

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ШАРЖИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ДОВОДОЧНЫХ ДИСКОВ НАКАТНЫМ РОЛИКОМ С ПРИМЕНЕНИЕМ УЛЬТРАЗВУКА

М. Г. КИСЕЛЕВ, А. В. ДРОЗДОВ, В. Л. ГАБЕЦ

*Учреждение образования «Белорусский национальный
технический университет», г. Минск*

Введение

Операция шаржирования, целью которой является насыщение обрабатываемой поверхности абразивными (алмазными) частицами, широко применяется при производстве различного инструмента. В частности, доводочных плит и планшайб, возможных притиров, а также ограночных и распиловочных дисков, применяемых для обработки твердых и сверхтвердых материалов, в том числе монокристаллов алмаза [1], [2]. Качество выполнения этой операции оценивается режущей (полирующей) способностью полученного на поверхности инструмента абразиво- или алмазосодержащего покрытия, его износостойкостью и шероховатостью обработанной на нем поверхности заготовки.

Достижимый уровень этих показателей определяется следующими основными характеристиками алмазосодержащего покрытия: степенью насыщения шаржированной поверхности алмазными частицами, т. е. количеством внедрившихся в обрабатываемую поверхность частиц, их размером, а также прочностью закрепления в материале поверхностного слоя и их разновысотностью.

Как показали результаты предшествующих исследований [3], [4], эффективным способом повышения качества шаржирования поверхностей абразивными (алмазными) зернами является сообщение деформирующему инструменту (накатному ролику) ультразвуковых колебаний. В частности, установлено, что полученное в этом случае на поверхности металлических образцов алмазосодержащее покрытие по абразивной (режущей) способности и износостойкости существенно превосходит значения аналогичных эксплуатационных показателей у покрытия, сформированного по традиционной технологии. Вместе с тем, для выработки рекомендаций по практическому использованию полученных результатов необходимо располагать экспериментально полученными данными, отражающими целесообразность и эффективность использования предлагаемого способа шаржирования в технологии изготовления конкретного инструмента, в частности, доводочных дисков, повсеместно применяемых для обработки полудрагоценных камней и сверхтвердых материалов.

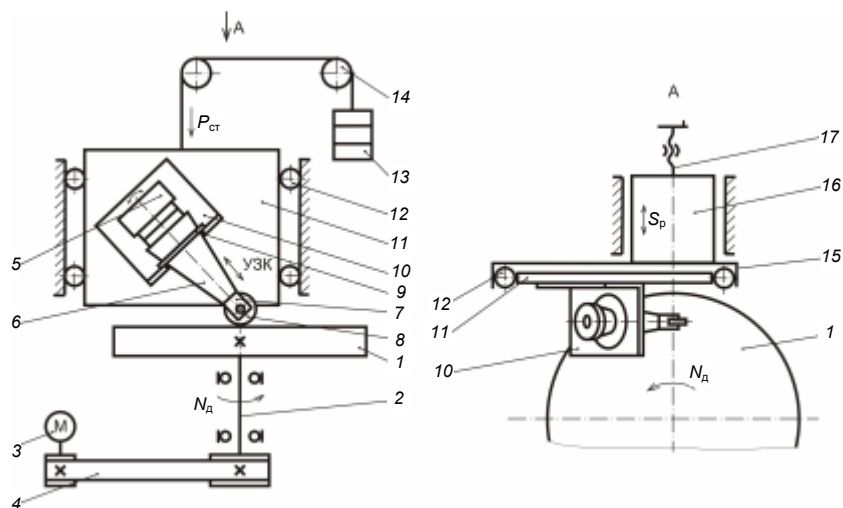
В этой связи цель данной работы заключалась в сравнительной оценке эксплуатационных показателей доводочных дисков (режущая способность, износостойкость и качество обработанной поверхности заготовки), изготовленных с использованием традиционной технологии шаржирования их рабочих поверхностей и с применением энергии ультразвука.

Методика проведения исследований

Объектом исследования служил доводочный диск наружным диаметром 150 мм, толщиной 20 мм, с посадочным отверстием диаметром 32 мм. Изготавливался он из латуни марки ЛС59-1, стали 20, алюминиевого сплава АМц и чугуна СЧ-18.

