

УДК 621.921

*Д-р техн. наук Р. С. Турманидзе, Д. С. Буцхрикидзе, Т. С. Апциаури**Грузинский технический университет, г. Тбилиси, Грузия*

АЛМАЗНОЕ ШЛИФОВАНИЕ СВЕРХТВЕРДЫХ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ЭФФЕКТИВНЫМ СПОСОБОМ

Были рассмотрены проблемы, связанные с обрабатываемостью твердых и хрупких, труднообрабатываемых неметаллических материалов во время шлифования алмазным кругом прогрессивным методом и влияния ориентации сапфирного монокристалла на выходные параметры обработки.

Ключевые слова: алмазное шлифование, пьезокварц, сапфир, нарушенный слой, биосовместимость.

Появление новых инструментальных и ряда конструкционных материалов с повышенными значениями твердости, прочности на изгиб, предела выносливости и износостойкости при повышенных температурах, ставит задачу создания наиболее подходящих способов механической обработки и инструментального материала для их эффективной обработки с требуемой точностью и качеством поверхности.

Шлифование кругами, а также, доводка и полировка свободным абразивом являются практически единственными методами обработки деталей из этих материалов. Шлифование связанными абразивными кругами обеспечивает высокую скорость съема материала, но недостаточное качество обработанной поверхности. Доводка дает высокую размерную и геометрическую точность, но имеет низкую производительность и не отвечает современным требованиям к экологии производства.

Растущие требования к точности и качеству поверхности деталей приводят к необходимости совершенствования существующих процессов и оборудования, применяемого в обрабатывающей промышленности.

В свете вышерассмотренного, одновременное получение высокой производительности, характерной для шлифования связанными абразивными кругами, и качества поверхности на уровне доводки свободным абразивом является важной проблемой и обеспечивается предложенным прогрессивным способом алмазного шлифования [1].

Предложенный способ алмазного шлифования предназначен для высокоэффективной обработки плоских поверхностей деталей относительно малых размеров из твердых и хрупких труднообрабатываемых неметаллических материалов. Метод обеспечивает малые значения толщин среза, низкие контактные температуры,

сохраняет точность формы алмазного круга и дает большие значения площади среза. Все это позволяет повысить скорость съема материала и качество шлифованной поверхности. Кинематика способа обеспечивает практически равномерный износ вдоль всей ширины шлифованного круга.

Увеличение ширины торцового шлифовального круга повышает производительность процесса, в то время как равномерный износ алмазного шлифовального круга уменьшает расход алмаза и снижает время и частоту правки круга.

Обрабатываемость материалов изучалась в диапазоне скоростей от 1 до 12 м/с и при давлениях от 30 до 1500 кПа. Были испытаны круги на металлической, керамической и органической связках с размерами зерен 63/50 мкм и менее.

Все выходные параметры – производительность (Q), глубина нарушенного слоя (H) и шероховатость (Ra) поверхности изучались методом планирования эксперимента как функции входных параметров. Для каждого из выходных параметров было построено семейство кривых в зависимости от входных параметров, т. е. скорость (V), давление (P), размер зерна (d), материал связки и процентная концентрация абразивов в круге. На рис. 1 представлены результаты обработки пьезокварца предложенным способом шлифования.

Независимо от материала связки производительность всегда увеличивается с ростом скорости резания и давления. Такой же эффект получен для глубины нарушенного слоя и шероховатости поверхности для испытываемых кругов на металлической (М1) и органической (МО12) связках. Чем выше скорость и давление, тем больше глубина нарушенного слоя.

