

**ВЛИЯНИЕ ВРЕМЕНИ ОБРАБОТКИ НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ
АЛМАЗНОГО ШЛИФОВАНИЯ ПО УПРУГОЙ СХЕМЕ
ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ ГРУППЫ ВК**

Стрелков В.Б., Полтавец В.В., Цокур В.П.
(ДонНТУ, г. Донецк, Украина)

Одним из главных критериев оценки эффективности технологического процесса механической обработки является его производительность. Производительность процесса алмазно-абразивной обработки определяется объёмом материала, сошлифованного в единицу времени [1], и является функцией режущей способности шлифовального круга [2]. Указанная функциональная зависимость явным образом проявляется при обработке по упругой схеме в виде изменения во времени фактической глубины шлифования и соответствующего снижения производительности обработки.

Изменения фактической глубины и интенсивности алмазного шлифования при обработке по упругой схеме исследованы для конструкционных и инструментальных сталей [3], сверхтвёрдых поликристаллических материалов [4], однако для твёрдых сплавов систематизированных данных по этим вопросам недостаточно.

Задачей данного исследования является установление характера изменения глубины резания и производительности алмазного шлифования по упругой схеме твёрдых сплавов группы ВК.

Изменение фактической глубины шлифования твёрдых сплавов в зависимости от времени обработки и соответствующее изменение производительности обработки, обусловленное изнашиванием зерен, исследовали экспериментальным путём. Эксперименты выполняли на модернизированном для осуществления обработки с одновременными электроэрозионными воздействиями плоскошлифовальном станке модели 3Д711АФ11 [5] на режимах: скорость круга $V_k = 35$ м/с, скорость детали $V_d = 6$ м/мин, глубина резания $t_f = 15$ мкм. Образцы из сплавов ВК6, ВК8, ВК15 обрабатывали по упругой схеме алмазным шлифовальным кругом 1А1 250×76×15×5 АС6 100/80-4М2-01.

Перед экспериментом круг правили электроэрозионным способом с подводом технологического тока в зону резания. В качестве источника технологического тока использовали блок электропитания ИТТ-35. Режимы правки: механические – скорость круга $V_{кр} = 35$ м/с, продольная скорость стола $V_{см} = 6$ м/мин; поперечная подача $S_{non} = 2,5$ мм/ход, глубина резания $t = 0,005 \div 0,010$ мм; электрические – напряжение холостого хода $U_{хх} = 50$ В, сила тока $I = 5-8$ А. При правке анодом был шлифовальный круг, катодом – правящий инструмент. Охлаждение – 0,3 %-ый водный раствор кальцинированной соды.

Объём сошлифованного за 1 минуту материала V_ϕ (производительность или интенсивность шлифования) в различные моменты времени обработки различных марок твёрдых сплавов группы ВК представлен в табл. 1.

Экспериментальные данные (табл. 1) аналогично работе [4] аппроксимировались экспоненциальной зависимостью следующего вида:

$$Q = Q_{уст} + \Delta Q \exp(\beta_Q \tau) \quad (1)$$

где Q , $Q_{исх}$, $Q_{уст}$ – соответственно текущая, исходная, установившаяся интенсивности шлифования, мм³/мин;

$\Delta Q = Q_{исх} - Q_{уст}$ – амплитуда снижения интенсивности шлифования, мм³/мин;
 β_Q – эмпирический коэффициент, 1/с;
 τ – продолжительность шлифования, с.

Таблица 1. Производительность обработки при шлифовании твердых сплавов группы ВК кругом 1А1 250×76×15×5 АС6 100/80-4М2-01

Время шлифования τ , мин	Обрабатываемый твёрдый сплав		
	ВК6	ВК8	ВК15
	V_{ϕ} , мм ³ /мин	V_{ϕ} , мм ³ /мин	V_{ϕ} , мм ³ /мин
1	438	441	430
3	236	226	340
5	183	221	306
10	169	180	247
15	132	163	192
30	111	125	138
45	-	93	95

За исходную интенсивность (производительность) $Q_{исх}$ принимали производительность в первую минуту шлифования. За установившуюся интенсивность принимали производительность шлифования на 30-й минуте, после которой снижение производительности было несущественным.

Показатель степени β_Q в уравнении (1) рассчитали по данным табл.1 методом наименьших квадратов.

Полученные по описанной методике коэффициенты формулы (1), описывающей изменение производительности обработки кругом АС6 100/80-4М2-01 при алмазном шлифовании твердых сплавов ВК6, ВК8, ВК15 по упругой схеме, приведены в табл. 2.