Для осуществления операции шаржирования их рабочих поверхностей был создан экспериментальный технологический комплекс, включающий настольный доводочный станок модели СУН 3435, оснащенный специально разработанной акустической

укаточной головкой. На рис. 1, *а* представлена схема этого комплекса, а на рис. 1, *б* – фотография его общего вида.



а)



б)

Рис. 1. Принципиальная схема (*а*) и фотография (*б*) общего вида экспериментального технологического комплекса, примененного в исследованиях

Испытуемый диск *1* закрепляется на шпинделе *2* доводочного станка и от электродвигателя постоянного тока *3* (с регулируемой частотой вращения) через клиноременную передачу *4* получает вращательное движение N_d .

Акустическая укаточная головка *5* включает в себя ультразвуковой излучатель, состоящий из пьезокерамического преобразователя продольных колебаний и конического концентратора *6*. На его выходном торце закреплена вилка *7* с осью, на которой с возможностью вращаться установлен накатной ролик *8* с наружным диаметром 22 мм и шириной 6 мм. Он изготавливался из стали У10А и после закалки имел твердость HRC 54–56.

В узловом сечении концентратора выполнен фланец *9*, с помощью которого ультразвуковой излучатель крепится к угловому кронштейну *10*, установленному на

подвижной плите 11 шариковых направляющих 12. За счет имеющихся пазов в плите 11 и угловом кронштейне 10 последний вместе с ультразвуковым излучателем может устанавливаться на плите таким образом, чтобы направление сообщаемых ролику ультразвуковых колебаний относительно вертикальной оси изменялось от 0 до 90°. Система, обеспечивающая статическое прижатие накатного ролика к обрабатываемой поверхности диска, состоит из сменных аттестованных грузов 13, которые посредством трособлочной системы 14 связаны с подвижной плитой 11 шариковых направляющих 12, на которой закреплен ультразвуковой излучатель. Их неподвижная часть 15 установлена на направляющих скольжения типа ласточкин хвост 16, которая посредством передачи винт-гайка 17 имеет возможность перемещаться вместе с акустической укаточной головкой в радиальном направлении (S_p).

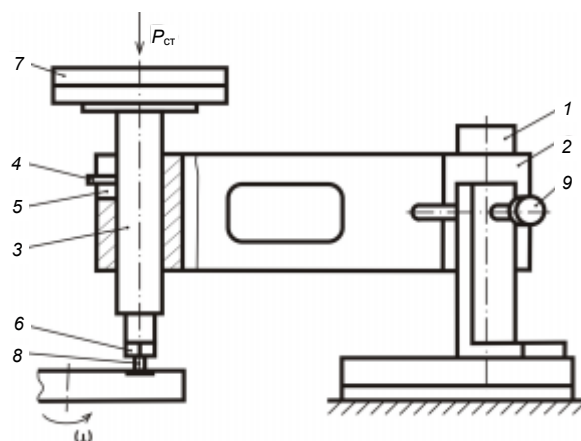
Эксперименты по шаржированию дисков выполнялись в следующей последовательности. На торцовую поверхность закрепленного на шпинделе доводочного станка диска дозировано, в виде капель, равномерно по окружности (8 штук) наносилась алмазная суспензия, состоящая из одной весовой части алмазного микропорошка АСН 20/14 и двух весовых частей касторового масла. Затем с помощью кисточки эти капли растирались, и на поверхности диска формировался равномерный слой алмазной суспензии.

После выполнения этих подготовительных работ непосредственно осуществлялась операция шаржирования поверхности доводочного диска. В одной серии экспериментов она выполнялась в обычных условиях качения накатного ролика, а в другой – при сообщении ему ультразвуковых колебаний частотой 21,8 кГц. При назначении режимов шаржирования руководствовались результатами предшествующих исследований [5], посвященных определению оптимальных режимов обработки, при которых получаемое на поверхности металлических образцов алмазосодержащее покрытие имеет наибольшую режущую способность и износостойкость. Так, шаржирование доводочных дисков в обычных условиях выполнялось при частоте их вращения $N_d = 100 \text{ мин}^{-1}$, статическом усилии прижатия ролика $P_{ст} = 10 \text{ Н}$ и продолжительности обработки $t = 1 \text{ мин}$. При шаржировании с ультразвуком колебания амплитудой 6 мкм сообщались ролику под углом 45° относительно вертикальной оси при его встречном взаимодействии с обрабатываемой поверхностью диска и при $N_d = 100 \text{ мин}^{-1}$, $P_{ст} = 5 \text{ Н}$ и $t = 1 \text{ мин}$. В ходе выполнения операции укаточной головке сообщалось возвратно-поступательное движение подачи в радиальном направлении (два двойных хода в минуту с длиной хода 15 мм). В результате на поверхности доводочного диска формировалась концентрическая дорожка с алмазосодержащим покрытием шириной 15 мм.

