

БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

УДК 621.922.025.048.6

**ГАБЕЦ**  
**Вячеслав Леонидович**

**ТЕХНОЛОГИЯ ФОРМИРОВАНИЯ АЛМАЗОСОДЕРЖАЩЕГО  
ПОКРЫТИЯ НА ДОВОДОЧНЫХ ДИСКАХ НАКАТНЫМ  
РОЛИКОМ С УЛЬТРАЗВУКОМ**

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук  
по специальности 05.02.07 – Технология и оборудование механической  
и физико-технической обработки

Минск 2013

Работа выполнена в Белорусском национальном техническом университете

Научный руководитель

**Киселев Михаил Григорьевич**, заслуженный работник образования Республики Беларусь, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Конструирование и производство приборов», Белорусский национальный технический университет

Официальные оппоненты:

**Рубаник Василий Васильевич**, доктор технических наук, доцент, директор ГНУ «Институт технической акустики Национальной академии наук Беларуси»;

**Жорник Виктор Иванович**, доктор технических наук, доцент, заместитель начальника отделения технологий машиностроения и металлургии Объединенного института машиностроения НАН Беларуси

Оппонирующая организация –

ГНУ «Физико-технический институт НАН Беларуси»

Защита состоится «29» марта 2013 г. в 14.00 на заседании совета по защите диссертаций Д 02.05.03 при Белорусском национальном техническом университете по адресу: 220013, г. Минск, проспект Независимости 65, корп. 1, ауд. 202, тел. ученого секретаря 292-24-04.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Белорусского национального технического университета.

Автореферат разослан «27» февраля 2013 г.

Ученый секретарь совета  
по защите диссертаций,  
доктор технических наук, профессор

\_\_\_\_\_ Девоино О.Г.

© Габец В.Л., 2013

© Белорусский национальный  
технический университет, 2013

## КРАТКОЕ ВВЕДЕНИЕ

Для окончательной доводки (притирки) поверхностей заготовок из драгоценных и поделочных камней, кристаллов, стекла, ситаллов, керамики, твердых и сверхтвердых материалов широко применяются доводочные диски, рабочие поверхности которых имеют алмазосодержащее покрытие, полученное различными методами. В частности, применяемые для этого методы гальваностегии и порошковой металлургии имеют серьезные недостатки и ограничения: высокую энергоемкость, экологическую вредность, большие временные затраты на технологический процесс получения инструмента и значительные трудности при его правке. От этих недостатков в значительной мере свободен метод, получивший название метод *шаржирования*, основанный на насыщении поверхности абразивными (алмазными) частицами за счет их механического внедрения и закрепления в ней, простой в реализации и не оказывающий неблагоприятного воздействия на окружающую среду. Одно из направлений повышения эффективности этого метода связано с применением энергии ультразвука путем сообщения колебаний деформирующему инструменту (вращающейся шайбе или конусу), взаимодействие которого с обрабатываемой поверхностью протекает в условиях трения скольжения. Вместе с тем с точки зрения расширения управляющего влияния ультразвука на процессы, протекающие при шаржировании, перспективным представляется использование в качестве деформирующего инструмента накатного ролика, когда его взаимодействие с обрабатываемой поверхностью реализуется в условиях трения качения. Однако на сегодня отсутствуют систематизированные научные данные о влиянии сообщаемых ролику ультразвуковых колебаний на условия формирования алмазосодержащего покрытия и уровень его эксплуатационных показателей (абразивная способность, износостойкость и качество обработанных на нем поверхностей заготовок). В этой связи исследование основных процессов, протекающих при формировании алмазосодержащего покрытия накатным роликом с ультразвуком, разработка соответствующей технологии шаржирования доводочных дисков, обеспечивающей повышение их эксплуатационных показателей, представляют собой актуальные научно-практические задачи, направленные на повышение производительности и качества выполнения технологических операций притирки и доводки поверхностей, которые широко применяются на машино- и приборостроительных предприятиях Республики Беларусь.

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

### **Связь работы с крупными научными программами (проектами) и темами**

Ряд результатов, составляющих содержание данной диссертационной работы, получен в рамках выполнения заданий государственной программы ориентированных фундаментальных научных исследований «Высокоэнергетические, ядерные и радиационные технологии» ГБ 06-24 «Исследование влияния интенсивных акустических полей на процесс формообразования изделий из труднообрабатываемых материалов и разработка высокоинтенсивных технологий их обработки» (№ ГР 20063033, сроки выполнения 2006–2010 гг.), а также в рамках заданий государственной программы «Функциональные и машиностроительные материалы, наноматериалы», подпрограммы «Высокоэнергетические технологии» по ГБ 11-93 «Исследование влияния виброударного воздействия, совмещенных процессов скоростного выдавливания и плакирования, разработка процессов формирования высокоэффективных покрытий инструмента и изготовления деталей штамповой оснастки» (№ ГР 20113217, сроки выполнения 2011–2012 гг.).

### **Цель и задачи исследования**

Целью диссертационной работы является разработка технологии формирования алмазосодержащего покрытия на доводочных дисках путем шаржирования накатным роликом с ультразвуком, обеспечивающей повышение эксплуатационных показателей изготавливаемых инструментов, включая абразивную способность, износостойкость и качество обработанных поверхностей заготовок.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. Разработать и исследовать математические и физические модели основных процессов, протекающих при формировании алмазосодержащего покрытия на рабочей поверхности доводочного диска при ее шаржировании накатным роликом с ультразвуком.
2. Выявить положительные эффекты, связанные с применением ультразвука при шаржировании поверхности накатным роликом, которые позволяют управлять процессом формирования алмазосодержащего покрытия, с целью повышения его эксплуатационных показателей.
3. Разработать методику проведения экспериментальных исследований по оценке влияния параметров режима шаржирования поверхности образцов накатным роликом с ультразвуком на абразивную способность и износостойкость полученного на ней алмазосодержащего покрытия.
4. Провести сравнительные экспериментальные исследования процесса формирования алмазосодержащего покрытия на поверхности образцов из раз-

личных металлов путем ее шаржирования накатным роликом в обычных условиях (без использования ультразвуковых колебаний) и с применением ультразвука, по результатам которых установить рациональные значения акустических и технологических параметров режима шаржирования, обеспечивающих наибольшее повышение абразивной способности и износостойкости сформированного покрытия по сравнению с покрытием, полученным по традиционной технологии.

