполнен и описан в [1]. При этом показано, что в середине размаха осциллирующего движения (т. А на рис.1) прерывание контакта круга с прокатом отсутствует и нагрев проката в этом месте наибольший.

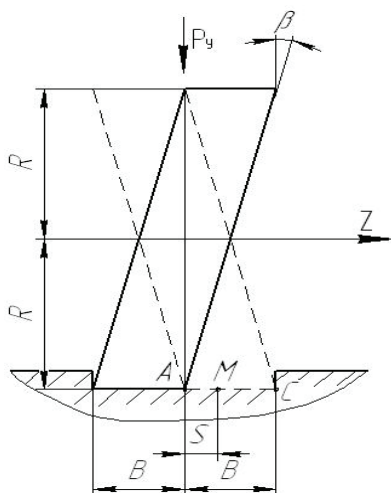


Рис 1 – Упрощенный вид самоосциллирующего шлифовального круга формы ППО

Для уменьшения нагрева проката в середине размаха осциллирующего движения предлагается конструкция круга, показанная на рис.2. Этот круг имеет канавки на левом и правом его торцах. Канавки выполнены на глубину  $h$ , равную половине высоты круга  $B$  и располагаются на торцах круга в пределах  $180^\circ$  так, чтобы канавки на левом торце занимали одну половину окружности, а на правом – другую. Длина канавок  $l$  ограничивается радиусом  $R$ , который является предельно допустимым в результате износа круга.

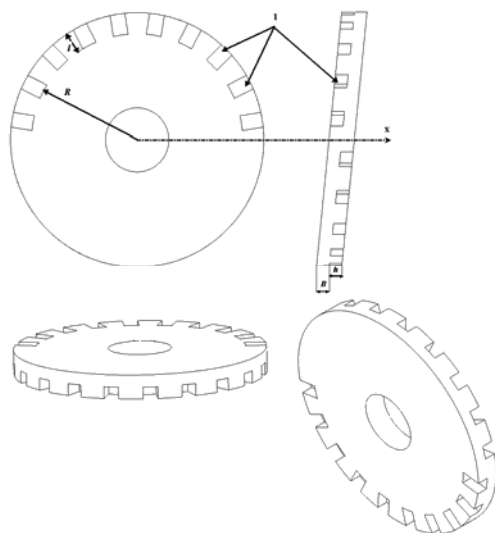


Рис.2 – Конструкция самоосциллирующего круга с прерывистой режущей поверхностью.

При положении круга, как показано на рис.3а, когда пятно контакта его с прокатом находится в левом крайнем положении, и круг вращается по стрелке  $\omega$ , то пазы на правом торце круга видимы в пределах  $1/4$  круга. Вторая четверть правого торца с пазами по ходу вращения невидима. При вращении круга от указанного положения видимые на рис.3а пазы правого торца проходят через середину размаха осциллирующего движения (т.А) и при этом реализуется прерывистый характер шлифования.

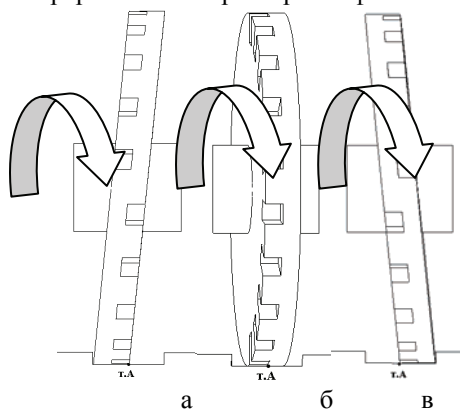


Рис.3 – Положения круга при осциллирующем движении в контакте с прокатом: а – левое крайнее; б – среднее; в – правое крайнее .

Когда круг повернется на угол  $90^\circ$  пазы правого торца минуют середину размаха (т.А), но при этом в контакт начнут входить пазы левого торца

(рис.3б), при этом продолжает осуществляться прерывистое шлифование при повороте на следующие  $90^\circ$ . Вид круга в положении, когда пазы левого торца начинают проходить через середину размаха показан на рис.3б.

После поворота еще на  $90^\circ$  пазы левого торца минуют середину размаха, и будут располагаться так, как показано на рис.3в. При дальнейшем вращении в пределах следующих  $90^\circ$  пазы левого торца будут смещаться влево, проходя над серединой пятна контакта, и процесс прерывистого шлифования будет продолжаться.

Когда пазы левого торца при смещении влево минуют середину пятна контакта, то, как видно из рис.3в, в контакт начнут входить пазы правого торца, и прерывистое шлифование продолжится.

Размеры паза  $l_2$  по окружности и выступа  $l_1$  выбираются в зависимости от требуемого снижения температуры проката по сравнению с непрерывным (сплошным) шлифованием [2]. Для черногового шлифования рекомендуется

$v = \frac{l_2}{l_1} = (0,6...1)$ . Кроме этого рекомендуется четное значение количества  $n$  пазов.