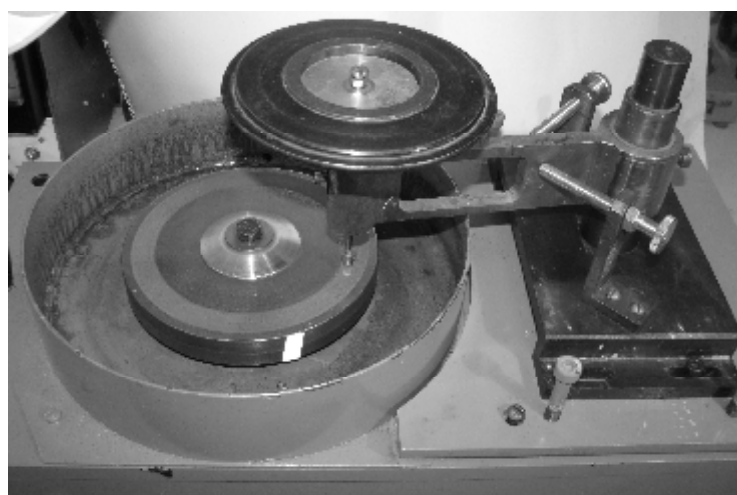
По завершении операции шаржирования с помощью мягкой ветоши, смоченной в ацетоне, с поверхности диска удалялись остатки алмазной суспензии, после чего проводились испытания по определению режущей способности и износостойкости полученного на ней алмазосодержащего покрытия. Режущая способность оценивалась по величине линейного износа корундового образца диаметром 3,5 мм (9 единиц твердости по шкале Мооса), истираемого о шаржированную поверхность диска при неизменном усилии его прижатия, равном 5,5 Н, и постоянной частоте вращения диска 1000 мин^{-1} .

Для проведения этих испытаний было изготовлено специальное приспособление, конструктивное исполнение которого представлено на рис. 2, а, а фотография его общего вида, установленного на доводочном станке, на рис. 2, б. Приспособление состоит из стойки 1 с установленным на ней поворотным кронштейном 2. Его поворот позволяет устанавливать корундовый образец в различных по радиусу диска положениях. В кронштейне выполнено отверстие, в которое по скользящей посадке устанавливается шток 3. Постоянство его углового положения относительно кронштейна обеспечивается с помощью винта 4, перемещающегося по продольному пазу 5 в кронштейне. На нижнем торце штока посредством резьбового соединения закрепляется державка 6 с приклеенным

на ней корундовым образцом 8. На верхнем торце штока предусмотрена площадка, на которой устанавливается аттестованный груз 7, который вместе с весом штока обеспечивает необходимое усилие прижатия корундового образца к испытуемой поверхности доводочного диска. Поворот кронштейна под действием сил трения, возникающих в процессе испытаний, предотвращается с помощью ограничительных винтов 9. Перед проведением экспериментов исходная поверхность корундового образца предварительно прирабатывалась на одной из дорожек доводочного диска.



а)



б)

Рис. 2. Приспособление для проведения испытаний по определению абразивной способности и износостойкости алмазосодержащего покрытия на поверхности доводочного диска:
а – схема конструкции; б – фотография общего вида

Измерение величины линейного износа корундового образца осуществлялось при его неизменном закреплении на штоке с помощью специального приспособления (рис. 3). В нем шток 1 своей торцевой поверхностью (со стороны установки груза) опирается на плоскую установочную поверхность 2 приспособления, а цилиндрической поверхностью он прижимается к установочным поверхностям призмы 3. В таком положении штока с помощью многооборотной измерительной головки 4 (1 МИГ с ценой деления 1 мкм), установленной на стойке 5, измеряется изменение его длины, обусловленное линейным износом корундового образца.