5. Разработать технологический процесс, создать оборудование для шаржирования поверхности доводочных дисков накатным роликом с ультразвуком, провести их промышленные испытания и внедрить результаты работы в производство.

Объектом исследования являются инструменты – доводочные диски, используемые при финишной обработке поверхностей заготовок из драгоценных и поделочных камней, стекла, ситаллов, керамики и других материалов.

Предметом исследования является процесс формирования алмазосодержащего покрытия на рабочей поверхности доводочного диска путем ее шаржирования накатным роликом с ультразвуком.

#### **Положения, выносимые на защиту:**

1. Результаты математического и физического моделирования процесса контактного взаимодействия накатного ролика с обрабатываемой поверхностью, протекающего при формировании на ней алмазосодержащего покрытия путем шаржирования накатным роликом с ультразвуком, учитывающие направление и интенсивность колебаний, радиус ролика, статическое усилие его прижатия к обрабатываемой поверхности и скорость ее перемещения, позволяющие установить закономерности их влияния на кинематику и динамику взаимодействия ролика с шаржируемой поверхностью.

2. Результаты математического и физического моделирования процессов контактного взаимодействия алмазного зерна с поверхностями подвижного основания и накатного ролика с ультразвуком как на стадии его попадания в зону обработки, так и последующего внедрения в шаржируемую поверхность, учитывающие амплитуду и частоту сообщаемых ролику колебаний, его радиус, скорость перемещения основания, размеры индентора и позволяющие установить условия гарантированного попадания алмазного зерна в зону обработки и глубину его последующего внедрения в материал поверхностного слоя.

3. Результаты экспериментальных исследований влияния акустических и технологических параметров процесса шаржирования поверхностей образцов из различных металлов (чугун СЧ18, латунь Л62, сталь Ст3, алюминиевый сплав Д16Т) на эксплуатационные показатели получаемого алмазосодержащего покрытия, на основании которых определены материалы, покрытие на которых

обладает наибольшими значениями абразивной способности и износостойкости.

4. Результаты экспериментальных исследований влияния режимов шаржирования накатным роликом в обычных условиях и с использованием ультразвука на эксплуатационные показатели алмазосодержащего покрытия и установленные на их основе рациональные значения области параметров режима шаржирования, обеспечивающих наибольшее повышение абразивной способности и износостойкости сформированного покрытия по сравнению с покрытием, полученным в обычных условиях выполнения операции, что позволило разработать технологический процесс и создать оборудование для шаржирования рабочих поверхностей доводочных дисков накатным роликом с ультразвуком.

#### **Личный вклад соискателя**

Основные научные и практические результаты диссертации, положения, выносимые на защиту, разработаны и получены лично соискателем или при его непосредственном участии. Автором лично разработаны и исследованы математические и физические модели основных процессов, протекающих при шаржировании поверхности накатным роликом с ультразвуком, по результатам которых выявлены положительные эффекты, связанные с его применением; разработаны методики и проведены экспериментальные исследования по определению рациональных параметров режима шаржирования поверхностей накатным роликом с ультразвуком; разработан технологический процесс и создано оборудование для формирования алмазосодержащего покрытия на поверхностях доводочных дисков с применением ультразвука.

Участие соавторов в совместных работах: М.Г. Киселев, как научный руководитель, оказывал практическую помощь и содействие на всех этапах выполнения настоящей работы. А.В. Дроздов участвовал в разработке математической модели и компьютерном моделировании процесса попадания абразивного зерна в зону обработки. А.А. Столяров и А.И. Ланкевич принимали участие в создании установки для шаржирования поверхности образцов.

#### **Апробация результатов диссертации**

Основные положения и результаты работы представлены на следующих международных научно-технических конференциях: Международная научно-техническая конференция «Наука – образованию, производству, экономике» (Минск 2010, 2011 гг.), Международная научно-техническая конференция «Приборостроение» (Минск 2009, 2010, 2011, 2012 гг.), Международная научно-техническая конференция «Современные методы и технологии создания и обработки материалов» (Минск 2010, 2011 гг.), Международная научно-техническая конференция «Новые материалы и технологии: порошковая метал-

лургия, композиционные материалы, защитные покрытия, сварка» (Минск, 2010 г.).

### **Опубликованность результатов диссертации**

Основные результаты диссертации опубликованы в 22 печатных работах: 11 статьях, соответствующих пункту 18 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь, общим объемом 6,6 авторских листа, 11 сборниках, материалах и тезисах докладов научных конференций (всего 1,8 авторских листа).

### **Структура и объем диссертации**

Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, четырех глав, заключения, библиографического списка, списка публикаций автора и приложений. Полный объем диссертационной работы составляет 145 страниц, включая 101 страницу основного текста, 65 рисунков, 9 таблиц, библиографический список из 118 наименований, включая 22 публикации автора и 5 приложений.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ**

В **первой главе** приведены сведения о методах получения алмазосодержащего покрытия на доводочных дисках, назначении операции шаржирования, способах ее выполнения и предъявляемых к ней требованиях.