Таблица 2. Коэффициенты формулы (1) для различных марок твёрдых сплавов группы ВК

Марка твёрдого сплава	Исходная интенсивность шлифования $Q_{исх}$, мм ³ /мин	Установившаяся интенсивность шлифования $Q_{уст}$, мм ³ /мин	Эмпирический коэффициент β_Q , 1/с
ВК15	344	115	- 0,134
ВК8	340	101	- 0,127
ВК6	329	109	- 0,163

Экспериментальные данные и полученная регрессионная кривая вида (1), описывающие изменение производительности шлифования во время обработки твёрдого сплава ВК6, ВК8, ВК15, приведены на рис 1.

Как видно из графиков, полученные кривые достаточно точно соответствуют данным эксперимента.

Проверим, существенно ли различие результатов опытов по исследованию изменения производительности шлифования во времени для трех марок твердых сплавов и возможна ли их совместная статистическая обработка. Такая проверка осуществляется путем оценивания однородности выборочных средних и дисперсий выборок. Однородность выборочных средних проверим по критерию знаков и по критерию Уилкоксона T [6], а дисперсий выборок – по критерию Кохрена [7].

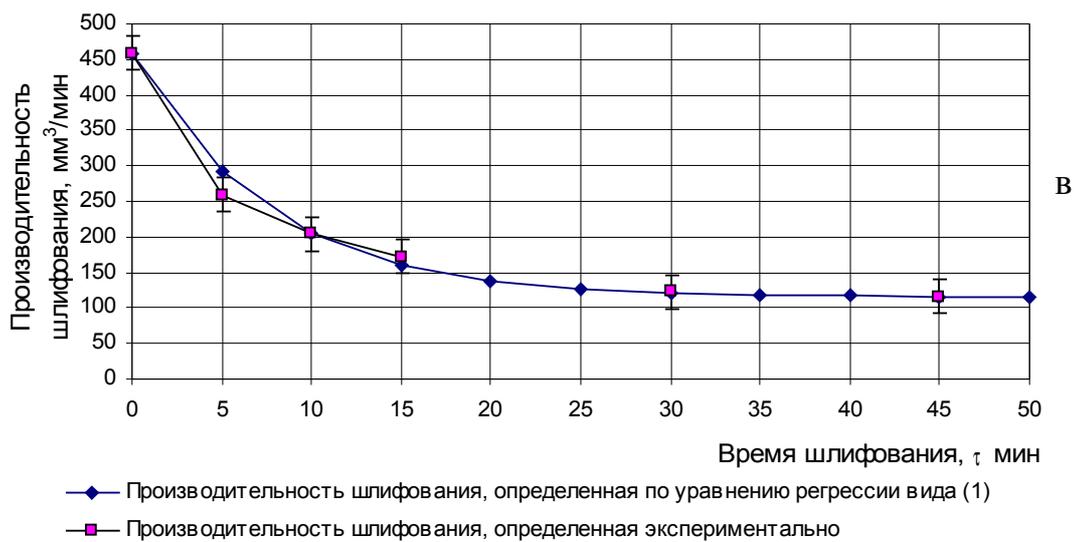
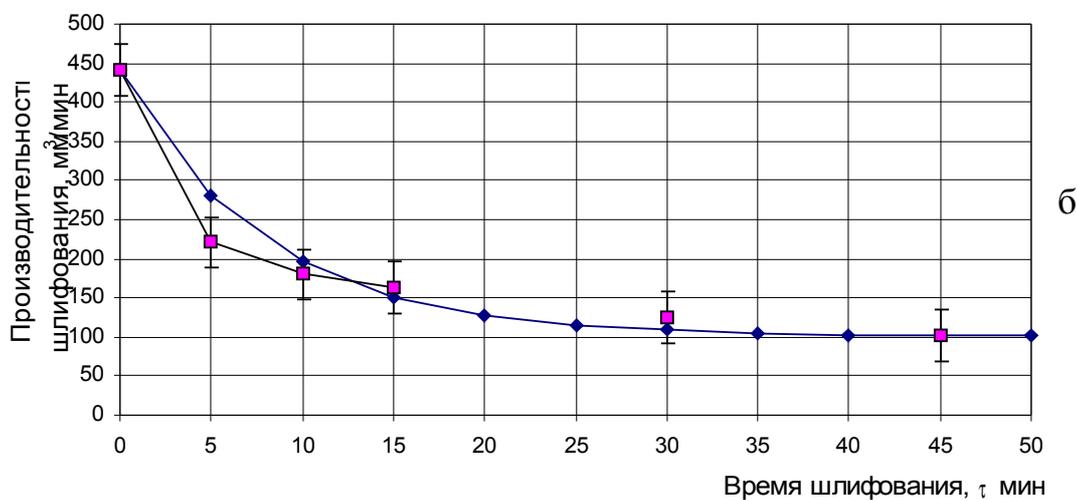
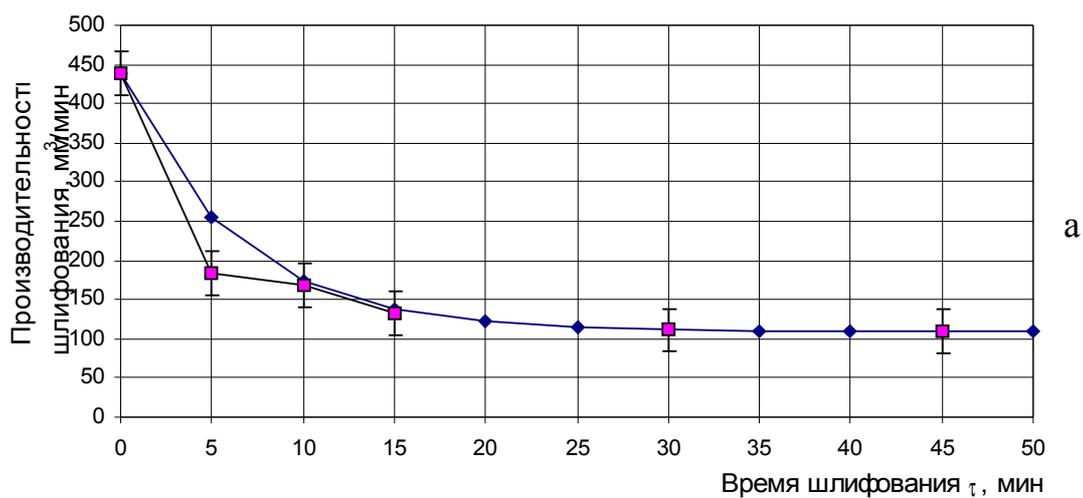


