

---

---

## МЕТАЛЛУРГИЯ. МЕТАЛЛООБРАБОТКА. МАШИНОСТРОЕНИЕ

---

---

УДК 621.937

### ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ШАРЖИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТИ НАКАТНЫМ РОЛИКОМ ПУТЕМ СООБЩЕНИЯ ЕМУ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ

*Докт. техн. наук, проф. КИСЕЛЕВ М. Г., канд. техн. наук, доц. ДРОЗДОВ А. В.,  
инженеры ГАБЕЦ В. Л., ГУРИНОВИЧ М. С.*

*Белорусский национальный технический университет*

Для окончательной доводки (притирки) прецизионных поверхностей деталей машин и приборов используются инструменты, рабочие поверхности которых предварительно шаржированы абразивными (алмазными) частицами. Эти различные притиры, доводочные плиты, а также распиловочные и ограночные диски применяются для обработки твердых и сверхтвердых материалов, включая монокристаллы алмаза [1].

Производительность, точность и качество поверхностей, обработанных с помощью таких инструментов, определяются, в первую очередь, эксплуатационными показателями их рабочих поверхностей, в частности режущей (полирующей) способностью и износостойкостью абразиво- или алмазосодержащего слоя, полученного в результате их шаржирования. Таким образом, уровень этих показателей напрямую определяется качеством шаржирования рабочих поверхностей инструментов. Оно характеризуется количеством и размером внедрившихся в поверхность твердых частиц, характером их распределения на ней и прочностью закрепления в материале основы, а также их разновысотностью.

Операция шаржирования может выполняться двумя принципиально отличными методами: за счет втирания абразивных (алмазных) частиц в обрабатываемую поверхность плоской вращающейся шайбой или путем их вдавливания в нее накатным роликом. В первом случае взаимодействие контактирующих поверхностей протекает в условиях трения скольжения, а во

втором – в условиях трения качения с проскальзыванием.

Результатами предшествующих исследований [2–4] установлено, что путем сообщения накатному ролику ультразвуковых колебаний за счет изменения их направления и интенсивности можно целенаправленно влиять на условия его контактного взаимодействия с поверхностью основания, в частности в широком диапазоне управлять проскальзыванием ролика, а также характером и величиной его силового контактного взаимодействия с поверхностью подвижного основания. За счет этого в процессе шаржирования с ультразвуком создаются более благоприятные условия для интенсивного вдавливания твердых частиц в поверхность основания и закрепления в ней. Исходя из этого закономерно полагать, что по сравнению с шаржированием в обычных условиях сообщение накатному ролику ультразвуковых колебаний позволит повысить качество шаржирования рабочих поверхностей инструментов, а соответственно и эксплуатационные показатели сформированного на них абразиво- или алмазосодержащего покрытия. Вместе с тем сегодня отсутствуют экспериментальные данные, подтверждающие это предположение и позволяющие количественно оценить влияние ультразвуковых колебаний, сообщаемых накатному ролику в процессе шаржирования поверхности, на повышение эксплуатационных показателей полученного на ней абразиво- или алмазосодержащего покрытия.

В этой связи цель данной работы заключалась в количественной оценке влияния ультра-

звуковых колебаний, сообщаемых накатному ролику перпендикулярно шаржируемой поверхности, на режущую способность и стойкость полученного на ней алмазосодержащего покрытия, а также в определении на основании полученных результатов оптимальных режимов шаржирования, обеспечивающих формирование на обработанной поверхности алмазосодержащего покрытия, имеющего наибольшее значение указанных эксплуатационных показателей.

**Методика проведения исследований.** На рис. 1 представлены принципиальная схема и фотография общего вида установки, примененной в исследованиях. Причем она использовалась как при выполнении экспериментов по шаржированию поверхности образцов, так и по определению режущей способности и стойкости полученного на ней алмазосодержащего покрытия.

