

УДК 621.7.09

DOI: 10.35211/1990-5297-2023-1-272-22-25

*А. В. Королев, Д. Н. Охлупин, И. В. Синев, К. А. Авдонин***ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ ПОЛИРОВАНИЯ
НА ШЕРОХОВАТОСТЬ ДЕТАЛЕЙ С АЛМАЗНЫМ ПОКРЫТИЕМ****Саратовский государственный технический университет
имени Ю. А. Гагарина**

E-mail: kirill.avdonin@mail.ru

Рассматриваются результаты проведения экспериментальных исследований процесса механохимического полирования поликристаллического алмазного PVD покрытия деталей типа тел вращения.

Ключевые слова: алмазное покрытие, полирование, шероховатость поверхности, эксперимент, режим обработки.

*A. V. Korolev, D. N. Okhlupin, I. V. Sinyov, K. A. Avdonin***INFLUENCE OF POLISHING MODES FOR THE ROUGHNESS
OF DIAMOND COATED PARTS****Saratov State Technical University named after Yuri Gagarin**

The results of experimental studies of the process of mechanochemical polishing of a polycrystalline diamond PVD coating of parts such as bodies of revolution are considered.

Keywords: diamond coating, polishing, surface roughness, experiment, processing mode.

Введение

В последнее время большое распространение среди ведущих мировых лидеров машиностроительного производства получил метод PVD – вакуумный метод физического нанесения высокопрочного поликристаллического алмазного покрытия из паровой фазы. Недостатком метода является низкая шероховатость поверхности. Поэтому для уменьшения шероховатости поверхность детали должна пройти технологическую операцию полирования.

Полирование поверхности до недавнего времени представляло собой довольно сложную технологическую задачу. Причиной является высокая твердость покрытия. Существующие методы полирования алмаза алмазными пастами [1–3] или сухого полирования в неподвижной абразивной среде [4] не обеспечивают достаточно низкой шероховатости поверхности и производительности. Поэтому на смену им предложены другие методы.

Способ термохимической обработки основан на свойстве алмаза растворяться в переходных металлах под действием температурного фактора. Осуществляется этот способ следующим образом: к плоской обрабатываемой поверхности неподвижной заготовки прижимается вращающийся диск, изготовленный из переходного металла – железа, никеля, титана и других. За счет трения диска с заготовкой в зоне обработки повышается температура, достаточная для осуще-

ствления процесса полирования. Недостатком этого метода является низкая производительность, возможность потери точности обрабатываемой поверхности из-за погрешности взаимного расположения заготовки и инструмента, а также то, что данный метод ограничен обработкой только плоских поверхностей.

Предложенный способ полирования

В качестве развития термохимического метода авторами предложен механо-химический метод полирования поликристаллического алмазного покрытия деталей. Сущность этого метода заключается в том, что обработку поверхности заготовки осуществляют вращающимся инструментом в виде металлической щетки, щетинки которой изготовлены из переходного металла. За счет трения инструмента об обрабатываемую поверхность на поверхности трения возникает температура, достаточная для осуществления термохимического процесса сглаживания микронеровностей. Но, ввиду высокой хрупкости алмазного покрытия, в начале этой обработки наиболее выступающие микронеровности скалываются под действием ударов щетинок инструмента. Отпадает необходимость точной установки взаимного положения заготовки и инструмента, и расширяются технологические возможности способа, так как полирование этим методом можно осуществлять не только плоских поверхностей.

Результаты экспериментальных исследований

Заготовка в виде стержня, изготовленного из твердого сплава с нанесенным на его цилиндрическую поверхность поликристаллическим алмазным покрытием, закрепляется в поворотном устройстве, установленном на столе вертикально-фрезерного станка (рис. 1). В качестве инструмента используется чашечная металлическая щетка, установленная на станке вместо фрезы. Щетка изготовлена из стальной проволоки марки ЗК-7 Б-3-0,5 ГОСТ 9389–75 с закручивающимся узлом и с длиной обрезки 25 мм.



Рис. 1. Фотография установки для полирования поликристаллического алмазного покрытия цилиндрической поверхности

Такая щетка обладает высокой жесткостью. Инструменту придавалось вращение, а заготовка получала вращение и подачу вдоль оси вращения. Экспериментальные исследования данного способа полирования осуществлялись на вертикально-фрезерном станке модели 615П. В качестве экспериментальных образцов были выбраны стержни диаметром 14 мм, изготовленные из вольфрамокобальтового композитного сплава. Поликристаллическое алмазное покрытие типа ta-C Diagog осуществлялось на высокотехнологичной установке DREVA 600 LAM германского производства. Толщина покрытия 2-3 мкм.

Основным контролируемым параметром является шероховатость обрабатываемой поверхности. Шероховатость замерялась профилометром Surftest SJ210 компании Mitutoyo по параметру R_a . На обработанной поверхности измерение проводилось 3 раза. Из трех измерений бралось среднее значение.

Результаты обработки по методике рационального планирования эксперимента 2^{3-1} [9] представлены в таблице. Варьируемыми факторами являлись окружная скорость вращения инструмента, окружная скорость вращения заготовки и поперечная подача инструмента. Продольная подача образца использовалась постоянной, равной 300 мм/мин.