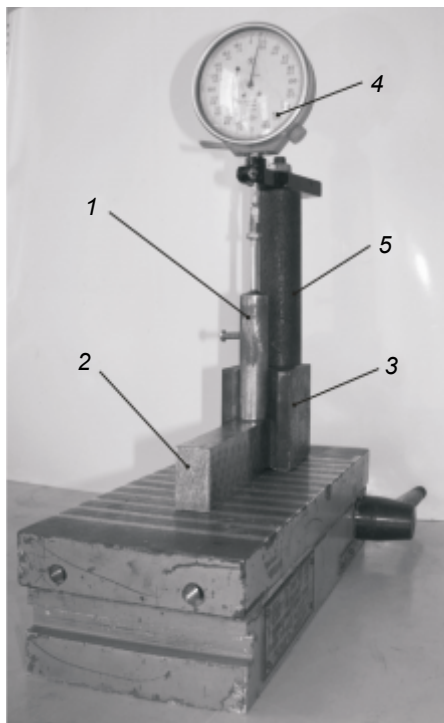


Рис. 3. Фотография измерительного приспособления для определения величины износа корундового образца

За окончательное значение величины линейного износа корундового образца принималось среднее арифметическое результатов пяти экспериментов, полученных при неизменных условиях испытаний. Период стойкости алмазосодержащего покрытия оценивался величиной пути истирания, при котором значение линейного износа корундового образца составляет 10 % от значения, соответствующего начальной стадии процесса.

Результаты экспериментальных исследований и их обсуждение

На рис. 4 представлены зависимости интегрального линейного износа корундового образца от пути S изнашивания при его истирании о поверхность чугунного доводочного диска, шаржированную в обычных условиях (H) и с ультразвуком ($H_{ак}$).

Как видно из рис. 4, при истирании корундового образца о поверхность диска, шаржированную с ультразвуком, величина его линейного износа оказывается выше, чем при истирании о поверхность, шаржированную в обычных условиях. Это свидетельствует о том, что алмазосодержащее покрытие, сформированное на поверхности диска в результате ее шаржирования с ультразвуком, обладает более высокой абразивной (режущей) способностью, чем аналогичное покрытие, полученное в традиционных условиях шаржирования. Помимо этого, алмазосодержащее покрытие, сформированное на поверхности диска с применением ультразвука, обладает большей износостойкостью (период стойкости $T_{ак}$), чем покрытие, полученное шаржированием поверхности диска в обычных условиях (период стойкости T (рис. 4)). Как показали результаты экспериментов, аналогичным образом влияет способ шаржирования с ультразвуком на эксплуатационные показатели алмазосодержащего покрытия, получаемого на поверхностях доводочных дисков, изготовленных из других исследуемых металлов.

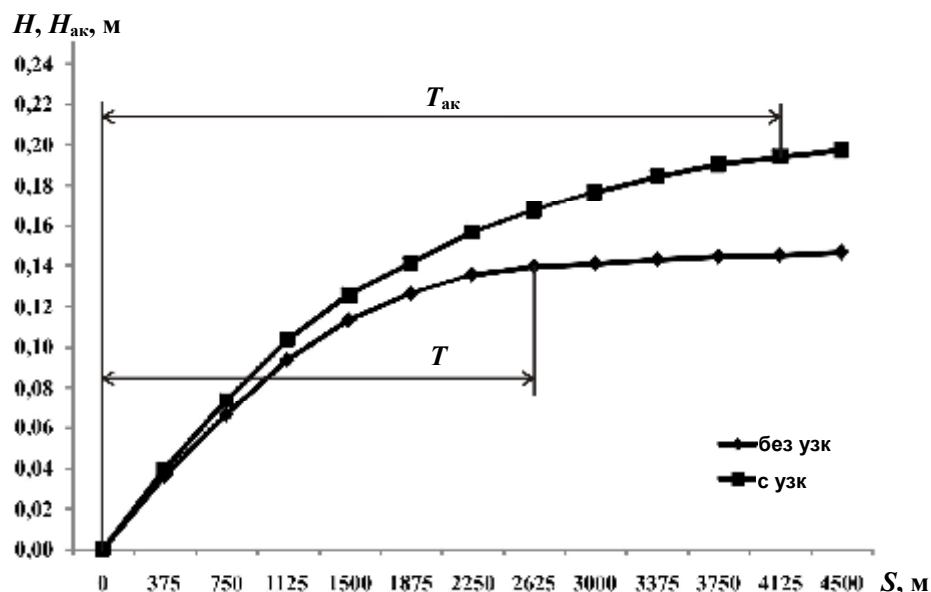


Рис. 4. Зависимость интегрального линейного износа корундового образца от пути его истирания о поверхность чугунного диска, шаржированную накатным роликом в обычных условиях и с ультразвуком