Рис. 1. Изменение производительности шлифования при обработке по упругой схеме
 а – твердого сплава ВК6; б – твердого сплава ВК8; в – твердого сплава ВК15

Гипотеза однородности выборочных средних по критерию знаков принимается, если выполняется условие

$$r_{\alpha} < u_{+} < n - r_{\alpha},$$

где u_{+} – количество положительных разностей парных результатов экспериментов;

r_{α} – критическое значение критерия знаков при уровне значимости α ;

n – количество парных результатов, $n = 7$.

Гипотеза однородности выборочных средних по критерию Уилкоксона T принимается, если выполнено условие

$$T_{\alpha}^{-} < T < T_{\alpha}^{+},$$

где критические значения T_{α}^{\pm} при $m \leq 15$ и $\alpha = 0,05$ определяют по таблице [6].

Для определения статистики T значения выборок x_i и y_i располагают в порядке возрастания, затем для каждого x_i находят u_i – число символов y , предшествующих x_i , и r_i – номер x_i в общей последовательности (ранг x_i).

Гипотеза однородности дисперсий выборок принимается, если выполняется условие

$$G = \frac{S_{\max}^2}{\sum_{i=1}^n S_i^2},$$

где G – расчетное значение критерия Кохрена, S_{\max}^2 – наибольшее значение среди сравниваемых дисперсий; $\sum_{i=1}^n S_i^2$ – общая сумма сравниваемых дисперсий.

Табличные значения критерия Кохрена $G(f_1, f_2)$ при уровне значимости $\alpha = 0,05$ приведены в таблице [7]. Число степеней свободы для сравниваемых дисперсий составляет $f_1 = 3$, а $f_2 = n$, где n – общее число дисперсий.

Результаты определения значений критериев знаков $r_{0,05}$ и Уилкоксона T приведены в табл. 3, критерия Кохрена – в табл. 4.

Таблица 3. Данные для проверки однородности выборочных средних производительности алмазного шлифования при обработке твердых сплавов марок ВК6, ВК8, ВК15

Время шлифования τ , мин	$V_{1\phi}$, мм ³ /мин	$V_{2\phi}$, мм ³ /мин	Знак разности $V_1 - V_2$	Критерий знаков $r_{0,05}$	Критерий Уилкоксона T	$T_{0,05}^{-}$	$T_{0,05}^{+}$
1	2	3	4	5	6	7	8
1 – ВК15; 2 – ВК8							
1	430,1	441,3	–	0	59	36	69
3	340,3	226,7	+				
5	306,8	221,6	+				
10	247,7	180,2	+				
15	191,8	163,8	+				