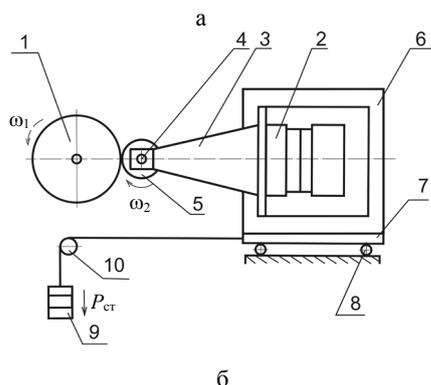


Рис. 1. Принципиальная схема (а) и фотография (б) экспериментальной установки, примененной в исследованиях

Установка состоит (рис. 1а) из узла привода вращения диска-образца, акустической колебательной системы с накатным роликом и системы его прижатия к поверхности диска. Первый узел включает в себя электродвигатель пост-

янного тока (на рисунке он не показан), на валу которого закрепляется диск 1. Частота его вращения регулируется за счет изменения подаваемого на электродвигатель напряжения. Акустическая колебательная система состоит из пьезокерамического ультразвукового преобразователя продольных колебаний 2 с коническим концентратором 3. На его выходном торце закреплена вилка с осью 4, на которой с возможностью вращения установлен накатный ролик 5. В узловом сечении концентратора выполнен фланец, с помощью которого акустическая головка крепится к угловому кронштейну 6, установленному на подвижной плите 7 шариковых направляющих 8, смонтированных на массивном основании установки. Система прижатия накатного ролика к поверхности диска состоит из сменных аттестованных грузов 9, которые с помощью трособлочной системы 10 связаны с подвижной плитой, на которой закреплена акустическая головка.

При проведении экспериментов по шаржированию использовались диски диаметром 88 мм и толщиной 5 мм, изготовленные из латуни марки Л62. Накатной ролик изготавливался из углеродистой стали У10А диаметром 22 мм и шириной 6 мм, после закалки он имел твердость HRC 58–60. Предварительно на боковую поверхность дисков с помощью краски наносилась радиально направленная метка, которая использовалась для измерения частоты вращения диска с помощью стробоскопического тахометра (Testo 476), а также служила координатой при определении величины линейного износа образца.

Эксперименты по шаржированию выполнялись в такой последовательности. Обрабатываемый диск с помощью фланцев и гайки закрепляли на валу электродвигателя. Затем на его цилиндрическую поверхность дозированно – в виде капель равномерно по окружности (4 шт.) наносили алмазную суспензию, состоящую из одной весовой части алмазного микропорошка АСН20/14 и двух весовых частей касторового масла. После этого с помощью кисточки капли растирались и на поверхности диска формировался равномерный слой алмазной суспензии.

Затем на принятых режимах осуществлялось шаржирование поверхности диска в те-

чение 1 мин. В одной серии экспериментов оно проводилось в обычных условиях, а в другой – при сообщении ролику ультразвуковых колебаний частотой 22 кГц.

В ходе выполнения этих экспериментов варьировались следующие параметры режима шаржирования: частота вращения диска  $N_d$  – от 60 до 140 мин<sup>-1</sup>; величина статического усилия прижатия ролика к поверхности диска  $P_{ст}$  – от 5 до 20 Н; амплитуда ультразвуковых колебаний выходного торца концентратора  $A_0$  – от 2 до 8 мкм.

По завершении операции шаржирования с помощью мягкой ветоши с поверхности диска удаляли остатки алмазной суспензии, после чего проводили испытания по определению абразивной (режущей) способности и стойкости полученного на ней алмазосодержащего покрытия. Значение первого показателя оценивали по величине линейного износа корундового образца, истираемого о шаржированную поверхность диска за определенное время при неизменной частоте его вращения (100 мин<sup>-1</sup>) и постоянном усилии прижатия образца к испытываемой поверхности. Усилие, с которым образец прижимался к поверхности диска, во всех экспериментах было постоянным и соответствовало измерительному усилию, создаваемому пружиной многооборотного индикатора.

