

*В работе приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований долей энергии, затрачиваемых на резание и трение в общем энергетическом балансе процессов обычного сплошного и прерывистого шлифования*

Прерывистое шлифование широко применяется в машиностроении. В многочисленных работах [1, 2, 3] раскрыта его физическая сущность и определены технологические возможности. В данной работе проводится его анализ с учетом соотношения работ, которые затрачиваются на резание и трение в общем энергетическом балансе процесса шлифования. Для решения данной задачи важно знать коэффициент “чистого резания”  $K_{ш.рез}$  (аналогичный коэффициенту шлифования)  $K_{ш}$ , коэффициент трения  $f$  круга с обрабатываемым материалом, тангенциальную составляющую силы резания  $P_{z.рез}$ , которые определяются зависимостями [4]:

$$K_{ш.рез} = \sqrt{2 \cdot \sigma_{сж} \cdot \frac{K_{ш}}{\sigma}}, \quad f = K_{ш} - K_{ш.рез},$$

$$P_{z.рез} = K_{ш.рез} \cdot P_y, \quad P_{z.тр} = P_z - P_{z.рез},$$

где  $\sigma_{сж}$  - предел прочности на сжатие обрабатываемого материала, Н/м<sup>2</sup>;  $\sigma$  - условное напряжение резания при шлифовании, Н/м<sup>2</sup>;  $P_z$ ,  $P_y$  - соответственно тангенциальная и радиальная составляющие силы резания, Н;  $P_{z.рез}$ ,  $P_{z.тр}$  - составляющие силы  $P_z$ , обусловленные процессами резания и трения при шлифовании, Н.

Доля трения в общем энергетическом балансе процесса шлифования равна отношению  $f / K_{ш}$ . Зная параметр  $K_{ш.рез}$ , можно определить безразмерный коэффициент  $\eta$ , учитывающий степень затупления зерен круга и изменяющийся в пределах 0...1 ( $\eta \rightarrow 0$  – для острых зерен,  $\eta \rightarrow 1$  – для затупленных зерен):

$$\eta = 1 - \frac{\pi \cdot \text{tg} \gamma \cdot HV \cdot \lambda}{2 \cdot V_{кр}}, \quad (3)$$

где  $HV$  - твердость обрабатываемого материала (по Виккерсу), Н/м<sup>2</sup>;  $2\gamma$  - угол при вершине конусообразного режущего зерна;  $\lambda$  – удельная интенсивность шлифования, м<sup>3</sup>/(с·Н).

Режущую способность обычных и прерывистых шлифовальных кругов оценивали удельной интенсивностью шлифования  $\lambda$  [мм<sup>3</sup>/(с·Н)], массой снятого материала единицей площади рабочей поверхности шлифовального круга в единицу времени  $K_p$  [г/(с·см<sup>2</sup>)] и отношением тангенциальной составляющей

силы резания  $P_z$  к радиальной составляющей силы резания  $P_y$ , т.е.  $P_z/P_y$ . Зависимости параметров, которые характеризуют режущую способность обычных и прерывистых кругов ( $l_1=36$  мм,  $l_2=24$  мм) от времени шлифования стали 18ХНВА на режиме:  $V_{кр}=34,5$  м/с;  $V_{дет}=0,1$  м/с;  $P_y=12$  Н/мм, показаны на рис. 1.

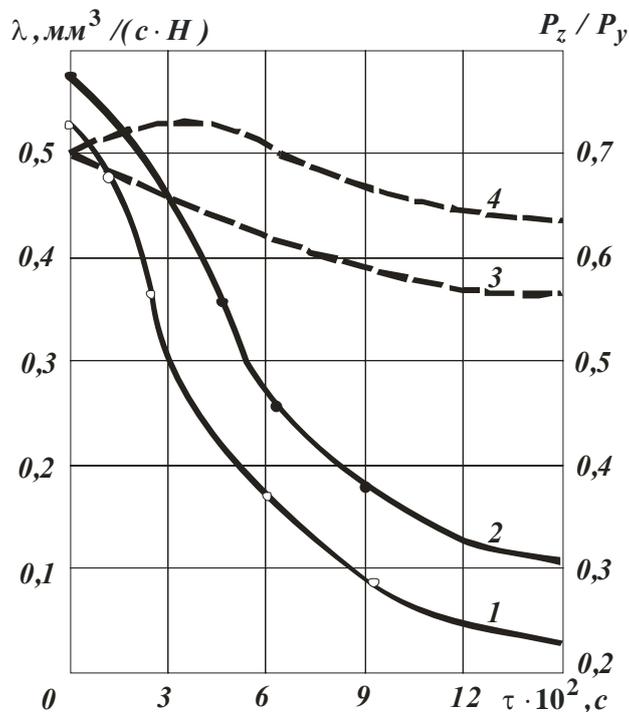


Рис. 1. Зависимости параметров  $\lambda$  и  $P_z/P_y$  от времени шлифования  $\tau$  сплошным и прерывистым кругами 24А 25 НСМ26К5: 1; 3 – изменение коэффициента  $\lambda$ ; 2; 4 – изменение отношения  $P_z/P_y$  (контурные линии – сплошной круг, пунктирные линии – прерывистый круг).