Размер зерна оказывает большое влияние на все выходные параметры процесса шлифования. Скорость съема материала повышается с увеличе-

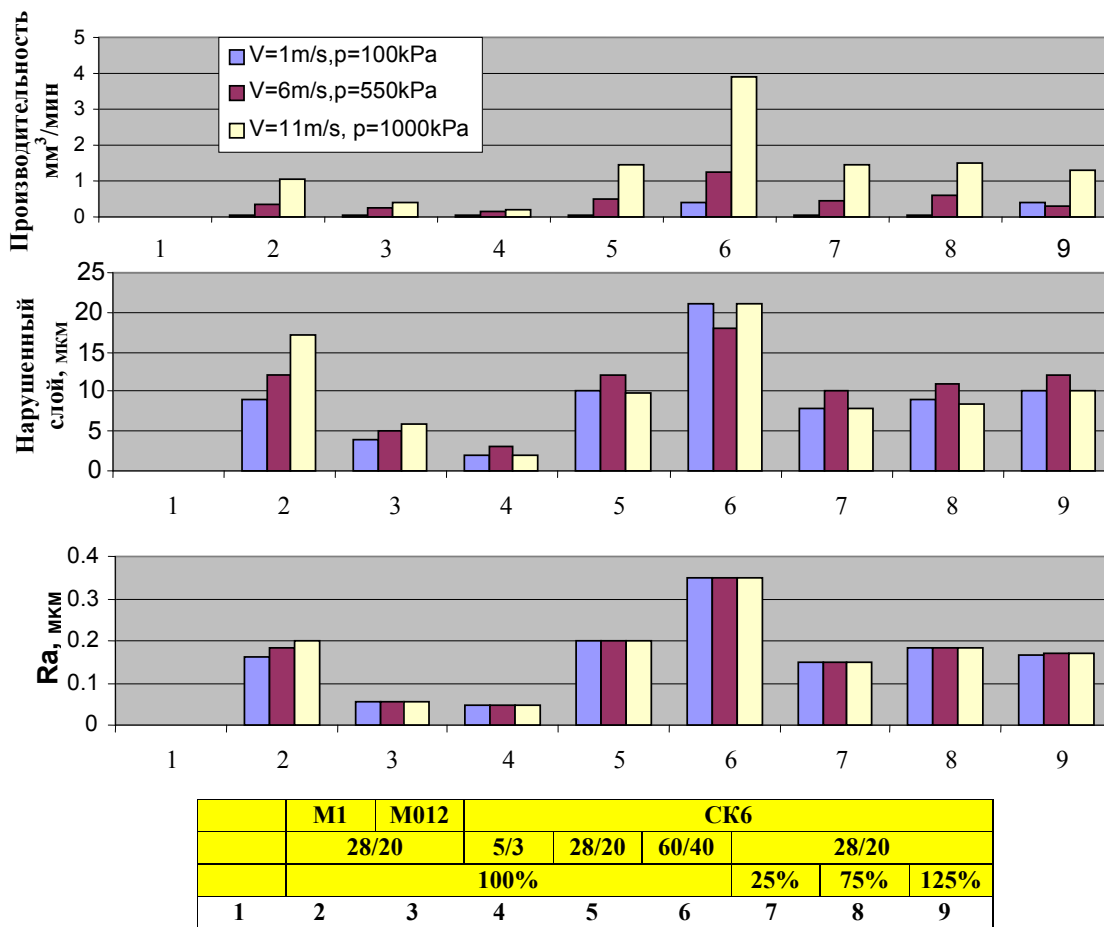


Рис. 1. Скорость съема материала и параметры качества поверхности при обработке пьезокварца методом НПС

нием размеров зерен. Меньшие зерна уменьшают глубину нарушенного слоя и шероховатость поверхности. Качественно такие же результаты были получены для гаммы других исследуемых материалов.

Режимы обработки, скорость съема материала и параметры качества поверхности для гаммы материалов представлены в таблице 1.

Одним из ярких представителей рассматриваемого класса твердых и хрупких неметаллических материалов является искусственный кристалл сапфира, который отличается высокой чистотой по химическому составу, твердостью, износостойкостью и долговечностью при работе в парах трения. В связи с этим кристалл сапфира, как наиболее биосовместимый конструкционный материал с человеческим организмом, является особенно привлекательным для такой области применения, как медицина. Подразумевается применение сапфира в имплантологии, в частности, для изготовления сферической головки эндопротеза тазобедренного сустава человека.