Для этого установка оснащалась следующими приспособлениями и средствами измерения (рис. 2).

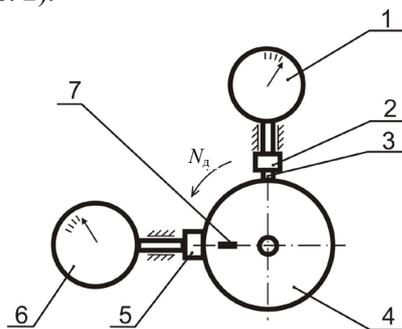


Рис. 2. Схема измерения величины линейного износа корундового образца

На стойке в вертикальном положении закрепляли измерительную головку 1 (МИГ-1) с ценой деления 0,001 мм. На нижнем конце штока головки вместо измерительного наконечника устанавливали державку 2 с корундовым образцом 3.

В процессе истирания происходит износ как корундового образца, так и поверхности диска, в результате чего показания измерительной головки представляют собой сумму величин износа этих элементов трущейся пары. Для того чтобы определить величину именно линейного износа корундового образца, характеризующую режущую способность сформированного алмазосодержащего покрытия, использовали дополнительную измерительную головку 6. С помощью магнитной стойки она закреплялась в горизонтальном положении, и ее плоский измерительный наконечник 5 контактировал с поверхностью диска 4 при отсутствии его вращения (во время истирания измерительный наконечник отводился). Чтобы исключить влияние радиального биения диска на результат измерений во всех случаях, они выполнялись напротив метки 7, нанесенной на его боковой поверхности. Величина линейного износа корундового образца определялась как разность показаний измерительной головки, на которой он установлен, и головки, фиксирующей износ поверхности диска. За окончательное значение этого параметра принимали среднее арифметическое результатов пяти экспериментов, полученных при неизменных условиях шаржирования. Период стойкости алмазосодержащего покрытия оценивался продолжительностью истирания, при которой величина линейного износа корундового образца составляла 10 % от ее значения, соответствующего начальной стадии процесса.

С целью количественной оценки степени влияния ультразвуковых колебаний на повышение эксплуатационных показателей получаемого в результате шаржирования поверхности диска алмазосодержащего покрытия использовали коэффициенты эффективности их воздействия на повышение его режущей способности  $\eta_n$  и стойкости  $\eta_T$ , численные значения которых определяются следующим образом:

$$\eta_n = \left(1 - \frac{H}{H_{ак}}\right) \cdot 100 \%;$$

$$\eta_T = \left(1 - \frac{T}{T_{ак}}\right) \cdot 100 \%,$$

где  $H$ ,  $T$  – соответственно величины линейного износа корундового образца и периода стойко-

сти алмазосодержащего покрытия, полученные при истирании о поверхность диска, шаржированную в обычных условиях;  $H_{ак}$ ,  $T_{ак}$  – значения тех же параметров, полученные при истирании образца о поверхность диска, шаржированную с применением ультразвуковых колебаний.

**Результаты экспериментальных исследований.** На рис. 3 приведена зависимость интегрального линейного износа корундового образца от продолжительности его истирания о поверхность диска, шаржированную в обычных условиях и при сообщении накатному ролику ультразвуковых колебаний.

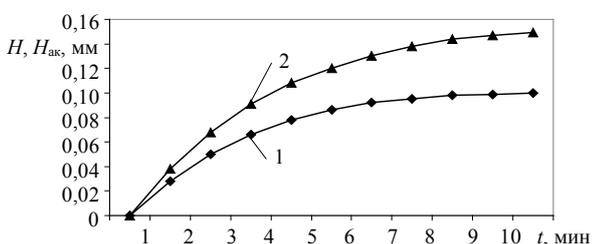


Рис. 3. Зависимости интегрального линейного износа корундового образца от продолжительности истирания о поверхность диска, шаржированную в обычных условиях и с ультразвуком:  $N_d = 100 \text{ мин}^{-1}$ ;  $P_{ст} = 5 \text{ Н}$ ;  $A_0 = 6 \text{ мкм}$ ; 1 – без УЗК; 2 – с УЗК

Из представленных данных следует, что алмазосодержащее покрытие, полученное на поверхности диска при ее шаржировании с ультразвуком, превосходит как по абразивной (режущей) способности, так и по периоду стойкости покрытие, сформированное при шаржировании в обычных условиях.