Выполним расчет температуры нагрева поверхности проката в середине размаха осциллирующего движения для описанной конструкции круга.

Расчет производим для круга ППО  $300 \times 76 \times 30$ . Принимаем число пазов

равное  $n = 20$ . Выбираем  $v = \frac{l_2}{l_1} = 0,6$ , тогда:

$$n = \frac{\pi \cdot D}{l_1 + l_2} = \frac{\pi \cdot D}{l_1 + l_1 \cdot v} = \frac{\pi \cdot D}{l_1 \cdot (1 + v)}$$

$$l_1 = \frac{\pi \cdot D}{n \cdot (1 + v)} = \frac{3,14 \cdot 300}{20 \cdot 1,6} = 29,44 \text{ мм.}$$

Ширина паза  $l_2 = 29,44 \cdot 0,6 = 17,66$  мм. Задаем окружную скорость вращения круга равной 40 м/с, что соответствует угловой скорости:

$$\omega = \frac{V}{R} = \frac{40}{0,15} = 266,6 \text{ рад/с.}$$

Время цикла нагрева-охлаждения:

$$t_u = \frac{l_1 + l_2}{V} = \frac{(29,44 + 17,66) \cdot 10^{-3}}{40} = 0,0011775 \text{ с.}$$

$$t_k = \frac{l_2}{V} = \frac{29,44}{40 \cdot 10^3} = 0,000736 \text{ с.}$$

Задачу определения температуры в шлифуемом прокате можно рассматривать как одномерную в направлении оси  $X$ , перпендикулярной

поверхности проката, а источник тепла бесконечным в направлении скоростей  $V_o$  и  $V_z$ .

Источник тепла принимаем плоским с равномерной плотностью теплового потока и не учитываем съём металла шлифованием. Эти допущения для плоского шлифования широко распространены и обоснованы [2]. При таком упрощении задача теплопроводности формулируется следующим образом:

$$\frac{\partial T(x,t)}{\partial t} = a \cdot \frac{\partial^2 T(x,t)}{\partial x^2}, \text{ с краевыми условиями:}$$

$$T(x,0) = 0, \quad T(\infty,t) = 0,$$

$$q(0,t) = -\lambda \cdot \left. \frac{\partial T(x,t)}{\partial x} \right|_{x=0} = \begin{cases} q_1, n \cdot t_{II} < t < n \cdot t_{II} + t_K; \\ 0, n \cdot t_{II} + t_K < t < t_{II} \cdot (n+1); \end{cases} \text{ где:}$$

$\lambda, a$  - коэффициенты тепло- и температуропроводности соответственно;

$t$  - время;

$t_{II}$  - время цикла нагрева-охлаждения (время оборота круга);

$t_K$  - время контакта;

$q_1$  - тепловой поток при равномерном его распределении в

пределах пятна контакта;

$n$  - номер цикла нагрева-охлаждения.

Решение такой задачи получено в [3] и имеет следующий вид:

$$T(x,t) = \frac{1}{\lambda} \cdot \sqrt{\frac{a}{\pi}} \cdot \int_0^t q(0,T) \cdot \exp\left[-\frac{x^2}{4 \cdot a \cdot (t-\tau)}\right] \cdot \frac{dT}{\sqrt{t-\tau}}. \quad (1)$$

Анализ решения выполним для поверхности проката, т.е. для  $x = 0$ :

$$T(0,t) = \frac{1}{\lambda} \cdot \sqrt{\frac{a}{\pi}} \cdot \int_0^t q(0,T) \cdot \frac{dT}{\sqrt{t-\tau}}.$$

Чтобы учесть граничные условия на поверхности проката, т.е. наличие и отсутствие теплового потока, пределы интегрирования в (1) программируем и решения на каждом обороте круга суммируем:

$$T(t) = \frac{q}{\lambda} \cdot \sqrt{\frac{a}{\pi}} \sum_{i=1}^n \int_{\text{if}[t < t_{II} \cdot (i-1), t_{II} \cdot (i-1)]}^{\text{if}[t \leq t_{II} \cdot (i-1) + t_K, t - \Delta, t_{II} \cdot (i-1) + t_K]} \frac{dT}{\sqrt{t-\tau}}. \quad (2)$$

В выражении в верхнем пределе интегрирования от текущего времени  $t$  отнимается малая величина  $\Delta$ , необходимая, чтобы в знаменателе подынтегрального выражения исключить нуль.