С целью количественной оценки степени влияния ультразвукового шаржирования, на повышение эксплуатационных показателей получаемого на поверхности доводочных дисков алмазосодержащего покрытия воспользуемся соответствующими коэффициентами эффективности

$$\eta_H = \left(1 - \frac{H}{H_{ак}}\right)100 \%, \quad \eta_T = \left(1 - \frac{T}{T_{ак}}\right)100 \%, \quad (1)$$

где H – величина линейного износа корундового образца за период стойкости алмазосодержащего покрытия (T) при истирании о поверхность диска, шаржированную в обычных условиях; $H_{ак}$ и $T_{ак}$ – значения тех же параметров, полученные при истирании о поверхность диска, шаржированную с ультразвуком.

Таким образом, коэффициент η_H характеризует степень влияния ультразвука на повышение режущей способности получаемого на поверхности диска алмазосодержащего покрытия, а коэффициент η_T – его влияние на повышение износостойкости этого покрытия.

В таблице приведены экспериментально полученные значения линейного (за период стойкости покрытия) износа корундового образца и периода стойкости алмазосодержащего покрытия, сформированного на поверхности доводочного диска из различных металлов, путем ее шаржирования в обычных условиях и с применением ультразвука, а также значения коэффициентов эффективности его влияния на повышение этих показателей.

Значения линейного износа корундового образца и периода стойкости алмазосодержащего покрытия, сформированного на поверхности доводочного диска

Материал доводочного диска	Шаржирование в обычных условиях		Шаржирование с ультразвуком		Коэффициент эффективности и применения ультразвука	
	Линейный износ корундового образца	Период стойкости алмазосодержащего покрытия, выраженный	Линейный износ корундового образца	Период стойкости алмазосодержащего покрытия, выраженный	η_H , %	η_T , %

	за период стойкости покрытия, H , мкм	через путь истирания, T , м	за период стойкости покрытия, $H_{ак}$, мкм	через путь истирания, $T_{ак}$, м		
Чугун СЧ-18	0,139	2625	0,194	4125	28,5	36,4
Латунь ЛС59-1	0,128	2250	0,162	3000	21,2	25,0
Сталь 20	0,114	1875	0,138	2250	17,5	16,7
Сплав АМц	0,075	1500	0,096	1875	21,7	20,0

Из анализа этих данных следует, что для всех исследованных материалов доводочного диска шаржирование его рабочей поверхности с ультразвуком обеспечивает формирование на ней алмазосодержащего покрытия, которое по абразивной способности и износостойкости превосходит аналогичные показатели покрытия, полученного в обычных условиях шаржирования. Обращает на себя внимание то обстоятельство, что, независимо от способа шаржирования, наибольшим значением этих показателей обладает алмазосодержащее покрытие, полученное на поверхности чугунного доводочного диска, затем по убывающей идут латунный, стальной и доводочный диск из алюминиевого сплава.

Наибольшее влияние на повышение абразивной способности и износостойкости алмазосодержащего покрытия ультразвук оказывает при шаржировании рабочей поверхности чугунного доводочного диска ($\eta_H = 28,5\%$ и $\eta_T = 36,4\%$), а наименьшее – при шаржировании стального диска ($\eta_H = 17,5\%$ и $\eta_T = 16,7\%$). При шаржировании латунного диска и диска из алюминиевого сплава степень влияния ультразвука на повышение абразивной способности полученного алмазосодержащего покрытия имеет практически одинаковые значения ($\eta_H = 21,2\%$ и $\eta_H = 21,7\%$), но при этом на степень повышения износостойкости покрытия ультразвук оказывает большее влияние при шаржировании латунного диска, чем диска из алюминиевого сплава ($\eta_T = 25\%$ против $\eta_T = 20\%$).

Следовательно, в качестве материала доводочного диска необходимо использовать чугун и латунь, шаржирование рабочих поверхностей которых с ультразвуком обеспечивает формирование на них алмазосодержащего покрытия, обладающего наибольшими значениями, как абразивной способности, так и износостойкости.