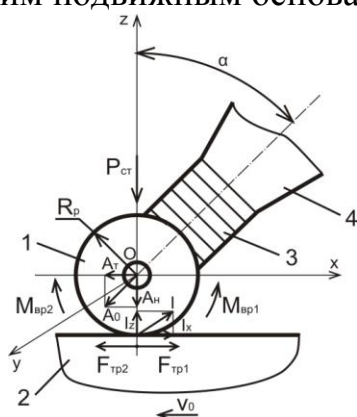
На основании анализа литературных данных показано, что традиционные способы шаржирования поверхностей в силу ограниченной кинематики и неблагоприятной динамики протекания процесса не обеспечивают необходимых условий для гарантированного попадания алмазных зерен в зону обработки и их внедрения в материал шаржируемой поверхности, обуславливая тем самым низкий уровень эксплуатационных показателей получаемого на ней алмазосодержащего покрытия. Исходя из обобщенного анализа работ М.Г. Киселева, С.С. Савицкого, В.Т. Минчени, А.А. Новикова, Д.А. Степаненко, установлено, что эффективным способом повышения этих показателей является сообщение деформирующему инструменту ультразвуковых колебаний, обеспечивающих режим высокочастотного виброударного втирания алмазных зерен в материал поверхностного слоя. Вместе с тем в предшествующих работах отсутствуют систематизированные научные данные о влиянии ультразвука на протекание процесса при использовании в качестве деформирующего инструмента накатного ролика, когда его взаимодействие с обрабатываемой поверхностью протекает в условиях трения качения, а внедрение алмазных частиц в шаржируемую поверхность происходит за счет их вдавливания в нее. Принимая во внимание результаты исследований по применению ультразвука в процессе доводки шариков методом обкатки, в частности отражающих его управляющее воздейст-

вие на кинематику и динамику их качения, на уровне рабочей гипотезы обоснована перспективность использования способа шаржирования поверхностей накатным роликом при сообщении ему ультразвуковых колебаний.

На основании изложенного материала сформулированы цель и задачи работы.

**Вторая глава** содержит описания и результаты исследования математических и физических моделей, отражающих влияние сообщаемых накатному ролику ультразвуковых колебаний на основные процессы, протекающие при формировании на шаржируемой поверхности алмазосодержащего покрытия.

На рисунке 1 представлена расчетная схема для математического моделирования процесса ударно-фрикционного взаимодействия накатного ролика с жестким подвижным основанием при шаржировании с ультразвуком.



1 – ролик; 2 – подвижное жесткое основание; 3 – упругий невесомый элемент; 4 – концентратор ультразвукового излучателя

**Рисунок 1 – Расчетная схема для математического моделирования процесса ударно-фрикционного взаимодействия накатного ролика с подвижным основанием**

На основе разработанной математической модели установлена зависимость, позволяющая определить условие перехода от виброударного режима взаимодействия накатного ролика с основанием к безотрывному (когда время их контакта \$t\_k\$ становится равным периоду колебаний \$T\$), учитывающая параметры режима обработки, в частности амплитуду ультразвуковых колебаний (\$A\_0\$) и направление их сообщения накатному ролику (угол \$\alpha\$), величину его статического прижатия к основанию (\$P\_{ст}\$) и скорость движения последнего (\$v\_0\$). Условие обеспечения виброударного режима имеет вид

$$A_0 \cos \alpha > 2Z_{ст} e^{\varepsilon(v_0)}, \quad (1)$$

где  $Z_{ст} = \frac{P_{ст}}{c}$  – величина статического натяга в акустической колебательной системе;  $c$  – жесткость упругого элемента;  $e$  – основание натуральных логарифмов;  $\varepsilon(v_0) \geq 0$  – безразмерный коэффициент, зависящий от скорости движения основания ( $\varepsilon = 0$  при  $v_0 = 0$ ) и определяемый экспериментально. Исходя из условия (1) получена формула для определения критического угла  $\alpha_{кр}$ , при котором виброударный режим взаимодействия ролика с основанием, имеющий место при  $\alpha = 0$ , сменяется безотрывным – нерабочим, т. е. когда влияние ультразвука на протекающие в зоне обработки процессы резко снижается:

$$\alpha_{кр} = \arccos \frac{2Z_{ст} e^{\varepsilon(v_0)}}{A_0}. \quad (2)$$



В результате анализа полученных теоретических зависимостей установлено, что с повышением суммарного натяга в акустической колебательной системе за счет увеличения  $P_{ст}$  и  $v_0$  величина критического угла  $\alpha_{кр}$  смещается в сторону меньших его значений. Полученные зависимости позволяют определять параметры возбуждения и нагружения акустической колебательной системы, обеспечивающие виброударный режим качения ролика.

На основании результатов математического моделирования процесса ударно-фрикционного взаимодействия ролика радиусом  $R_p$  с жестким подвижным основанием установлена зависимость для расчета средней угловой скорости его вращения при качении с ультразвуком  $\omega_{уак}$ :

$$\omega_{уак} = \frac{v_0}{R_p} \frac{2Z_{ст} e^{\varepsilon(v_0)}}{A_0 \cos \alpha} \frac{t_k}{T} C \cdot D (1 \pm \sin \alpha), \quad (3)$$

где  $C$  и  $D$  – безразмерные коэффициенты, принимающие значение от единицы при безотрывном режиме качения ролика и выше при виброударном.

Знак «+» соответствует условиям встречного взаимодействия колеблющегося ролика с подвижным основанием, т. е. когда тангенциальная составляющая амплитуды колебаний  $A_T$  (см. рисунок 1) за время их контакта направлена противоположно вектору  $\bar{v}_0$ , а знак «-» – попутному, когда  $A_T$  и  $\bar{v}_0$  имеют одно направление. Угол  $\alpha$  изменяется от нуля (при наличии виброударного режима) до своего критического значения  $\alpha_{кр}$ , соответствующего наступлению безотрывного режима качения ролика. На основании численного исследования полученных зависимостей и результатов физического моделирования установлено, что сообщение ролику ультразвуковых колебаний, обеспечивающих виброударный режим его взаимодействия с подвижным основанием, позволяет за счет изменения акустических (направление колебаний и их амплитуда) и технологических (статическое усилие прижатия ролика и скорость движения основания) параметров целенаправленно управлять как направлением, так и скоростью его вращательного движения. Так, при встречном взаимодействии скорость вращения ролика по сравнению с качением при  $\alpha = 0$  возрастает, а при попутном взаимодействии по сравнению с  $\alpha = 0$  она снижается. Установлено, что наибольшее влияние на изменение скорости вращения ролика ультразвук оказывает при сообщении ему колебаний под углом  $\alpha = 40 - 50^\circ$ .

