

УДК 621.923

## АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ УСЛОВИЙ ШЛИФОВАНИЯ НА РАБОТОСПОСОБНОСТЬ АЛМАЗНЫХ КРУГОВ

Малыхин В.В., канд. техн. наук, Новиков С.Г. канд. техн. наук  
(г. Курск, Россия),

Новиков Ф.В., докт. техн. наук, Новиков Г.В., канд. техн. наук  
(г. Харьков, Украина)

*In the paper the conditions for improving the efficiency of diamond grinding circles at the metallic bonding.*

Процессы абразивной и алмазной обработки играют ключевую роль в обеспечении качества, точности, надежности и долговечности выпускаемой машиностроением продукции. Одним из наиболее прогрессивных способов окончательной обработки деталей является алмазное шлифование, а среди его разновидностей наиболее перспективны – алмазно-искровое и алмазно-электроэрозионное шлифование (АИШ и АЭШ).

Данные процессы позволяют расширить область их использования алмазных кругов на металлических связках. Представляет интерес выполнить оценку работоспособности кругов с точки зрения энергоемкости процесса и прочности удержания алмазных зерен в связке. С этой целью были выполнены эксперименты по алмазному шлифованию и АЭШ твердых сплавов Т15К6 и ТН-20 кругом 12А2-45 АС6 100/80 М1-01-4. Шлифование выполнялось по упругой схеме и исследовалось влияние длительности шлифования, нормального давления  $P_n$ , толщины среза  $a_z$  на показатели энергоемкости АШ и АЭШ: условное напряжение резания  $\sigma$ , коэффициент шлифования  $K_{ш}$ , коэффициент трения  $f$ , угол удаления алмазного зерна из связки  $\alpha_{max}$ .

Общеизвестно, что энергоемкость процесса шлифования зависит от соотношения работ, которые затрачиваются на резание и трение. Для разработки эффективных путей совершенствования процесса алмазного шлифования важно знать доли энергий, затрачиваемых на резание и трение в общем энергетическом балансе обработки. Необходимость такой оценки связана с тем, что традиционно процесс шлифования рассматривается с позиций общей теории резания без раздельного учета доли энергии резания и трения. Это приводит к дисбалансу подводимой и отводимой при шлифовании энергии и не позволяет объективно оценить физические закономерности процесса шлифования. В работе [1] предлагается определить коэффициент «чистого резания»  $K_{ш,рез}$  (аналогичный коэффициенту шлифования  $K_{ш}$ ) и коэффициент трения  $f$  алмазного круга с обрабатываемым материалом следующим образом:

$$K_{ш,рез} = \sqrt{2\sigma_{сж} \frac{K_{ш}}{\sigma}}, f = K_{ш} - K_{ш,рез}, \quad (1)$$

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>.

Как известно, коэффициент шлифования  $K_{ш}$  равен:

$$K_{ш} = \frac{P_z}{P_y} \quad (2)$$

Тогда тангенциальную составляющую силу резания с учетом формул (1) и (2) можно определить

$$Pz.рез = K_{ш.рез} \times P_y \quad (3)$$

$$Pz.тр = Pz - Pz.рез, \quad (4)$$

где  $P_y$  – радиальная составляющая силы резания, Н;  $Pz.рез$ ,  $Pz.тр$  – составляющие силы  $Pz$ , обусловленные процессами резания и трения при шлифовании, Н.

Доля трения в общем энергетическом балансе процесса шлифования равна отношению коэффициента трения к коэффициенту шлифования. На основе экспериментальных значений параметров  $\sigma$  и  $K_{ш}$ , приведенных в табл. 1, можно оценить доли энергетических затрат на резание и трение при алмазном шлифовании (АШ) и алмазно-электроэрозионном шлифовании (АЭШ)  $P_{но} = 1 \text{ МПа}$ ,  $V_{кр} = 20 \text{ м/с}$ .

Таблица 1

Экспериментальные значения параметров  $\sigma$  и  $K_{ш}$

Продолжительность обработки, мин	$\sigma \cdot 10^4$ , МПа		$K_{ш}$	
	Метод шлифования			
	АШ	АЭШ	АШ	АЭШ
2	13,8	6,2	0,42	0,26
4	14,4	7,4	0,34	0,24
6	14,8	8,4	0,28	0,23
8	15,3	8,3	0,26	0,23
10	15,7	8,5	0,24	0,24
12	16,0	8,4	0,23	0,23
14	16,4	8,5	0,21	0,23

С использованием формул (1) – (4) получены расчетные значения показателей энергоемкости, приведенные в табл. 2.