К этим изделиям предъявляются особо высокие требования по точности формы и качеству поверхностей. Однако сапфир является анизот-

ропным материалом, что создает определенные трудности при механической обработке для достижения требуемых высоких уровней точности и качества. Поэтому, экспериментальные исследования влияния анизотропии кристалла сапфира на его обрабатываемость является актуальной проблемой.

В таблицах 2–4 даны результаты экспериментальных исследований по всем выходным параметрам для исследуемых алмазных кругов.

Анализ данных по параметру q показывает, что для всех испытываемых кругов ориентация (0001) характеризуется наименьшей производительностью, чем остальные.

Для всех испытываемых алмазных кругов соотношение значений производительности находится в пределах: $q_{0001}/q_{1010} = 0,25...0,5$.

Разница между ориентациями (1010) и (1012) невелика, соотношение лежит в пределах: $q_{1012}/q_{1010} = 0,75...1$.

На всех ориентациях максимальную производительность показывает алмазный круг на керамической связке СК6, $q = 130...300$ мкм/мин. Также, максимальна величина соотношения: $q_{0001}/q_{1010} = 0,4...0,5$.

Таблица 1 – Режимы обработки, скорость съема материала и параметры качества поверхности

Обрабатываемый материал	Алмазный шлифовальный круг		Режимы		Производительность Q , см ³ /мин	Шероховатость R_z , мкм	Нарушенный слой H , мкм
	Зернистость	Связка	Скорость рез. V , м/с	Давление P , кПа			
Пьезокерамика	28/20	M1	10	300	30	0,39	
	28/20	СК6	10	300	30	0,40	
	28/20	M012	10	300	4	0,29	
Монокристаллы							
Монокристаллический кремний	28/20	M1	10	1000	7	–	–
	–	–	6	550	–	0,34	8...10
	28/20	СК6	10	1000	10	–	–
	–	–	1	100	–	0,47	10...15
	14/10	B1	10	1000	1,6	–	–
	–	–	1	100	–	0,04	1...4
Арсенид галлия	28/20	M012	6	550	1,9	–	–
	–	–	1	100	–	0,30	6...8
Оптическое стекло							
К8	28/20	M1	6	550	1,9	–	–
	–	–	1	100	–	0,5	7,9
	28/20	СК6	6	550	0,8	–	–
	–	–	1	100	–	0,25	–
	28/20	M012	6	550	0,3	–	–
	–	–	1	100	–	0,12	4...6
Твердые сплавы							
ВК8	28/20	M1	6	550	0,4	0,11	–
–	28/20	СК6	6	550	2,2	0,16	–
	28/20	M020	6	550	1,6	0,15	–
–	28/20	M1	6	550	0,8	0,14	–
T15K6	28/20	СК6	6	550	1,5	0,12	–
–	28/20	M020	6	550	2,4	0,18	–
Сверхтвердые композиты							
Композит 05	28/20	СК6	6	1000	0,08	0,18	–
Композит 10	28/20	СК6	6	1000	0,04	0,03	–

Инструмент данной характеристики отличается стабильностью в работе и самозатачиванием. Общая картина влияния V и p на q на кругах других характеристик практически остается неизменной.

Надо отметить, что характеры зависимостей $q = f(V)$ и $q = f(p)$ при обработке сапфира хорошо коррелируют с данными по обработке подобных материалов, например пьезокварца.

Качество поверхности оценивалось высотой неровностей шероховатости поверхности R_z , мкм, относительной опорной длиной профиля на уровне $0,3-tp_{0,3}\%$ и глубиной нарушенного трещиноватого слоя H , мкм.