Для эффективного протекания процесса шаржирования необходимо обеспечить условия для гарантированного попадания алмазных зерен в зону обработки. Путем использования представления алмазного зерна в виде жесткого прямоугольного параллелепипеда с отношением высоты к длине 1 : 3, предложена оригинальная модель его начального контактного взаимодействия с поверхностями ролика и движущегося основания, учитывающая действие вра-

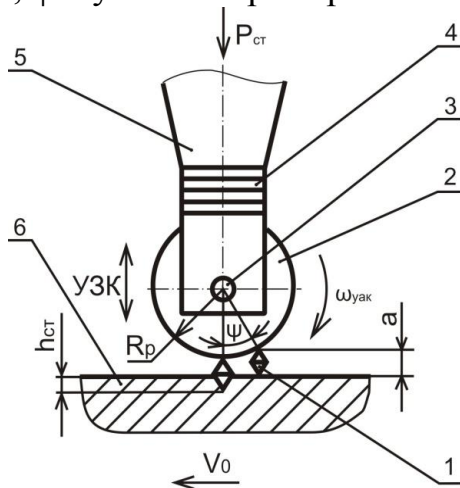
щающего момента от сил трения, вызывающего поворот зерна вокруг его вершины, контактирующей с основанием, на некоторый угол  $\lambda$  относительно ее поверхности. На основании анализа действующих на зерно сил и с учетом коэффициентов трения его скольжения относительно поверхностей основания  $\mu_1$  и ролика  $\mu_2$  получена зависимость для расчета критического значения угла его поворота  $\lambda_{кр}$ , при котором будет обеспечена его неподвижность между контактирующими с ним поверхностями. Показано, что при качении ролика с ультразвуком в силу ударно-фрикционного нагружения абразивного зерна силы трения, действующие в зонах его контакта с поверхностями ролика и основания, изменяются в сторону увеличения неравенства  $F_{си} > F_{ск}$ , обеспечивая тем самым более благоприятные по сравнению с традиционным процессом шаржирования, условия для попадания зерна в зону обработки. Как показали расчеты ( $\mu_1 = 0,5$  и  $\mu_2 = 0,3$ ) при воздействии ультразвука значение критического угла поворота зерна  $\lambda_{кр.ак}$  возрастает до  $43,3^\circ$  против  $9,9^\circ$  при качении ролика в обычных условиях.

С использованием специальной установки проведено физическое моделирование изучаемого процесса, основанное на определении количества абразивных частиц (исходное зерно – карбид бора размером 1 мм), внедренных в поверхность свинцового образца накатным роликом (сталь У10А, радиус 11 мм) при его качении в обычных условиях и с ультразвуком ( $\alpha = 0$ ), по результатам которого установлено следующее. Под действием ультразвука интенсифицируется процесс разрушения абразивного зерна, в котором преобладает его раскалывание по сравнению с раздавливанием, которое присуще разрушению зерна в обычных условиях качения ролика. При этом количество закрепившихся в поверхности образца абразивных частиц оказывается на 40 – 45 % больше по сравнению с шаржированием в обычных условиях, что служит косвенным подтверждением достоверности результатов теоретических исследований.

На уровень эксплуатационных показателей формируемого алмазосодержащего покрытия влияет не только количество внедрившихся в шаржируемую поверхность алмазных частиц, но и прочность их закрепления в ней, которая напрямую зависит от глубины их внедрения в материал поверхностного слоя. На рисунке 2 представлена расчетная схема для математического описания процесса внедрения абразивного зерна накатным роликом при его качении в обычных условиях и с ультразвуком. С использованием при математическом моделировании данного процесса результатов теоретических исследований, проведенных М.Г. Киселевым и В.А. Ибрагимовым, получена зависимость, позволяющая рассчитать глубину внедрения индентора  $h_{ак}$  в материал жесткопластического основания в зависимости от амплитуды  $A_0$  и частоты  $f_{ак}$  сообщаемых ролику ультразвуковых колебаний, его радиуса  $R_p$ , скорости перемещения основания  $v_0$  и размера индентора  $a$ :

$$h_{ак} = h_{ст} + \frac{1 - k}{1 - k} \frac{\Psi(R_p + a) f_{ак-1}}{v_0(1 - k_{пр})} (A_0 - 2Z_{ст} e^{\varepsilon(v_0)}), \quad (4)$$

где  $h_{ст}$  – глубина вдавливания индентора накатным роликом при его качении без ультразвука,  $k = 1 - \frac{\alpha_B}{c}$  – безразмерный коэффициент;  $\alpha_B$  – коэффициент контактной жесткости основания ( $\alpha_B \ll c$ );  $k_{пр}$  – коэффициент проскальзывания ролика,  $\Psi$  – угол поворота ролика.