Таблица 2

Расчетные значения параметров

Длительность обработки, мин	$\alpha \text{ max}$		Кш		f		f/Кш, %		$\eta$	
	Метод шлифования									
	АШ	АЭШ	АШ	АЭШ	АШ	АЭШ	АШ	АЭШ	АШ	АЭШ
2	25,6	42	0,156	0,183	0,264	0,07	62,8	29,6	0,751	0,66
4	31,5	42,4	0,137	0,162	0,203	0,078	59,6	32,7	0,809	0,732
6	36,4	42,7	0,123	0,148	0,157	0,082	56,0	35,7	0,822	0,776
8	38	42,72	0,117	0,149	0,143	0,081	55,2	35,3	0,855	0,773
10	69,7	71,8	0,11	0,15	0,129	0,089	53,9	37,3	0,878	0,77
12	70,6	72,7	0,107	0,148	0,122	0,082	53,3	35,7	6,881	0,776
14	72,3	72,6	0,101	6,147	0,109	0,083	51,8	36,0	0,894	0,78

При АШ за 14 мин шлифования коэффициент  $f$  изменился от 0,264 до 0,109.

При алмазно-искровом шлифовании в результате частичного сгорания образующихся стружек и продуктов обработки практически исключается контакт обрабатываемого материала со связкой круга. При этих условиях доля энергетических затрат на трение и коэффициент трения  $f$  уменьшаются практически вдвое по сравнению с обычным алмазным шлифованием. При непрерывном поддержании режущей способности круга увеличивается также параметр  $K_{шрез}$ . При создании на рабочей поверхности круга острого режущего рельефа уменьшается параметр  $\eta$ , увеличивается производительность обработки и уменьшается теплонапряженность процесса шлифования. При алмазно-искровом шлифовании параметр  $\eta$  меньше, а параметр  $K_{шрез}$  больше, чем при обычном алмазном шлифовании.

Нормальное давление  $P_n$  неоднозначно влияет на распределение энергетического баланса работ, который затрачивается на резание и трение. Например, при увеличении  $P_n$  от 0,2 до 0,8 МПа (табл. 3) доля энергии, затрачиваемой на трение  $f/K_{ш}$ , уменьшается от 27 до 24,2%, а при увеличении  $P_n$  в интервале 0,8... 1,2 МПа параметр  $f/K_{ш}$  увеличивается от 24,2 до 35,8%. Доля энергетических затрат на резание, которая оценивается параметром  $K_{шрез}$ , наоборот, в интервале изменения  $P_n = 0,2...0,8$  МПа увеличивается от 0,183 до 0,226, а в интервале  $P_n = 0,8... 1,2$  МПа – уменьшается от 0,226 до 0,195. Это связано с тем, что при алмазно-искровом шлифовании при изменении  $P_n$  от 0,2 до 0,8 МПа коэффициент трения не изменяется. Значения коэффициента трения соответствуют условиям трения твердого сплава с алмазом ( $f = 0,07...0,075$ ), а параметр  $K_{шрез}$  с увеличением толщин срезов зернами увеличивается. При дальнейшем увеличении  $P_n$  доля трения увеличивается, и эффективность алмазно-искрового шлифования уменьшается. Это происходит по двум причинам. Во-первых, в контакт с обрабатываемым материалом вступает металлическая связка алмазного круга, а во-вторых, увеличиваются нагрузки, действующие на зерна и происходит их интенсивное затупление, увеличивается  $\eta$  и уменьшается  $K_{шрез}$ . Таким образом, существует оптимальное значение  $P_n$ , при котором обеспечивается наибольшая производительность обработки. Превышение  $P_n$  оптимального значения требует увеличения электрических параметров процесса. С увеличением интенсивности электроэрозионного воздействия на рабочую поверхность круга восстанавливается режущая способность зерен, снижаются доля энергии трения и параметр  $\eta$ , который характеризует затупление режущих зерен, увеличивается параметр  $K_{шрез}$ .