Размер зерна в значительной степени влияет на R_z , чем концентрация – K . С увеличением d_3 ,

R_z увеличивается в пределах 11,5 класса. При этом на ориентации (0001) R_z имеет наименьшие значения, затем на ориентациях (1012) и (1010).

По этому параметру наилучшие результаты дают круги на органических связках (табл. 2–4). По сравнению с кругами на металлической и керамической связках, R_z имеет на порядок низкие значения. Эта картина сохраняется для всех ориентаций сапфира.

Наилучшие результаты по этим показателям качества поверхности дают круги на органических связках: ВС-11, органическая специальная, tp примерно в 1,5 раза выше, а H – 3...5 раз меньше, чем на кругах с металлическими и керамическими связками.

Скорость съема материала и параметры качества обработанной поверхности при разных ориентациях кристалла сапфира

Таблица 2

№ п/п	Характеристика алмазного инструмента	Ориентация кристалла сапфира			
		{0001}			
		Выходные параметры			
		q , мкм/мин	R_a , мкм	t_p , %	H , мкм
1	АСМ 28/20, МШ-ТО 100 %	55...60	2,5...3	20...25	–
2	АСМ 28/20, СК6 100 %	130...150	2...2,5	20...25	8...10
3	АСМ 28/20, СК6 50 %	120...130	2...2,5	20...25	–
4	АСМ 28/20, ВС-II 100 %	30...35	0,25...0,3	30...35	6...8
5	АСМ 14/10, ВС-11, 100 %	15...20	0,2...0,25	35...40	3...5
6	АСМ 14/10, связка органич. спец. 25 %	5...8	0,15...0,2	40...45	2...3

Таблица 3

№ п/п	Характеристика алмазного инструмента	Ориентация кристалла сапфира			
		{1012}			
		Выходные параметры			
		q , мкм/мин	R_a , мкм	t_p , %	H , мкм
1	АСМ 28/20, МШ-ТО 100%	150...170	3...3,5	15...20	–
2	АСМ 28/20, СК6 100%	230...250	2,5...3	15...20	12...14
3	АСМ 28/20, СК6 50%	180...200	2,5...3	15...20	–
4	АСМ 28/20, ВС-II 100%	100...110	0,8...1	25...30	10...12
5	АСМ 14/10, ВС-11, 100%	35...40	0,6...0,8	30...35	8...10
6	АСМ 14/10, связка органич. спец. 25%	15...20	0,3...0,4	30...35	3...5

Таблица 4

№ п/п	Характеристика алмазного инструмента	Ориентация кристалла сапфира			
		{1010}			
		Выходные параметры			
		q , мкм/мин	R_a , мкм	t_p , %	H , мкм
1	АСМ 28/20, МШ-ТО 100 %	180...200	3...3,5	15...20	–
2	АСМ 28/20, СК6 100 %	280...300	2,5...3	15...20	12...14
3	АСМ 28/20, СК6 50 %	200...220	2,5...3	15...20	–
4	АСМ 28/20, ВС-II 100 %	110...120	1,3...1,5	25...30	10...12
5	АСМ 14/10, ВС-11, 100 %	40...45	0,8...1	30...35	8...10
6	АСМ 14/10, связка органич. спец. 25 %	20...25	0,3...0,4	30...35	3...5

Для изучения морфологии поверхности были сняты микрофотографии на сканирующем электронном микроскопе. Анализ морфологии обработанной поверхности еще раз доказывает правоту вышесказанного.

Круги на керамической и металлической связках дают взрыхленную поверхность со сколами и выколами. Поверхности образцов, обработанных

кругами на органической связке, отличаются строением поверхности (рис. 2). Отчетливо видны следы резания материала путем пластической деформации (снятие мельчайших частиц в виде стружки) вместе с хрупким разрушением материала.

Соотношение площадей участков поверхности, полученных двумя разными механизмами разрушения материала, примерно равно единице.