1 – индентор, 2 – ролик, 3 – ось, 4 – упругий элемент, 5 – концентратор ультразвукового преобразователя, 6 – жесткопластическое подвижное основание

**Рисунок 2 – Расчетная схема для математического описания процесса внедрения абразивного зерна**

С помощью установки, реализующей условия принятой расчетной схемы, проведено физическое моделирование процесса внедрения твердосплавного (ВК6) индентора с углом при вершине  $2\beta = 90^\circ$  в поверхность свинцового образца накатным роликом при его качении в обычных условиях и с ультразвуком ( $\alpha = 0$ ). В результате получены экспериментальные данные, отражающие влияние акустических и технологических параметров процесса качения ролика на глубину внедрения индентора, которые хорошо согласуются с результатами теоретических исследований (различие не превышает 15 %). Установлено, что по сравнению с традиционными условиями при виброударном

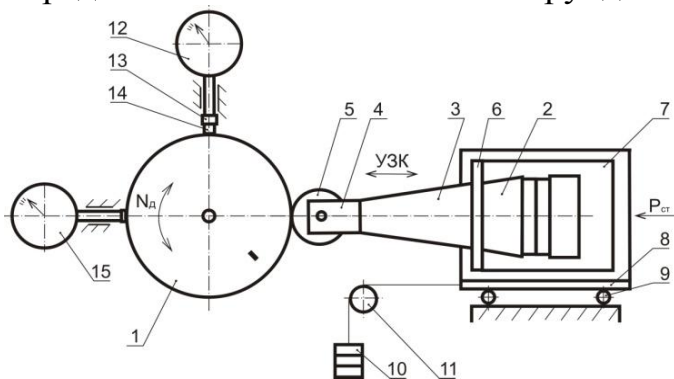
режиме качения ролика глубина внедрения индентора возрастает в 1,2 – 1,3 раза.

Исходя из обобщенного анализа результатов математического и физического моделирования выявлены положительные эффекты, связанные с сообщением в процессе шаржирования накатному ролику ультразвуковых колебаний, позволяющие повысить уровень эксплуатационных показателей формируемого алмазосодержащего покрытия. В частности: 1) управление кинематикой и динамикой взаимодействия ролика с шаржируемой поверхностью путем изменения интенсивности и направления сообщаемых ему колебаний; 2) обеспечение благоприятных условий для гарантированного попадания алмазных частиц в зону шаржирования, что повышает их количество в полученном покрытии, а следовательно, его абразивную способность; 3) увеличение глубины внедрения алмазных частиц в материал поверхностного слоя, что повышает прочность их

закрепления в сформированном покрытии, придавая ему высокую износостойкость.

**В третьей главе** приведено описание методик, оборудования, материалов и образцов, примененных в исследованиях.

Для выполнения экспериментов по шаржированию цилиндрической поверхности образцов накатным роликом как в обычных условиях, так и с ультразвуком, использовалась экспериментальная установка, принципиальная схема которой представлена на рисунке 3. Измерительные головки 12 и 15 служат для определения линейного износа корундового образца.



1 – диск; 2 – ультразвуковой преобразователь; 3 – концентратор; 4 – вилка с осью; 5 – накатный ролик; 6 – фланец; 7 – угловой кронштейн; 8 – подвижная плита; 9 – шариковые направляющие; 10 – аттестованные грузы; 11 – трособлочная система; 12, 15 – измерительная головка; 13 – державка; 14 – корундовый образец

**Рисунок 3 – Принципиальная схема экспериментальной установки, примененной в исследованиях**

звуковой преобразователь типа Ланжевена с коническим полуволновым концентратором, рассчитанный на номинальную резонансную частоту 22 кГц, для питания которого использовался генератор с максимальной выходной мощностью 150 Вт. В ходе проведения экспериментов варьировались следующие параметры режима шаржирования: частота вращения диска ( $N_d$ ) от 60 до 140 мин<sup>-1</sup>, статическое усилие прижатия ролика ( $P_{ст}$ ) от 5 до 20 Н, амплитуда ультразвуковых колебаний ( $A_0$ ) от 4 до 8 мкм (при резонансной частоте излучателя 21,8 кГц), продолжительность обработки ( $t$ ) от 30 до 120 с, угол  $\alpha$  изменялся от 0 до 90°, шаржирование с ультразвуком осуществлялось как при встречном, так и попутном взаимодействии ролика с обрабатываемой поверхностью. Для определения эксплуатационных показателей сформированного на поверхности образца алмазосодержащего покрытия использовались апробированные методики, устройства и средства измерений. Его абразивная способность и износостойкость оценивались по результатам измерения величины линейного из-

носа корундового образца (9 единиц твердости по шкале Мооса) диаметром 3,5 мм, истираемого о шаржированную поверхность при неизменном усилии его прижатия и постоянной частоте вращения диска ( $N_d = 100 \text{ мин}^{-1}$ ). На основании анализа экспериментально полученных зависимостей интегрального износа корундового образца от продолжительности истирания определялись период стойкости сформированного алмазосодержащего покрытия (момент времени, при котором значение скорости изнашивания (минутного износа) становилось меньше 20 % от среднего значения скорости изнашивания за соответствующий период) и его абразивная способность (величина интегрального износа за период стойкости покрытия).

Для количественной оценки степени влияния ультразвука на абразивную способность и период стойкости полученного алмазосодержащего покрытия использовались соответствующие коэффициенты, определяемые по формулам:

$$\eta_H = \left(1 - \frac{H}{H_{ак}}\right) \cdot 100 \% ; \quad \eta_T = \left(1 - \frac{T}{T_{ак}}\right) \cdot 100 \% , \quad (5)$$

где  $H$  – величина интегрального износа корундового образца за период стойкости  $T$  алмазосодержащего покрытия, полученного в обычных условиях шаржирования;  $H_{ак}$  и  $T_{ак}$  – значения тех же параметров для покрытия, сформированного с ультразвуком.

Измерения частоты вращения диска и ролика проводились с помощью стробоскопического тахометра (Testo 476). Угол наклона преобразователя определялся при помощи маятникового угломера типа ЗУРИ-М. Дозирование алмазного микропорошка и касторового масла для приготовления суспензии осуществлялось с помощью каратных весов OHAUS E12140. Измерение шероховатости обработанных поверхностей образцов осуществлялось с помощью системы измерительной Form Taysurf i120 фирмы «Taylor Hobson». Визуальное исследование состояния шаржированной поверхности проводилось при помощи сканирующего электронного микроскопа серии «Mira» компании «Tescan».

В качестве примера обработки полученных экспериментальных данных представлена статистическая обработка результатов измерений величины подъема ролика при внедрении зерна в подвижное основание.

В четвертой главе представлены результаты экспериментальных исследований, а также приведено описание технологии и оборудования для шаржирования доводочных дисков накатным роликом с ультразвуком.