По мере увеличения продолжительности истирания корундового образца степень влияния ультразвука на повышение абразивной способности полученного алмазосодержащего покрытия несколько возрастает. Так, при  $t = 1 \text{ мин}$  значение коэффициента  $\eta_n$  составило 26 %, при  $t = 5 \text{ мин}$   $\eta_n = 29 \%$ , а при  $t = 10 \text{ мин}$   $\eta_n = 32 \%$ . Период стойкости алмазосодержащего покрытия  $T$ , полученного после шаржирования поверхности диска в обычных условиях, составил 7 мин, а у покрытия, сформированного с применением ультразвука, значение этого параметра  $T_{ак}$  достигло 9 мин. Значение коэффициента  $\eta_T$ , характеризующего степень влияния ультразвука на повышение периода стойкости полученного алмазосодержащего покрытия, составило 22 %.

На рис. 4 представлены зависимости величины линейного износа корундового образца, истираемого в течение 10 мин о поверхность диска, шаржированную как в обычных условиях, так и с ультразвуком при различных значениях частоты его вращения.

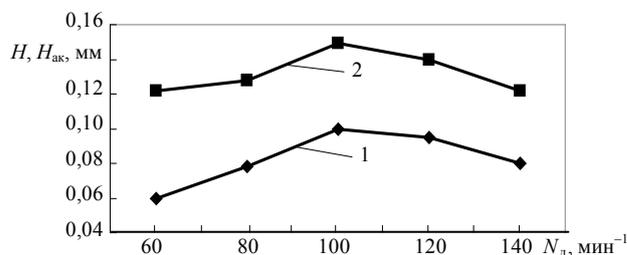


Рис. 4. Зависимости величины линейного износа корундового образца, истираемого о поверхность диска, шаржированную в обычных условиях и с ультразвуком при различной частоте его вращения:  $P_{ст} = 5 \text{ Н}$ ;  $A_0 = 6 \text{ мкм}$ ;

$t = 10 \text{ мин}$ ; 1 – без УЗК; 2 – с УЗК

Из них видно, что по мере увеличения частоты вращения диска (начиная с  $N_d = 60 \text{ мин}^{-1}$ ) при шаржировании его поверхности как в обычных условиях, так и с ультразвуком абразивная способность получаемых на ней алмазосодержащих покрытий возрастает, достигая максимального значения при  $N_d = 100 \text{ мин}^{-1}$ , а затем она снижается. Для частоты вращения диска  $100 \text{ мин}^{-1}$  значения коэффициентов  $\eta_n$  и  $\eta_T$  соответственно составили 33 и 23 %.

На рис. 5 представлены зависимости линейного износа корундового образца, истираемого и поверхность диска, шаржированную в обычных условиях и с ультразвуком при различном статическом усилии прижатия к ней накатного ролика.

Как видно из представленных данных, при шаржировании поверхности диска в обычных условиях абразивная способность полученного алмазосодержащего покрытия имеет наибольшее значение при усилии прижатия ролика  $P_{ст} = 10 \text{ Н}$ . С изменением  $P_{ст}$  от этого значения в меньшую или большую сторону влечет за собой снижение величины указанного параметра алмазосодержащего покрытия. Таким образом, на основе полученных экспериментальных данных можно определить оптимальные режимы шаржирования поверхности диска в обычных условиях ( $N_d = 100 \text{ мин}^{-1}$ ;  $P_{ст} = 10 \text{ Н}$ ), при которых получаемое на ней алмазосодержащее

покрытие имеет наибольшую режущую способность и период стойкости. При шаржировании с ультразвуком наибольшую абразивную способность имеет алмазосодержащее покрытие, полученное при статическом усилии прижатия ролика, равном 5 Н. С увеличением  $P_{ст}$  вплоть до значения 20 Н абразивная способность полученного алмазосодержащего покрытия снижается. При этом значения коэффициентов  $\eta_n$  и  $\eta_T$ , рассчитанные по наибольшим значениям  $H$  и  $H_{ак}$ , соответственно составили 29 и 20 %.