Принятые режимы обработки

Варьируемые факторы эксперимента	Обозначения	Используемые значения факторов	
		Минимальное	Максимальное
Скорость вращения инструмента, м/мин	V_i	110	220
Поперечная подача, мм/дв.ход	t	0,5	1,0
Скорость вращения образца, мм/мин	V_d	200	400

Уравнение регрессии представляло собой линейную зависимости шероховатости поверхности от варьируемых факторов. С принятым уровнем значимости 5 % оценивались: однородность дисперсий по критерию Кохрена, значимость коэффициентов регрессии по крите-

рию Стьюдента, адекватность модели по критерию Фишера.

После обработки результатов эксперимента получена следующая регрессионная зависимость:

$$Ra = 0,17 - 1,5 \cdot 10^{-5} \cdot V_d - 3,1 \cdot 10^{-4} \cdot V_i - 5,1 \cdot 10^{-2} \cdot t,$$

где Ra – среднее арифметическое отклонение профиля поверхности, мкм; V_d – скорость вращения образца, мм/мин; V_i – скорость вращения

инструмента, м/мин; t – величина поперечной подачи инструмента, мм/дв. ход.

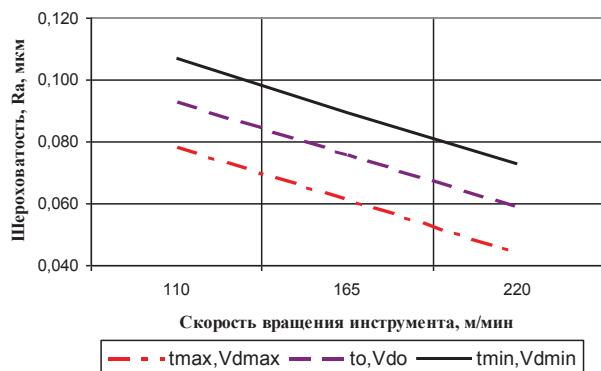


Рис. 2. Влияние на величину среднего арифметического отклонения микропрофиля обработанной поверхности Ra , мкм, скорости вращения инструмента V_i , м/мин, при максимальных, средних и минимальных значениях поперечной подачи инструмента t , мм, и скорости вращения образца V_d , мм/мин

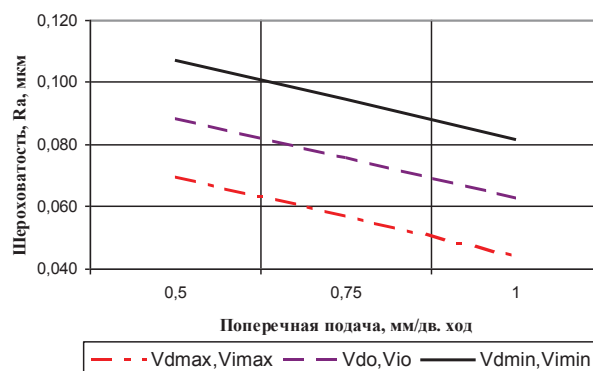


Рис. 3. Влияние на величину среднего арифметического отклонения микропрофиля обработанной поверхности Ra , мкм, скорости величины поперечной подачи инструмента t , мм/дв. ход, V_i , м/мин, при максимальных, средних и минимальных значениях окружной скорости вращения инструмента V_i , м/мин, и окружной скорости вращения образца V_d , мм/мин

Из рис. 2 следует, что при возрастании скорости вращения инструмента шероховатость поверхности уменьшается. Это объясняется тем, что с возрастанием скорости вращения инструмента увеличивается сила удара щетинок металлической щетки о вершины микронеровностей поверхности образца, в результате чего на первом этапе обработки даже более мелкие вершинки микронеровностей подвергаются интенсивному хрупкому разрушению.

На втором этапе обработки требуется меньше времени для осуществления химико-термического полирования поликристаллического алмазного покрытия. Возрастает интенсивность процесса химико-термического полирования, так как с возрастанием скорости вращения инструмента увеличивается температура в зоне трения инструмента с обрабатываемой поверхностью. Это приводит к значительному влиянию скорости вращения инструмента на шероховатость обработанной поверхности поликристаллического алмазного покрытия детали.

Возрастание величины поперечной подачи инструмента и окружной скорости вращения образца также способствует снижению шероховатости обработанной поверхности. Это представлено на рис. 3 и 4.

На рис. 3 показана зависимость шероховатости обработанной поверхности алмазного покрытия от поперечной подачи инструмента. С возрастанием поперечной подачи инструмента шероховатость обработанной поверхности уменьшается. С возрастанием поперечной подачи щетинки инструмента в большей степени упруго деформируются и с большей силой прижимаются к обрабатываемой поверхности.