На основании анализа полученных экспериментальных данных, отражающих влияние акустических и технологических параметров процесса шаржирования образцов на абразивную способность и износостойкость полученного на них алмазосодержащего покрытия, установлены оптимальные режимы выпол-

нения операции, обеспечивающие наибольшее повышение этих показателей в сравнении с аналогичными показателями покрытия, сформированного в обычных условиях шаржирования. В частности, это вариант встречного взаимодействия ролика с шаржируемой поверхностью при сообщении ему колебаний под углом  $\alpha = 40 - 50^\circ$  амплитудой  $A_0 = 5 - 6$  мкм; статическом усилии прижатия ролика к обрабатываемой поверхности  $P_{ст} = 2,5 - 3$  Н, окружной скорости шаржируемой поверхности  $v_0 = 26 - 29$  м/мин и радиальной подачи ролика  $S_p = 60 - 70$  мм/мин при числе рабочих ходов  $n = 4$ . Установлено, что наибольшими значениями абразивной способности и износостойкости обладает алмазосодержащее покрытие, полученное на поверхности чугунного образца, несколько меньшими – на поверхности латунного, а покрытия, сформированные на поверхностях стального образца и образца из сплава Д16Т существенно, в среднем в 1,2 – 1,5 раза уступают первым по этим показателям, поэтому использование данных металлов для изготовления доводочных дисков является нецелесообразным. На основании полученных результатов разработана технология шаржирования рабочих поверхностей доводочных дисков диаметром 150 мм, которые широко используются для окончательной обработки заготовок из драгоценных и поделочных камней, кристаллов, стекла, ситаллов, различных видов керамики и других материалов. Для выполнения этой операции использовался созданный экспериментальный технологический комплекс, состоящий из настольного доводочного станка СУН 3435, на установочной плите которого смонтирован узел акустической головки, оснащенный приводом для обеспечения радиальной подачи ролика ( $S_p$ ).

В ходе проведения лабораторных испытаний на одной стороне доводочного диска (чугун СЧ18 и латунь Л62) шаржировалась дорожка шириной 15 мм с применением ультразвука, а на противоположной стороне аналогичная дорожка формировалась в обычных условиях обработки. Параметры режима шаржирования соответствовали их оптимальным значениям при  $S_p = 60$  мм/мин и четырех ходах ролика в процессе обработки каждой дорожки. После этого в соответствии с описанными в главе 3 методиками определялись абразивная способность и износостойкость сформированного на поверхности доводочного диска алмазосодержащего покрытия.

Результаты этих испытаний приведены в таблице 1. Из их анализа следует, что шаржирование рабочих поверхностей доводочных дисков по разработанной технологии обеспечивает формирование на них алмазосодержащего покрытия, которое по абразивной способности и износостойкости существенно превосходит аналогичные показатели покрытия, полученного в обычных условиях шаржирования. Наибольшее влияние на повышение этих показателей ультразвук оказывает при шаржировании рабочей поверхности чугунного доводочного диска ( $\eta_n = 29\%$ ;  $\eta_t = 36\%$ ) и меньшее – при шаржировании латунного диска

( $\eta_n = 21 \%$ ;  $\eta_t = 25 \%$ ). По сравнению с шаржированием в обычных условиях значения абразивной способности и износостойкости алмазосодержащего покрытия, полученного по разработанной технологии, соответственно, возросли для чугунного диска в 1,4 и 1,6 раза, а для латунного – в 1,3 раза соответственно.

Таблица 1 – Результаты испытаний алмазосодержащего покрытия

Материал доводочно-го диска	Шаржирование в обычных условиях		Шаржирование с ультразвуком		Эффективность применения ультразвука			
	Линейный износ корундового образца $H$ , мм	Износостойкость алмазосодержащего покрытия, выраженная через путь истирания, $T_L$ , м	Линейный износ корундового образца $H_{ак}$ , мм	Износостойкость алмазосодержащего покрытия, выраженная через путь истирания, $T_{Lак}$ , м	$\eta_n$ , %	$\eta_t$ , %	$H_{ак}/H$	$T_{Lак}/T_L$
Чугун СЧ18	0,139	2625	0,194	4125	29	36	1,4	1,6
Латунь Л62	0,128	2250	0,162	3000	21	25	1,3	1,3

По результатам измерения шероховатости поверхности образцов из различных материалов, обработанных на испытуемых доводочных дисках, установлено, что алмазосодержащее покрытие, полученное с применением ультразвука обеспечивает меньшее значение параметра  $Ra$  в сравнении с покрытием, сформированным в традиционных условиях шаржирования. Причем с повышением твердости обрабатываемого материала степень этого снижения возрастает, в частности для корундового образца значение параметра  $Ra$  снизилось в 1,5 раза, для гранатита – в 1,45 раза, а для стекла М5 практически не изменилось.

Проведенными с помощью электронной микроскопии исследованиями состояния шаржированной поверхности чугунного доводочного диска установлено, что сформированное на ней с применением ультразвука алмазосодержащее покрытие отличается от полученного в обычных условиях шаржирования значительно большим количеством закрепленных в поверхности алмазных частиц (1100 – 1500 штук на  $1 \text{ мм}^2$  и 780 – 1050 штук на  $1 \text{ мм}^2$  соответственно), что объясняет повышение абразивной способности покрытия, имеющих меньший размер (8 – 12 мкм и 10 – 18 мкм соответственно), а соответственно более высокую прочность закрепления в материале поверхностного слоя, с чем связано увеличение износостойкости покрытия и повышение качества обработанной на нем поверхности заготовки.

По результатам отдельной серии экспериментов установлено, что в сравнении с шаржированием доводочных дисков вращающейся шайбой с ультразвуком (способ шаржирования распиловочных дисков) предложенная технология обеспечивает повышение абразивной способности и износостойкости алмазосодержащего покрытия для чугунного диска в 1,25 и 1,35 раза.