30	138,1	125,9	+				
Продолжение таблицы 3.							
1	2	3	4	5	6	7	8
45	94,7	92,7	+	0			
1 – ВК15; 2 – ВК6							
1	430,1	438,2	-	0	48	27	57
3	340,3	246,5	+				
5	306,8	183,3	+				
10	247,7	169,1	+				
15	191,8	132,5	+				
30	138,1	111,3	+				
1 – ВК8; 2 – ВК6							
1	441,3	438,2	+	0	41	27	57
3	226,7	246,5	-				
5	221,6	183,3	+				
10	180,2	169,1	+				
15	163,8	132,5	+				
30	125,9	111,3	+				

Таблица 4. Данные для проверки выборочных дисперсий производительности алмазного шлифования при обработке твердых сплавов марок ВК6, ВК8, ВК15

Время шлифова- ния τ , мин	ВК6	ВК8	ВК15	Критерий Кохрена $G = \frac{S_{V\max}^2}{\sum_{i=1}^n S_{Vi}^2}$	$G_{0,05}$	$G_{0,01}$
	S_V^2 (мм ³ /мин) ²	S_V^2 (мм ³ /мин) ²	S_V^2 (мм ³ /мин) ²			
1	316,0	676,0	72,3	0,64	0,7977	0,8831
3	97,0	324,3	52,3	0,68		
5	14,3	89,3	69,3	0,52		
10	6,3	121,3	142,3	0,53		
15	44,3	37,3	42,3	0,36		
30	148,0	65,3	9,3	0,66		
45	–	65,3	3,0	0,96	0,9392	0,9794

Из табл. 3 и 4 видно, что выборочные средние удовлетворяют критерию знаков и критерию Уилкоксона, а однородность дисперсий выборок подтверждается критерием Кохрена при уровне значимости 0,05 для всех интервалов времени обработки, за исключением выборки, взятой на 45 минуте шлифования (подтверждается при уровне значимости 0,01). Следовательно, выборки данных, полученных по результатам проведенных опытов, можно считать принадлежащими одной генеральной совокупности, и, соответственно, производительность алмазного шлифования по упругой схеме не зависит от марки обрабатываемого твердого сплава.

Обобщенная зависимость для сплавов группы ВК, выведенная методом наименьших квадратов по объединенной выборке, которая включает данные для всех трех марок твердых сплавов, имеет вид

$$Q = 124 + 312 \exp(-0,154 \tau), \text{ мм}^3. \quad (2)$$

Оценим адекватность полученной обобщенной зависимости. Для этого проверим, попадает ли кривая, построенная по уравнению (2), в 95 %-е доверительные интервалы, определенные по экспериментальным данным для каждой марки твердых сплавов. Регрессионная кривая (2) и доверительные интервалы для сплава марки ВК8 приведены на рис. 2.

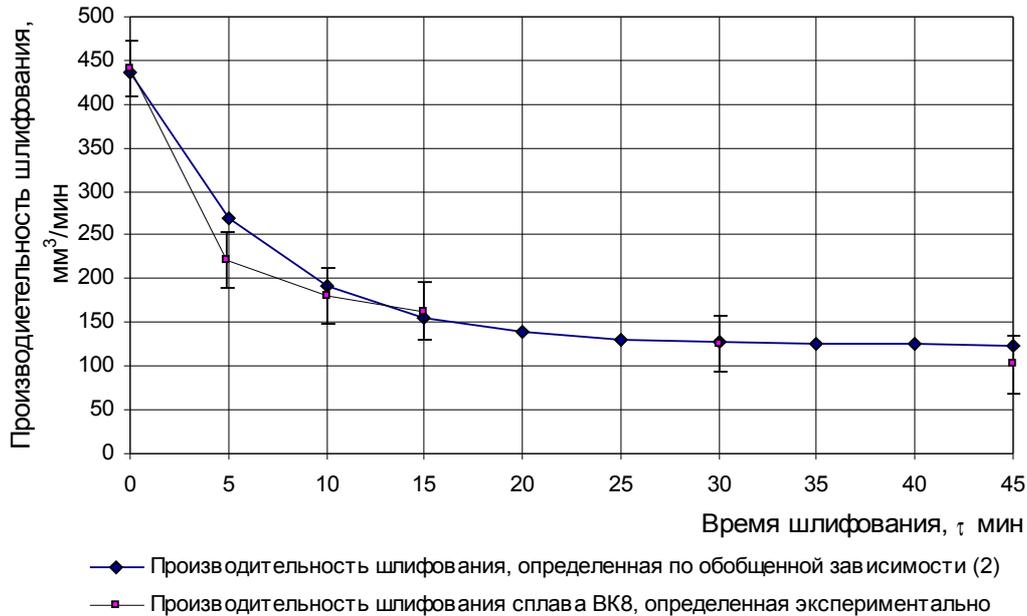


Рис. 2. Влияние времени обработки на производительность шлифования твердого сплава ВК8