Таблица 3

Влияние нормального давления на работоспособность алмазных кругов

$P_n$	$\alpha_{max}$	$\sigma \cdot 10^4$ , МПа	$K_{ш}$	$K_{шрез}$	$f$	$f/K_{ш}$ %
0,2	42,4	6,0	0,250	0,183	0,067	27,0
0,4	40,6	5,2	0,280	0,208	0,072	25,9
0,8	39,5	4,7	0,300	0,226	0,074	24,2
1,0	38,2	5,5	0,305	0,210	0,094	30,9
1,2	37	6,5	0,310	0,195	0,115	35,8

Работоспособность алмазных кругов на металлических связках во многом зависит от геометрии и формы зерна, а также от условий удерживания и выры-

вания зерен из связки. В процессе шлифования отдельные алмазные зерна под действием силы резания могут изменять свое положение в связке от "утопания" в нее до разворота в ней на некоторый угол  $\alpha$ , при максимальном значении которого они вырываются из связки. Зерно совершает сложное плоско - параллельное перемещение, одновременно утопая в связку и разворачиваясь относительно одной из опорных точек в связке. Ранее [2] была установлена зависимость  $\alpha_{max} \geq \gamma - \arctg K_{ш}$ , где  $\gamma$  - половина угла профиля при вершине зерна;  $K_{ш}$  - коэффициент шлифования ( $K_{ш} = P_z/P_y$ ). Представляет интерес выполнить количественную оценку величины  $\alpha_{max}$  в зависимости от угла  $\gamma$  и коэффициента шлифования  $K_{ш}$ , которая позволит рекомендовать условия наилучшей работоспособности алмазных кругов. Для решения поставленной задачи воспользуемся значениями  $K_{ш}$ , полученными при микрорезании твердого сплава Т5К6 [2], а величину угла  $\gamma$  примем в диапазоне 40...80°, которые близки к реальным углам профиля алмазных зерен. Результаты расчета представлены в табл. 4.

Таблица 4

Влияние толщины среза  $a_z$ , коэффициента шлифования  $K_{ш}$ , половины угла профиля алмазного зерна  $\gamma$  на величину угла удаления зерна из связки  $\alpha_{max}$

$a_z$ , мкм.	2	4	6	8	10	12	14	
$K_{ш}$	0,35	0,44	0,51	0,57	0,6	0,65	0,68	
$\alpha_{max}$	$\gamma_1=80^\circ$	60,7	56,3	53	50,3	49	47	45,8
	$\gamma_2=600$	40,7	36,3	33	30,3	29	27	25,8
	$\gamma_3=400$	20,7	16,3	13	10,3	9	7	5,8

Условия резания и расчета: зерно АС50; скорость резания  $V=20$  м/с; обрабатываемый материал Т15К6

Анализ полученных зависимостей показывает, что с увеличением толщины среза  $a_z$ , коэффициента шлифования  $K_{ш}$  и уменьшении угла  $\gamma$ , угол вырывания зерна из связки  $\alpha$  - уменьшается. Вместе с тем значения достаточно велики, что свидетельствует о прочном удержании алмазных зерен в органической связке. В реальных условиях алмазного шлифования твердых сплавов кругами на металлической связке значения  $K_{ш}$  изменяются в пределах 0,19...0,24 при поперечной подаче  $S_{non}=0,005...0,04$  мм/дв.ход [3]. Следовательно, даже при больших значениях толщин среза  $a_z$ , поперечной подачи  $S_{non}$ , угол  $\alpha_{max}$  будет достаточно большим (20°...60°). Таким образом для повышения работоспособности алмазных кругов на металлических связках и производительности шлифования необходимо работать с большими толщинами среза и поперечной подачей  $S_{non}=0,02..0,04$  мм/дв.ход.

**Литература:** 1. Новиков Г.В., Малыхин В.В. Оценка энергий, затрачиваемых на резание и трение в общем энергетическом балансе процессов алмазного и алмазно-искрового шлифования // Современные инструментальные системы, информационные технологии и инновации [Текст]: материалы III Международной научно-технической конференции: в 2 ч. Ч. 2: Курск. гос. техн. ун-т. – Курск, 2005. – С. 138-143. 2. Новиков С.Г., Малыхин В.В. К вопросу физического моделирования шлифования алмазными кругами на органических связках // Труды 4-й международной научно-технической конференции «Физические и компьютерные технологии в народном хозяйстве», 23 - 24 октября 2001г. – Харьков, 2001. – С. 128 - 134. 3. Теоретические основы резания и шлифования материалов / А.В. Якимов, Ф.В. Новиков, Г.В. Новиков, Б.С. Серов, А.А. Якимов. – Одесса.: ОПТУ, 1999. – 450 с.