Для оценки влияния ультразвукового способа шаржирования доводочного диска на качество обработанной на нем поверхности заготовки была проведена отдельная серия экспериментов. В ходе ее выполнения использовался чугунный диск, одна рабочая сторона которого шаржировалась в традиционных условиях, а вторая – с применением ультразвука. В качестве обрабатываемых заготовок использовались образцы в виде прямоугольного параллелепипеда с квадратным (5×5 мм) сечением обрабатываемой поверхности, изготовленные из стекла M_5 , гранатита (иттриево-алюминиевый оксид) и корунда, имеющие соответственно твердость по шкале Мооса 6, 8 и 9 единиц.

С помощью термоклей образец закреплялся в державке, устанавливался на штоке и посредством аттестованного груза прижимался с постоянным усилием $P_{ст} = 5,5$ Н к шаржированной поверхности диска, установленного на шпинделе доводочного станка. Во всех экспериментах частота его вращения составляла 1000 мин^{-1} , постоянным был радиус дорожки ($R = 65$ мм), на котором осуществлялась обработка образца, продолжительность которой составляла 1 мин.

Измерение шероховатости обработанных поверхностей образцов осуществлялось с помощью профилометра-профилографа модели 252 в направлении, перпендикулярном направлению следов обработки на них.

На рис. 5 представлены экспериментально полученные значения параметра R_a шероховатости поверхности исследуемых образцов, обработанных на чугунном доводочном диске, шаржированном в обычном условии и с ультразвуком.

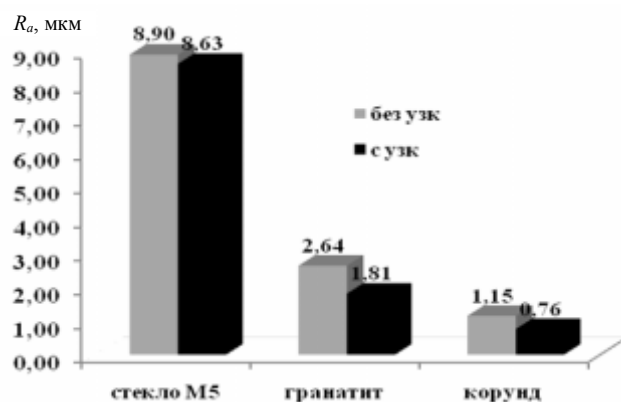
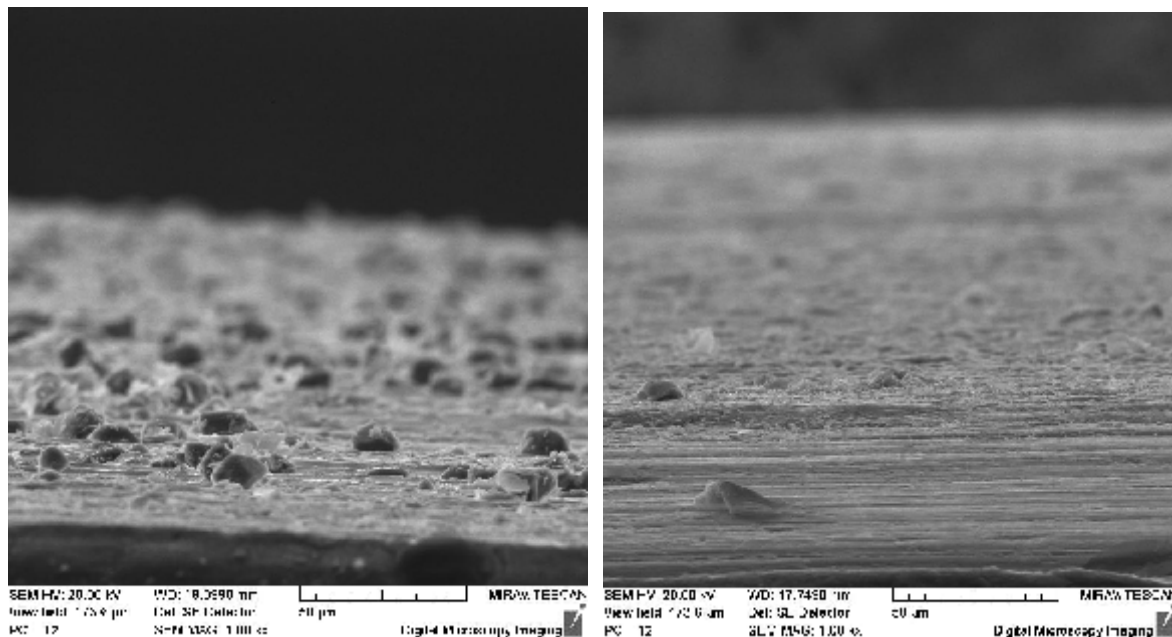