По мере затупления режущих зерен на рабочей поверхности сплошного круга коэффициент  $\lambda$  и отношение составляющих силы резания  $P_z/P_y$  уменьшаются. Например, при шлифовании сплошным кругом после его правки отношение  $P_z/P_y=0,78$ , а при шлифовании прерывистым кругом  $P_z/P_y=0,7$ .

После 25 минут работы обычного сплошного круга отношение  $P_z/P_y$  уменьшилось до 0,3, а прерывистого круга – до 0,64. Удельная интенсивность шлифования  $\lambda$  прерывистым кругом уменьшилась от 0,5 до 0,35  $\text{мм}^3/(\text{с} \cdot \text{Н})$ , а сплошным кругом – от 0,55 до 0,05  $\text{мм}^3/(\text{с} \cdot \text{Н})$ . Приведенные экспериментальные данные показывают, что обычные круги в связи с затуплением зерен и заполнением пор продуктами обработки за 25 минут работы теряют свою режущую способность. Так, коэффициент  $\lambda$  при шлифовании сплошным кругом уменьшился в 11 раз, коэффициент  $K_p$  – в 23 раза, а отношение  $P_z/P_y$  – в 2,6 раза.

Сохранение высокой режущей способности прерывистого круга на протяжении длительного периода времени связано с возникновением в упругой системе шпиндельного узла станка вынужденных высокочастотных колебаний с

частотой приблизительно равной 300...1000 Гц, которые существенно изменяют условия трения и износа зерен, снижают сопротивление схода стружки, облегчают процесс ее образования и исключают налипание материала на режущие зерна. Кроме того, наличие вырезов на шлифовальном круге, наклоненных к оси вращения или радиальных пазов на торце, способствуют подаче в зону резания воздушного потока с повышенным давлением. Мощный поток воздуха выдувает образующуюся стружку из зоны резания, интенсифицирует процесс ее окисления и сгорания. Окисленная стружка становится более хрупкой, шарообразной, не налипает на поверхность режущих зерен и не проникает в поры круга. Наличие вырезов на круге с прерывистой рабочей поверхностью увеличивает расстояние между режущими зернами и глубину их проникновения в обрабатываемый материал.

Известно, что при небольших глубинах микрорезания увеличивается часть энергии, которая затрачивается на трение, и уменьшается работа, затрачиваемая на разрушение обрабатываемого материала. Процесс деформации и разрушения материала при разрушении зависит от радиуса округления режущих кромок зерен, угла при вершине и физических свойств обрабатываемого материала. Увеличение радиусов округления зерен по мере их износа смещает точку начала стружкообразования в область больших глубин микрорезания.

При шлифовании кругами с прерывистой рабочей поверхностью нагрузки, действующие на режущие зерна, распределяются равномерно. Длительное время сохраняется высокая режущая способность, в то время как обычные сплошные круги теряют свою режущую способность и требуют правки. При прерывистом шлифовании вследствие динамических ударов происходит хрупкое разрушение затупленных зерен с образованием новых режущих кромок. На основе экспериментальных данных (рис. 1) рассчитаны параметры  $K_{ш.рез}$ ,  $f$ ,  $f / K_{ш}$  и  $\eta$  при  $\sigma_{сж} = 100$  кГс/мм<sup>2</sup>;  $HV = 512$  кГс/мм<sup>2</sup>,  $2\gamma = 120^\circ$ , табл. 1.

Таблица 1

Время шлифования $\tau$ , мин	$K_{ш.рез}$		$f$		$f / K_{ш}, \%$		$\eta$	
	Круг сплошной	Круг прерывистый	Круг сплошной	Круг прерывистый	Круг сплошной	Круг прерывистый	Круг сплошной	Круг прерывистый
0	0,177	0,169	0,400	0,331	69,0	66,2	0,783	0,800
3	0,126	0,164	0,354	0,356	73,7	68,4	0,888	0,812
6	0,100	0,157	0,170	0,343	65,4	68,6	0,931	0,828
9	0,075	0,150	0,100	0,320	55,5	66,6	0,956	0,845
12	0,058	0,147	0,055	0,300	42,3	66,6	0,975	0,851
15	0,048	0,141	0,052	0,290	17,3	66,0	0,982	0,861

Из приведенных в табл. 1 расчетных данных вытекает, что с течением времени шлифования параметр  $K_{ш.рез}$  уменьшается как для сплошного, так и прерывистого кругов. Однако интенсивность уменьшения параметра  $K_{ш.рез}$  различна. Для сплошного круга параметр  $K_{ш.рез}$  уменьшается более чем в 3 раза по сравнению с прерывистым кругом. Эти данные свидетельствуют о вы-

сокой режущей способности прерывистого круга, которые он сохраняет в течении длительного периода времени обработки.