При расчете по (2) нужно знать  $n$  – число циклов нагрева-охлаждения, за которые точка поверхности проката пройдет через зону контакта в

направлении осевой подачи. Для этого нужно  $L_o$  разделить на  $V_o$  и время оборота круга ( $2 \cdot \pi / \omega$ ):

$$n = \frac{\omega \cdot \sqrt{2 \cdot R \cdot h}}{V_o \cdot 2 \cdot \pi} \quad (3).$$

Число оборотов круга за время прохождения точки поверхности проката через зону контакта вычисляем по (3), принимая скорость осевой подачи  $V_o = 10 \text{ м / мин} = 166,6 \text{ мм / с}$ , и глубину шлифования  $h = 0,5 \text{ мм}$ :

$$n_{об} = \frac{\sqrt{2 \cdot R \cdot h} \cdot \omega}{V_o \cdot 2 \cdot \pi} = \frac{\sqrt{2 \cdot 150 \cdot 0,5} \cdot 266,6}{166,6 \cdot 6,28} = 3,12 \text{ об.}$$

Таким образом, количество циклов нагрева-охлаждения составляет:

$$n_{ц} = n_{об} \cdot n = 3,12 \cdot 20 = 62,4.$$

Время отсутствия контакта:

$$t_{о.к.} = t_{ц} - t_{к} = 0,0011775 - 0,000736 = 0,0004415 \text{ с.}$$

Дискретность времени  $\Delta t$  при программировании расчета должна быть значительно меньше  $t_{о.к.}$ . Принимаем  $\Delta t = 0,00001 \text{ с}$ . Полное время

моделирования  $t_{мод}$  найдем, умножив время оборота  $t_{об} = \frac{2 \cdot \pi}{\omega}$  на количество оборотов  $n_{об}$ :

$$t_{мод} = \frac{2 \cdot \pi}{\omega} \cdot n_{об} = 0,073476 \text{ с.}$$

Число дискрет:

$$m = \frac{t_{мод}}{\Delta t} = \frac{0,073476}{0,00001} = 7347.$$

Таким образом, у нас имеются все данные для расчета по (2). Исходные данные расчета и его результаты приведены на рис.4. На этом рисунке, кроме графика нагрева при прерывистом шлифовании  $T1(t_j)$ , приведен и график нагрева без прерывания контакта  $TO(t_j)$ .

Сравнение графиков показывает значительное снижение температуры поверхности проката при прерывистом шлифовании примерно в  $\frac{930}{600} = 1,55$  раз.

Таким образом, предлагаемая конструкция круга с пазами позволяет значительно снизить теплонапряженность процесса обдирочного шлифования.

$n := 62$   $tc := 0.0011775$   $\Delta := 0.00000001$   $m := 7347$   $j := 0..m$   $t_j := 0.00000001 + j \cdot 0.00001$   
 $q := 4000$   $a := 0.067$   $\lambda := 0.34$   $tk1 := 0.000736$

$$T1(t) := \frac{q}{\lambda} \cdot \frac{a}{\sqrt{\pi}} \cdot \sum_{i=1}^n \int_{\substack{\text{if}[t \leq tc \cdot (i-1) + tk1, t - \Delta, tc \cdot (i-1) + tk1] \\ \text{if}[t \leq tc \cdot (i-1), t, tc \cdot (i-1)]}} \frac{1}{\sqrt{t - \tau}} d\tau$$

$$T0(t) := \frac{q}{\lambda} \cdot \frac{a}{\sqrt{\pi}} \cdot 2 \cdot \sqrt{t}$$

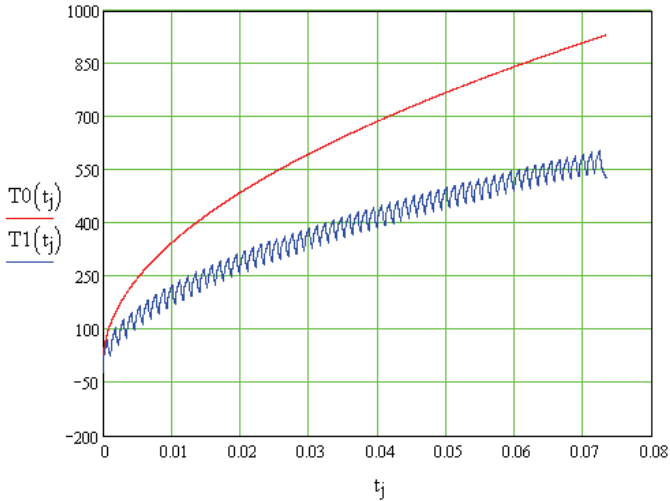


Рисунок 4 Графики нагрева при прерывистом шлифовании  $T1(t_j)$  и при шлифовании без прерывания контакта  $T0(t_j)$

Список литературы: 1. Сизый Ю.А., Сталинский Д.В., Пирогов А.Ю., Таран С.В. Анализ циклов нагрева – охлаждения поверхности проката при обдирочном шлифовании самоосциллирующим кругом. «Високі технології в машинобудуванні», збірник наукових праць. НТУ «ХПІ», Харків. Вип. 2,2006 р., 99-107с. 2. Сипайлов В.А. Тепловые процессы при шлифовании и управление качеством поверхности. М., Машиностроение,1978.167с. 3. Сизый Ю.А., Волкова Н.Н. Температура проката при обдирочном шлифовании.- Известия высших учебных заведений. Машиностроение, 1988, №10, с. 109-113.

Поступила в редколлегию 21.04.08