Рис. 5. Значение параметра R_a шероховатости поверхности исследуемых образцов, обработанных на чугунном доводочном диске, шаржированном в обычных условиях и с ультразвуком

Из приведенных данных видно, что во всех случаях использование диска, рабочая поверхность которого шаржирована с ультразвуком, обеспечивает меньшее значение параметра R_a обработанной поверхности образца по сравнению с его значением после обработки на диске, шаржированным в обычных условиях. При этом с повышением твердости образца степень этого снижения возрастает. Так, для корундового образца значение параметра R_a снизилось в 1,51 раза, для гранатита в 1,46 раза, а для стекла M_5 – только в 1,03, т. е. практически не изменилось.

Увеличение абразивной способности и износостойкости алмазосодержащего покрытия, полученного на рабочей поверхности доводочного диска в результате ее шаржирования способом обкатки с ультразвуком в сравнении с шаржированием в обычных условиях, а также повышение качества обработанных поверхностей образцов связано со следующими особенностями формирования такого покрытия при ультразвуковом воздействии.

Благодаря виброударному режиму качения ролика при его встречном взаимодействии с поверхностью доводочного диска значительно облегчаются в сравнении с его традиционным качением условия попадания (втягивания) алмазных зерен в зону шаржирования [5], в результате чего их концентрация в этой зоне оказывается существенно выше, чем в традиционных условиях шаржирования. Последующее внедрение алмазных зерен в материал поверхностного слоя доводочного диска протекает в режиме их виброударного нагружения, приводящего к более интенсивному, чем в обычных условиях шаржирования, их дроблению (разрушению) с одновременным увеличением глубины внедрения алмазных частиц в поверхность диска, а соответственно, и повышению прочности их закрепления в ней. В результате полученное с применением ультразвука покрытие (рис. 6) отличается от сформированного в обычных условиях значительно большим содержанием (концентрацией) в нем алмазных частиц, имеющих меньший размер и обладающих за счет большей глубины их внедрения в материал поверхностного слоя, повышенной прочностью закрепления в нем.



а)

б)

Рис. 6. Фотографии шаржированной поверхности диска:
 а – поверхность, шаржированная с применением ультразвука; б – в обычных условиях

Отмеченные особенности строения алмазосодержащего покрытия, сформированного на поверхности доводочного диска с применением ультразвука, позволяют объяснить повышение ее эксплуатационных показателей по сравнению с поверхностью, шаржированной по традиционной технологии. Так, повышенная концентрация алмазных частиц в покрытии в сочетании с более высокой прочностью их закрепления в нем обуславливают повышение как абразивной способности, так и износостойкости рабочей поверхности доводочного диска. Снижение шероховатости поверхности образцов, обработанных на доводочных дисках, шаржированных с ультразвуком, объясняется тем, что алмазные частицы в покрытии имеют меньший, чем при шаржировании в обычных условиях, размер, вызывая тем самым меньшую глубину воздействия на материал обрабатываемой поверхности.

Заключение

На базе настольного доводочного станка модели СУН 3435, оснащенного специально разработанной акустической укаточной головкой, создан экспериментальный технологический комплекс, позволяющий осуществлять шаржирование рабочих поверхностей доводочных дисков накатным роликом, как в обычных условиях, так и при сообщении ему ультразвуковых колебаний.

Разработана методика проведения экспериментальных исследований, позволяющая производить количественную оценку абразивной (режущей) способности и износостойкости алмазосодержащего покрытия, полученного на рабочих поверхностях доводочных дисков в результате их шаржирования в обычных условиях и с применением ультразвука при оптимальных режимах выполнения операций.

На основании анализа полученных экспериментальных данных установлено, что как при шаржировании в обычных условиях, так и с применением ультразвука из числа исследованных металлов (латунь ЛС59-1, чугун СЧ18, сталь 20, алюминиевый сплав АМц) наибольшими значениями абразивной способности и износостойкости обладает алмазосодержащее покрытие, сформированное на поверхности чугунного диска, меньшими значениями этих параметров характеризуется покрытие, сформированное на поверхности латунного и стального дисков, а покрытие, полученное на поверхности диска

из алюминиевого сплава, имеет наименьшие значения, как абразивной способности, так и износостойкости.