По результатам производственных испытаний, проведенных в ООО «Факет-Люкс», установлено, что чугунные доводочные диски, шаржированные по разработанной технологии, уступают серийным алмазным дискам 6А2 по стойкости в 3,2 – 3,4 раза, но превосходят их по интенсивности съема в 1,2 – 1,3 раза и по объему сырья обработанного за полный период стойкости в 1,9 – 2,0 раза при соответствующем качестве обработанных поверхностей и гораздо меньших затратах на обработку единицы сырья за счет многократного использования инструмента. Экономический эффект от использования результатов составил 1 036 400 рублей на один диск в ценах 2012 года.

Результаты опытно-промышленных испытаний на ОАО «ММЗ им. С.И. Вавилова – управляющая компания холдинга «БелОМО» доводки плоскостности клапанных пар из вакуумно-прочных керамических материалов с применением доводочных дисков, шаржированных по разработанной технологии, показали, что при этом снижается себестоимость изготовления клапанной пары и улучшается качество обработки. Ожидаемый экономический эффект от использования результатов составил 15 000 000 рублей в ценах 2012 года.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

### **Основные научные результаты диссертации**

1. На основании результатов математического и физического моделирования процесса контактного взаимодействия накатного ролика с шаржируемой поверхностью установлено, что применение ультразвука позволяет за счет изменения его интенсивности, направления сообщаемых ролику колебаний, а также путем реализации попутного или встречного варианта его взаимодействия с шаржируемой поверхностью целенаправленно влиять как на угловую скорость его вращательного движения, так и на величину и направление скорости его проскальзывания. Установлено, что при сообщении ролику ультразвуковых колебаний, обеспечивающих виброударный режим его качения ( $A_0 \cos \alpha > 2Z_{\Sigma}$ ), при попутном варианте взаимодействия с обрабатываемой поверхностью угловая скорость его вращения  $\omega_{\text{yak}}$  становится меньше, чем при качении с  $\alpha=0$ , а при встречном варианте взаимодействия больше. С повышением интенсивности виброударного режима качения ролика влияние ультразвука на изменение этих кинематических параметров возрастает, достигая, при прочих равных условиях, наибольшего воздействия при сообщении ролику колебаний под углом  $\alpha = 40 - 50^\circ$  [1, 2, 3, 4, 12, 13, 20].

2. На основании модельного представления алмазного зерна в виде жесткого прямоугольного параллелепипеда с отношением высоты к длине 1 : 3 предложена расчетная схема его начального контактного взаимодействия (входа в зону шаржирования) с поверхностями накатного ролика и подвижного ос-



нования, учитывающая поворот зерна на некоторый угол  $\lambda$  относительно точки его контакта с основанием. Показано, что для его гарантированного попадания в зону шаржирования необходимо, чтобы сила трения сцепления зерна с основанием  $F_{\text{сц}}$  была больше, чем сила трения скольжения  $F_{\text{ск}}$ . Исходя из анализа действующих на зерно сил и их моментов получена зависимость, позволяющая рассчитать критическое значение угла его поворота  $\lambda_{\text{кр}}$ , при котором оно гарантированно попадает в зону шаржирования. На основании её численного исследования и результатов физического моделирования установлено, что при сообщении ролику ультразвуковых колебаний, обеспечивающих виброударный режим его качения, существенно возрастает по сравнению с обычными условиями качения угол его поворота  $\lambda_{\text{кр.ак}}$ , т. е. значительно облегчаются условия гарантированного попадания зерна в зону шаржирования, повышая тем самым их концентрацию. При этом, как показали эксперименты, количество закрепившихся в поверхности образца абразивных частиц оказывается на 40 – 45 % больше в сравнении с шаржированием в обычных условиях [5, 8, 14, 21].

3. На основании разработанной математической модели процесса внедрения конического индентора в материал жесткопластического основания накатным роликом, а также результатов физического моделирования этого процесса установлено, что при виброударном режиме качения ролика внедрение (вдавливание) индентора происходит за счет действия на него со стороны ролика высокочастотных ударов, количество которых определяется соотношением частоты сообщаемых ему ультразвуковых колебаний и времени поворота ролика на рабочий угол (угол, при котором имеет место взаимодействие поверхностей ролика и индентора), а величина ударного импульса – интенсивностью виброударного режима качения ролика. Теоретически и экспериментально установлено, что по сравнению с качением ролика в обычных условиях под действием ультразвука глубина внедрения индентора в поверхность свинцового образца увеличивается в 1,2 – 1,3 раза [10].

4. В результате экспериментальных исследований влияния акустических и технологических параметров процесса шаржирования поверхностей образцов из различных металлов (чугун СЧ18, латунь Л62, сталь Ст3, сплав Д16Т) на эксплуатационные показатели получаемого алмазосодержащего покрытия установлено, что при шаржировании как в обычных условиях, так и с применением ультразвука наибольшими значениями абразивной способности и износостойкости обладает покрытие, сформированное на поверхности чугунного и латунного образцов. При этом максимальная степень влияния сообщаемых ролику ультразвуковых колебаний на повышение абразивной способности  $\eta_{\text{н}}$  и износостойкости  $\eta_{\text{т}}$  алмазосодержащего покрытия имеет место при шаржировании поверхности чугунного образца  $\eta_{\text{н}} = 38 \%$ ,  $\eta_{\text{т}} = 30 \%$ . У латунного она со-

ставила  $\eta_n = 33 \%$ ,  $\eta_T = 28 \%$ , у образца из алюминиевого сплава  $\eta_n = 29 \%$ ,  $\eta_T = 15 \%$  и стального -  $\eta_n = 29 \%$  и  $\eta_T = 14 \%$  [6, 7, 9, 15, 17, 18, 22].