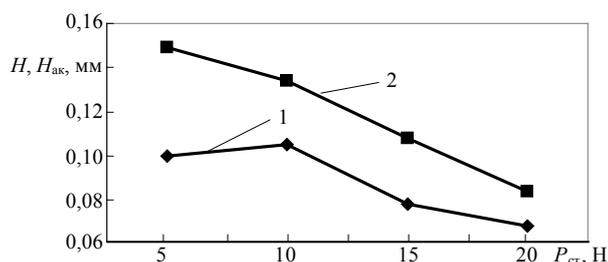


Рис. 5. Зависимости величины линейного износа корундового образца, истираемого о поверхность диска, шаржированную в обычных условиях и с ультразвуком при различном статическом усилии прижатия накатного ролика:  $N_d = 100 \text{ мин}^{-1}$ ;  $A_0 = 6 \text{ мкм}$ ;  $t = 10 \text{ мин}$ ; 1 – без УЗК; 2 – с УЗК

Влияние амплитуды ультразвуковых колебаний, сообщаемых накатному ролику в процессе шаржирования поверхности диска, на абразивную способность полученного алмазосодержащего покрытия и на период его стойкости отражают данные, представленные на рис. 6.

Из них следует, что наибольшее значение как режущей способности, так и периода стойкости имеет алмазосодержащее покрытие, полученное на поверхности диска после ее шаржирования с ультразвуком при амплитуде колебаний 6 мкм. Исходя из этого, а также с учетом ранее приведенных зависимостей можно определить оптимальные параметры режима шаржирования поверхности диска с ультразвуком (статическое усилие прижатия накатного ролика к шаржируемой поверхности диска – 5 Н; частота вращения диска –  $100 \text{ мин}^{-1}$ ; амплитуда ультразвуковых колебаний 6 мкм при их частоте 22 кГц; продолжительность шаржирования – 1 мин), обеспечивающие получение на ней алмазосодержащего покрытия, которое по режущей способности и периоду стойкости превышает

наибольшие значения этих показателей у покрытия, сформированного в обычных условиях шаржирования, соответственно в 1,41 и 1,29 раза.

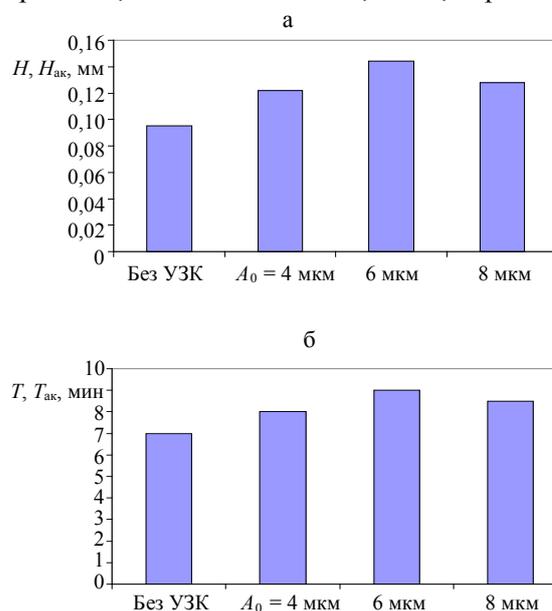


Рис. 6. Диаграммы зависимости абразивной способности алмазосодержащего покрытия (а) и периода его стойкости (б), полученного после шаржирования поверхности диска в обычных условиях на оптимальных режимах и с ультразвуком при различной амплитуде колебаний:  $N_d = 100 \text{ мин}^{-1}$ ;  $P_{ст} = 5 \text{ Н}$ ;  $t = 10 \text{ мин}$

## ВЫВОДЫ

На основе обобщенного анализа полученных результатов можно сформулировать следующие основные положения и выводы выполненных исследований.