Установлено, что применение в процессе шаржирования ультразвука путем сообщения колебаний накатному ролику позволяет значительно повысить абразивную способность и износостойкость получаемого на поверхности доводочных дисков алмазосодержащего покрытия в сравнении со значениями этих показателей у покрытия, сформированного по традиционной технологии шаржирования. При этом наибольшее влияние на повышение этих показателей алмазосодержащего покрытия ультразвук оказывает при шаржировании рабочей поверхности чугунного доводочного диска ($\eta_H = 28,5\%$ и $\eta_T = 36,4\%$), а наименьшее – при шаржировании стального диска ($\eta_H = 17,5\%$ и $\eta_T = 16,7\%$). При шаржировании латунного диска и диска из алюминиевого сплава степень влияния ультразвука на повышение абразивной способности полученного алмазосодержащего покрытия имеет практически одинаковое значение ($\eta_H = 21,2\%$ и $\eta_H = 21,7\%$), но при этом на степень повышения износостойкости покрытия ультразвук оказывает большее влияние при шаржировании латунного диска, чем диска из алюминиевого сплава ($\eta_T = 25\%$ против $\eta_T = 20\%$).

Установлено, что алмазосодержащее покрытие, полученное на поверхности чугунного доводочного диска путем ее шаржирования с ультразвуком, обеспечивает меньшую шероховатость поверхности обработанных на нем образцов по сравнению с обработанными на покрытии, сформированным в традиционных условиях шаржирования. При этом с уменьшением твердости материала образцов (в единицах твердости по шкале Мооса) степень влияния ультразвука на снижение шероховатости поверхности падает. Так, для корундового образца (9 единиц) значение параметра R_a шероховатости поверхности снизилось в 1,51 раза, для гранатита (8 единиц) – в 1,46 раза, а для стекла M_5 (6 единиц) – только в 1,03 раза, т. е. значение параметра R_a практически не изменилось.

На основании анализа условий протекания процесса шаржирования поверхностей накатным роликом (способом обкатки) при сообщении ему ультразвуковых колебаний выявлены особенности в строении и характеристиках получаемого алмазосодержащего покрытия, обеспечивающие повышение его эксплуатационных показателей по сравнению с покрытием, сформированным при традиционном шаржировании. Так, более высокая концентрация алмазных частиц в покрытии в сочетании с повышенной прочностью их закрепления в нем обуславливают увеличение как абразивной способности, так и износостойкости рабочей поверхности доводочного диска. Благодаря тому, что алмазные частицы в покрытии имеют меньший, чем при шаржировании в обычных условиях размер, они оказывают меньшее по глубине воздействие на материал обрабатываемой поверхности, обуславливая тем самым снижение ее шероховатости.

Литература

1. Епифанов, В. И. Технология обработки алмазов в бриллианты / В. И. Епифанов, А. Я. Лесина, Л. В. Зыков ; под ред. В. И. Епифанова. – М. : Высш. шк., 1987. – 335 с.
2. Киселев, М. Г. Ультразвук в поверхностной обработке материалов / М. Г. Киселев, В. Т. Минченя, В. А. Ибрагимов ; под ред. М. Г. Киселева. – Минск : Тесей, 2001. – 344 с.
3. Повышение качества шаржирования поверхности накатным роликом путем сообщения ему ультразвуковых колебаний / М. Г. Киселев [и др.] // Вестн. Белорус. нац. техн. ун-та. – 2011. – № 4. – С. 5–10.
4. Киселев, М. Г. Влияние направления ультразвуковых колебаний, сообщаемых накатному ролику в процессе шаржирования поверхностей различных металлов, на абразивную способность и износостойкость получаемого на них алмазосодержащего покрытия / М. Г. Киселев, А. В. Дроздов, В. Л. Габец // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2011. – № 3. – С. 47–56.

5. Киселев, М. Г. Влияние направления сообщаемых накатному ролику в процессе шаржирования поверхности ультразвуковых колебаний на абразивную способность и износостойкость получаемого на ней алмазосодержащего покрытия / М. Г. Киселев, А. В. Дроздов, В. Л. Габец // Вестн. Полоц. гос. ун-та. – Сер. В, Пром-сть. Приклад. науки. – 2011. – № 3. – С. 88–94.

Получено 08.12.2011 г.