Это приводит к появлению более жесткого удара щетинок о вершины микронеровностей обрабатываемой поверхности, что обеспечивает более интенсивное скалывание наиболее выступающих вершинок. Возрастает давление щетинок инструмента на обрабатываемую поверхность, что приводит к повышенному трению инструмента с заготовкой и, как следствие, к увеличению значения температуры в зоне обработки. Это способствует повышению интенсивности процесса термохимического полирования поверхности. С увеличением поперечной подачи, как и с увеличением скорости вращения инструмента, на исследуемый процесс обработки оказывают влияние сразу два фактора — механический и термохимический, что приводит к значительному снижению шероховатости.

На рис. 4 представлено влияние скорости вращения образца на шероховатость обработанной поверхности. С увеличением скорости

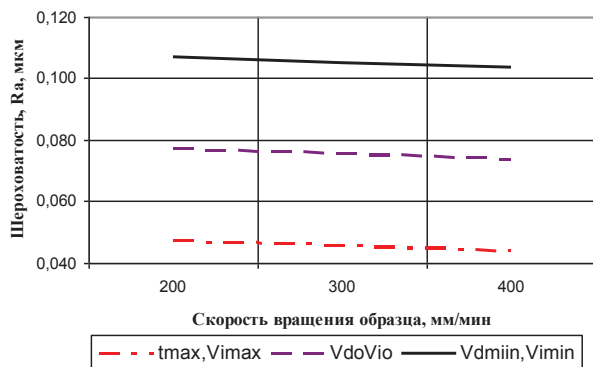


Рис. 4. Зависимость среднего арифметического отклонения микропрофиля Ra , мкм, обработанной поверхности от скорости вращения образца V_d , мм/мин, при различных сочетаниях поперечной подачи инструмента t , мм, и окружной скорости вращения инструмента V_i , м/мин

вращения образца шероховатость обработанной поверхности снижается, но в меньшей степени, чем при возрастании других исследуемых факторов.

Скорость вращения образца существенно меньше, чем скорость вращения инструмента, поэтому она слабо влияет на суммарную скорость взаимодействия инструмента и образца, а, следовательно, на механический и на термохимический факторы снижения шероховатости поверхности.

Для измерения глубины покрытия осуществлялось приготовление микрошлифов. На наклонном столике в тисках закрепляется образец. Между валом двигателя прибора и образцом устанавливается шарик, который под собственным весом воздействует на измеряемую поверхность образца. На шарик наносится алмазная доводочная паста.

Включается вращение вала двигателя прибора. Под действием сил трения получает вращение шарик и постепенно делает на измеряемой поверхности лунку глубиной, превышающей толщину покрытия.

Диаметр шарика выбирается не менее чем на порядок больше глубины создаваемой лунки. Для измерения глубины покрытия использовался микроскоп Olympus BX51.

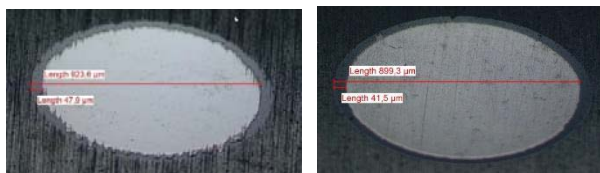


Рис. 5. Фотография микрошлифов: слева – до обработки; справа – после обработки

В окуляре микроскопа видна полученная от трения с шариком эллиптическая лунка, по краям которой виден окрашенный в темный цвет

шлиф алмазного поверхностного слоя. Толщина слоя покрытия вычисляется по формуле:

$$h = \frac{x \cdot y}{2d}$$

где h – толщина покрытия, мм; x – замеренный микроскопом размер микрошлифа покрытия, мм; y – замеренный микроскопом размер микрошлифа основного металла (светлая поверхность), мм; d – диаметр шарика, который использовался при изготовлении микрошлифа, мм.

Выполненные исследования показывают высокую эффективность использования предложенного способа полирования алмазного поликристаллического покрытия.

Заключение

Регулируя режим обработки, можно достигнуть различный уровень шероховатости полированной поверхности. Для достижения минимально возможного значения шероховатости рекомендуется следующий режим обработки: скорость вращения инструмента 220 м/мин, поперечная подача – 1 мм/ дв. ход, скорость вращения заготовки – 400 мм/мин, скорость продольной подачи – 300 мм/мин.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Chen Y., Liu W., Feng H., Zhang L. FAILURE MECHANISMS OF CVD DIAMOND WAFERS AND THIN FILMS DURING POLISHING/ Machining Science and Technology. 2015. Т. 19. № 1. С. 152-173.
2. Filatov Y.D., Sidorko V.I., Kovalev S.V., Vetrov A.G. FORMATION OF FLAT SURFACES OF OPTOELECTRONIC COMPONENTS IN DIAMOND POLISHING. Journal of Superhard Materials. 2017. Т. 39. № 2. С. 129-133.
3. Епифанов, В. И. Технология обработки алмазов в бриллианты / В. И. Епифанов, А. Я. Лесина, Л. В. Зыков. – М. : Высшая школа, 1987.
4. Кирсанов, С. В. Влияние «сухого» полирования твердосплавных образцов на характеристики износостойкого покрытия / С. В. Кирсанов, И. М. Гончаренко, А. С. Бабаев // Справочник. Инженерный журнал, 2013.