При прерывистом шлифовании доля энергии, которая затрачивается на трение  $f / K_{ш}$ , стабильна во времени и равна приблизительно 66%. При шлифовании сплошным кругом доля энергии, затрачиваемая на трение, уменьшается до 17%. Однако, из этого не вытекает, что увеличивается доля энергии, которая затрачивается на резание и соответственно съём материала. В этом случае происходит перераспределение энергии резания и трения в условиях резкого снижения производительности обработки и перехода от трения обрабатываемого материала преимущественно со связкой круга до трения обрабатываемого материала с режущими зёрнами.

Представляет интерес анализ закономерностей изменения безразмерного параметра  $\eta$ . При прерывистом шлифовании безразмерный параметр  $\eta$  увеличивается существенно – от 0,8 до 0,861. При шлифовании сплошным кругом он изменяется от 0,783 до 0,982. Значительное затупление зёрен круга приводит к уменьшению производительности обработки в 10 раз. Как следует из рис. 1, после правки круга  $\lambda=0,55 \text{ мм}^3/(\text{с}\cdot\text{Н})$ , а после 25 мин шлифования  $\lambda=0,05 \text{ мм}^3/(\text{с}\cdot\text{Н})$ .

В табл. 2 приведены расчетные значения параметров  $K_{ш.рез}$ ,  $f$  и  $f / K_{ш}$  при шлифовании стали 12Х2Н4А сплошным и прерывистым кругом после правки ( $\tau=0$ ) и после 10 мин работы ( $\tau=6\cdot 10^2 \text{ с}$ ).

Таблица 2

Вид шлифования	$\sigma \cdot 10^3, \text{ кгс/мм}^2$		$K_{ш}$		$K_{ш.рез}$		$f$		$f / K_{ш}, \%$	
	0	$6\cdot 10^2, \text{ с}$	0	$6\cdot 10^2, \text{ с}$	0	$6\cdot 10^2, \text{ с}$	0	$6\cdot 10^2, \text{ с}$	0	$6\cdot 10^2, \text{ с}$
Сплошным кругом без СОЖ	12,5	22,2	0,85	0,55	0,217	0,131	0,633	0,419	74,4	76,1
Прерывистым кругом без СОЖ	9,5	10,2	0,7	0,65	0,227	0,211	0,473	0,439	67,5	67,5
Сплошным кругом, пропитанным серой	10,8	14,0	0,85	0,55	0,234	0,165	0,616	0,385	72,4	70,0
Прерывистым кругом, пропитанным серой	7,0	8,0	0,7	0,65	0,265	0,238	0,435	0,412	62,1	63,3

Коэффициент шлифования  $K_{ш} = P_z / P_y$  для прерывистого круга меньше, чем для сплошного круга, однако параметр  $K_{ш.рез}$ , который характеризует производительность обработки, наоборот, значительно больше, чем для сплошного круга. Коэффициент трения  $f$  для прерывистого круга в течении 10 мин шлифования практически не изменяется. В то же время для сплошного круга он

уменьшается почти в 2 раза. Доля энергии, затрачиваемая на трение,  $f / K_{ш}$  при шлифовании прерывистым кругом остается постоянной.

После пропитки круга серой уменьшаются энергетические затраты на трение и увеличивается параметр  $K_{ш.рез}$ . Безразмерный параметр  $\eta$  при шлифовании прерывистым кругом меньше, чем при шлифовании сплошным кругом, и остается неизменным во времени. При шлифовании сплошным кругом 24А 25 НСМ26К5 стали Х12М на режиме:  $V_{кр}=25$  м/с;  $V_{дем}=10$  м/мин ( $HV=500$  кгс/мм<sup>2</sup>;  $tg\gamma=1,732$ ) безразмерный параметр  $\eta$  непрерывно увеличивается (табл. 3).

Таблица 3

Время шлифования $\tau$ , мин	$\lambda$ , мм <sup>3</sup> /(мин·кгс)		$\eta$	
	Круг сплошной	Круг прерывистый	Круг сплошной	Круг прерывистый
0	350	450	0,682	0,591
5	250	450	0,773	0,593
10	200	430	0,818	0,595
15	160	440	0,854	0,600
20	155	430	0,859	0,600

Приведенные в табл. 3 данные свидетельствуют о том, что прерывистый круг работает в режиме самозатачивания и имеет более острые режущие кромки, чем сплошной круг. Кроме того, процесс прерывистого шлифования происходит с большими толщинами срезов, что обеспечивает более высокую производительность обработки.

#### Список литературы:

1. Якимов А.В. Оптимизация процесса шлифования. – М.: Машиностроение, 1975. – 176 с.
2. Якимов А.В. Абразивно-алмазная обработка фасонных поверхностей. – М.: Машиностроение, 1984. – 312 с.
3. Якимов А.В. Прерывистое шлифование. – К.: Вища школа, 1986. – 175 с.
4. Якімов О.В., Новиков Ф.В., Новиков Г.В., Якімов О.О. Високопродуктивне шліфування: Навч. посібник. – К.: ІСДО, 1995. – 180 с.