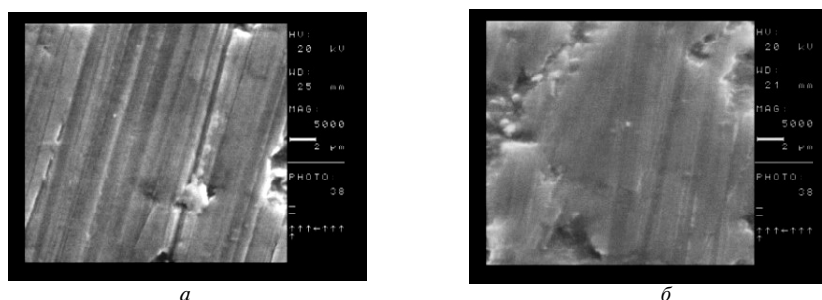


Рис. 2. Микрофотографии поверхностей экспериментальных образцов сапфира:

a – ориентация 0001 алмазный круг – АСМ 14/10, ВС-11, 100 %, режимы резания: $V = 3$ м/с, $P = 750$ кПа;
б – ориентация 1010 алмазный круг – АСМ 14/10, связка ВС-11, 100 %, режимы резания: $V = 3$ м/с, $P = 750$ кПа

Выводы

1. Для каждого исследуемого материала определены оптимальные условия механической обработки по выбранному критерию оптимизации — производительности или параметров качества поверхности.

2. Предложенный прогрессивный способ может заменить трудоемкие и экологически нежелательные операции доводки свободным абразивом в технологическом процессе механической обработки конкретного изделия из исследуемых материалов с достижением как высокой производительности (в десятки раз), так и показателей качества поверхности.

3. Характер влияния факторов процесса шлифования прогрессивным способом (V , P , d_3 , $K\%$, материал связки) на выходные параметры для исследуемых материалов одинаковый.

Список литературы

1. Technological Possibilities of Low-Temperature Precision Grinding Process when Machining

Hard and Brittle Materials / [B. I. Batiashvili, D. S. Butskhrikidze, G. L. Mamulashvili etc.] . Key Engineering Materials. — 2002. — P. 149—156.

2. R. Turmanidze Workability of the Sapphire Crystal of Medical Purpose and Scheme of Formation of Spherical Surface of Increased Precision / [R. Turmanidze, D. Butskhrikidze, M. Beridze]. Fifth international conference «Materials and Coatings for Extreme Performances : Investigations. Applications. Ecologically Safe Technologies for Their Production and Utilization». 22—26 September. — 2008. Big Yalta. Zhukovka. Crimea. Ukraine.

3. Grindability of single crystal sapphire in medical use and the scheme of forming highly precise spherical heads / [R. Turmanidze. O. Mgaloblishvili. D. Butskhrikidze. M. Beridze]. The 66th International Congress of Precision Machining ICPM 2011. Liverpool John Moores University. 13th—15th September 2011. Day 1. Liverpool.

Поступила в редакцию 24.09.2012

Турманідзе Р.С., Буцхрикідзе Д.С., Апціаурі Т.С. Алмазне шліфування надтвердих неметалічних матеріалів ефективним засобом

Було розглянуто проблеми, пов'язані з оброблюваністю твердих і крихких, важкообробляємих неметалічних матеріалів під час шліфування алмазним кругом прогресивним методом і впливу орієнтації сапфірового монокристалу на вихідні параметри обробки.

Ключові слова: алмазне шліфування, сапфір, п'єзокварц, порушений шар, біосумісність.

Turmanidze R., Butskhrikidze D. Aptsiauri T. Efficient diamond grinding of superhard non-metallic materials

The paper considers problems related to machinability of hard and brittle hard-to-machine non-metallic materials during grinding with diamond wheel involving advanced method, and effect of sapphire monocrystal orientation on machining output parameters.

Key words: diamond grinding, piezoquartz, sapphire, disturbed layer, biocompatibility.