1. Создана оригинальная установка и разработана методика проведения экспериментальных исследований, позволяющие на первом этапе их выполнения осуществлять шаржирование поверхности образца алмазными (абразивными) зернами методом обкатки как в обычных условиях, так и при сообщении накатному ролику ультразвуковых колебаний, а на втором – провести испытания сформированного на ней алмазосодержащего покрытия с количественной оценкой его абразивной (режущей) способности и износостойкости.

2. Получены экспериментальные зависимости, отражающие влияние технологических (усилие прижима ролика к поверхности диска, частота его вращения) и акустических (ампли-

туда колебаний) параметров на абразивную способность и период стойкости алмазосодержащего покрытия, испытания сформированного на поверхности диска при его шаржировании в обычных условиях и с ультразвуком, позволившие количественно оценить влияние ультразвуковых колебаний на значение этих показателей.

3. На основе анализа результатов экспериментальных исследований установлены оптимальные параметры режима шаржирования поверхности диска с ультразвуком (статическое усилие прижатия – 5 Н; частота вращения диска – 100 мин<sup>-1</sup>; амплитуда ультразвуковых колебаний – 6 мкм при частоте 22 кГц; продолжительность шаржирования – 1 мин), обеспечивающие получение на ней алмазосодержащего покрытия, которое по режущей способности и периоду стойкости превышает наибольшее значение этих показателей у покрытия, сформированного в обычных условиях, соответственно в 1,41 и 1,29 раза.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. **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.
2. **Влияние** ультразвукового воздействия на условия контактного взаимодействия накатного ролика с обрабатываемой поверхностью / М. Г. Киселев [и др.] // Вестник Полоцкого государственного университета. – 2009. – № 2. – С. 63–71.
3. **Теоретическая** оценка влияния ультразвуковых колебаний, сообщаемых ролику вдоль горизонтальной оси, на параметры его вращательного движения при взаимодействии с подвижным основанием / М. Г. Киселев [и др.] // Вестник Гомельского государственного технического университета имени П. О. Сухого. – 2009. – № 2. – С. 54–63.
4. **Влияние** ультразвуковых колебаний, сообщаемых накатному ролику под углом, на условия его контактного взаимодействия с подвижным основанием / М. Г. Киселев [и др.] // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2009. – № 3. – С. 96–109.

Поступила 17.01.2011

УДК 621:001.895

## ПЕРСПЕКТИВЫ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ МАТЕРИАЛОВ И МЕТОД СОЗДАНИЯ НАНОКЛАСТЕРНОГО КОМПОЗИТА

*Докт. техн. наук, проф. ЖЕТЕСОВА Г. С., магистрант ИСКАКОВ Б. К.*

*Карагандинский государственный технический университет (Республика Казахстан)*

Создание наноструктурированных композиционных материалов сегодня является одной из наиболее востребованных, но в то же время наименее изученных областей нанотехнологии. Успешная реализация первоочередных задач по этому направлению требует проведения комплексных исследований по широкому спектру нанотехнологий, находящихся в настоящее время на разных периодах освоения. Развитие технологий, связанных с исследованием, созданием и использованием наноматериалов, в ближайшие годы приведет к кардинальным из-

менениям во многих сферах человеческой деятельности – в электронике, информатике, энергетике, машиностроении, биологии и т. д.

Наноструктурированные композиционные материалы и наносистемы представляют собой комплекс научно-технических проблем, решение которых должно быть направлено не только на изучение масштабного фактора (уменьшение величины частиц, элементов или структур), но и на исследование принципиально новых явлений, присущих наномасштабу. Создание наноструктурированных композицион-