Из рис. 2 видно, что полученная зависимость изменения производительности шлифования от времени обработки попадает в доверительные интервалы для всех моментов времени обработки, за исключением 5-й минуты шлифования. Аналогичным образом регрессионная кривая адекватно отражает результаты экспериментальных исследований и попадает в доверительные интервалы и для сплавов ВК6 и ВК15.

Таким образом, изменение производительности обработки и, соответственно, режущей способности алмазного круга при обработке исследованной группы твердых сплавов можно оценивать с использованием одной обобщенной зависимости (2), а различные физико-механические свойства твердых сплавов в исследованном диапазоне не оказывают существенного влияния на изменение режущей способности круга.

Полученная зависимость может быть использована при определении оптимальных режимов шлифования твердых сплавов по критерию минимальной удельной производительности обработки или же для случая, когда ограничивающим параметром процесса обработки выступает режущая способность шлифовального круга.

Список литературы. 1. Маслов Е.Н. Теория шлифования материалов. – М.: Машиностроение, 1974. – 320 с. 2. Полтавец В.В. Достижение максимальной производительности шлифования с учётом изменения режущих свойств круга// Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Международный сб. научн. трудов – Донецк: ДонНТУ, 2003. – Вып. 24. – С. 128-133. 3. Полтавец В.В. Обоснование режимов шлифования

труднообрабатываемых материалов при электроэрозионном воздействии на рабочую поверхность круга: Автореф. дис.... канд. техн. наук: 05.03.01/ ДонГТУ. – Донецк, 2001. – 19 с. 4. Грабченко А.И. Научные основы алмазного шлифования сверхтвердых поликристаллических материалов: Дис. в форме научного доклада ... докт. техн. наук.: 05.03.01/ ХГПУ. – Харьков, 1995. – 59 с. 5. Цокур В.П., Стрелков В.Б, Хохлов А.А. Модернизация шлифовальных станков для осуществления обработки с электроэрозионным управляющим воздействием на рабочую поверхность круга// Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Международный сб. научн. трудов. – Донецк: ДонГТУ, 2001. – Вып.15. – С. 258-262. 6. Грановский В.А., Сирая Т.Н. Методы обработки экспериментальных данных при измерениях. – Л.: Энергоатомиздат: Ленингр. отд-ние, 1990. – 288 с. 7. Пустыльник Е.И. Статические методы анализа и обработки наблюдений. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1968. – 288 с.

**ВЛИЯНИЕ ВРЕМЕНИ ОБРАБОТКИ НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ
АЛМАЗНОГО ШЛИФОВАНИЯ ПО УПРУГОЙ СХЕМЕ
ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ ГРУППЫ ВК**

Стрелков В.Б., Полтавец В.В., Цокур В.П.

Экспериментально исследовано изменение во времени производительности алмазного шлифования по упругой схеме при обработке твёрдых сплавов группы ВК. Доказано, что для твёрдых сплавов ВК6, ВК8, ВК15 изменение производительности подчиняется единой закономерности и может быть описано общей регрессионной зависимостью.

**ВПЛИВ ЧАСУ ОБРОБКИ НА ПРОДУКТИВНІСТЬ
АЛМАЗНОГО ШЛІФУВАННЯ ЗА ПРУЖНОЮ СХЕМОЮ
ТВЕРДИХ СПЛАВІВ ГРУПИ ВК**

Стрелков В.Б., Полтавец В.В., Цокур В.П.

Експериментально досліджена зміна в часі продуктивності алмазного шліфування за пружною схемою при обробці твердих сплавів групи ВК. Доведено, що для твердих сплавів ВК6, ВК8, ВК15 зміна продуктивності підкоряється єдиній закономірності і може бути описана загальною регресійною залежністю.

**INFLUENCE OF MACHINING TIME ON PRODUCTIVITY
OF DIAMOND GRINDING BY ELASTIC SETUP
OF HARD ALLOYS OF GROUP BK**

Strelkov V.B., Poltavets V.V., Tsokur V.P.

Productivity change in time of diamond grinding by elastic setup is researched experimentally at machining of hard alloys of group BK. For hard alloys BK6, BK8, BK15 productivity change is proved to behave identically and to be described by common regression dependence.