5. На основании результатов экспериментальных исследований по влиянию режимов шаржирования в обычных условиях и с ультразвуком на эксплуатационные показатели алмазосодержащего покрытия установлены рациональные технологические параметры процесса шаржирования поверхности чугуновых (СЧ18) доводочных дисков накатным роликом с применением ультразвука (встречное взаимодействие ролика с обрабатываемой поверхностью при сообщении ему колебаний под углом  $\alpha = 40 - 50^\circ$ , частотой 20 – 22 кГц и амплитудой  $A_0 = 5 - 6$  мкм, статическое усилие прижатия ролика  $P_{ст} = 2,5 - 3$  Н, окружная скорость диска в зоне контакта с роликом  $v_0 = 26 - 29$  м/мин, радиальная подача ролика  $S_p = 60 - 70$  мм/мин, число рабочих ходов  $n = 4$ ) обеспечивающие в сравнении с дисками, полученными по традиционной технологии, повышение абразивной способности и износостойкости сформированного алмазосодержащего покрытия соответственно в 1,4 и 1,6 раза при снижении шероховатости по параметру  $Ra$  поверхности обработанных образцов из корунда в 1,5 раза, гранатита в 1,4 раза [11, 16, 19].

### **Рекомендации по практическому использованию результатов**

1. На основании проведенных исследований разработана технология формирования алмазосодержащего покрытия доводочных дисков накатным роликом с ультразвуком. Разработанная технология может быть использована предприятиями, занимающимися обработкой драгоценных и поделочных камней.

2. Изготовленные по разработанной технологии доводочные диски используются при огранке поверхностей заготовок ювелирных камней. На ООО «Фасет-Люкс» внедрены результаты работы и доводочные диски с алмазосодержащим покрытием, полученным методом шаржирования накатным роликом с ультразвуком, использованы при огранке ювелирных камней (топаз).

Разработанное приспособление с акустической головкой может быть использовано для выполнения операции шаржирования доводочных дисков различного типа и размеров. Благодаря своей автономности оно легко монтируется на серийно выпускаемых шлифовально-доводочных станках, имеющих бесступенчатое регулирование частоты вращения шпинделя, что снижает затраты по освоению разработанной технологии.

3. Доводочные диски с алмазосодержащим покрытием, полученным методом шаржирования накатным роликом с ультразвуком, использованы при доводке плоскостности клапанных пар из вакуумно-прочных керамических материалов на ОАО «ММЗ им. С.И. Вавилова – управляющая компания холдинга «БелОМО». Применение технологии с использованием доводочных дисков

позволило улучшить качество и снизить себестоимость изготовления клапанной пары для пневмоаппаратов тормозных систем.

4. Результаты исследований, по повышению эксплуатационных показателей доводочных дисков и эффективности применения накатного ролика с ультразвуком при формировании алмазосодержащего покрытия на их рабочих поверхностях внедрены в учебный процесс подготовки инженеров по специальности 1-52 02 01 «Технология и оборудование ювелирного производства».

## **СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

### **Статьи в рецензируемых научных изданиях**

1. Влияние ультразвукового воздействия на условия контактного взаимодействия накатного ролика с обрабатываемой поверхностью / М.Г. Киселев, А.В. Дроздов, В.Л. Габец, А.А. Столяров // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В. Прикладные науки. Промышленность. – 2009. – № 2. – С. 63–71.

2. Теоретическая оценка влияния ультразвуковых колебаний, сообщаемых ролику вдоль горизонтальной оси, на параметры его вращательного движения при взаимодействии с подвижным основанием / М.Г. Киселев, А.В. Дроздов, В.Л. Габец, А.А. Столяров // Вестник Гомельского государственного технического университета им. П.О. Сухого. – 2009. – № 2. – С. 54–63.

3. Влияние ультразвуковых колебаний, сообщаемых накатному ролику под углом, на условия его контактного взаимодействия с подвижным основанием / М.Г. Киселев, А.В. Дроздов, В.Л. Габец, А.А. Столяров // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2009. – № 3. – С. 96–109.

4. Киселев, М.Г. Исследование влияния ультразвуковых колебаний, сообщаемых накатному ролику в процессе качения, на величину его проскальзывания / М.Г. Киселев, А.В. Дроздов, В.Л. Габец // Материалы. Технологии. Инструменты. – 2010. – Т.15, № 3. – С. 75–80.

5. Экспериментальные исследования влияния ультразвуковых колебаний, сообщаемых накатному ролику, на процесс вдавливания абразивного зерна в металлическую поверхность / М.Г. Киселев, А.В. Дроздов, В.Л. Габец, А.А. Столяров // Вестник Гомельского государственного технического университета им. П.О. Сухого. – 2010. – № 3. – С. 9–17.

6. Киселев, М.Г. Повышение качества шаржирования поверхности накатным роликом путем сообщения ему ультразвуковых колебаний / М.Г. Киселев, А.В. Дроздов, В.Л. Габец // Вестник Белорусского национального технического университета. – 2011. – № 4. – С. 5–10.

7. Киселев, М.Г. Влияние направлений, 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 // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В. Промышленность. Прикладные науки. – 2011. – № 3. – С. 88–94.

8. Киселев, М.Г. Теоретическая оценка влияния ультразвуковых колебаний, сообщаемых накатному ролику в процессе шаржирования поверхности, на условия попадания абразивного зерна в зону обработки / М.Г. Киселев, А.В. Дроздов, В.Л. Габец // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В. Промышленность. Прикладные науки. – 2011. – № 11. – С. 70–77.

9. 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 // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2011. – № 3. – С. 47–57.

10. Влияние ультразвуковых колебаний, сообщаемых накатному ролику в процессе его качения, на глубину внедрения индентора в материал жесткопластического основания / М.Г. Киселев, А.В. Дроздов, В.Л. Габец, Е.О. Качан // Материалы. Технологии. Инструменты. – 2011. – Т.16, № 4. – С. 9–15.

11. Киселев, М.Г. Повышение качества шаржирования поверхности доводочных дисков накатным роликом с применением ультразвука / М.Г. Киселев, А.В. Дроздов, В.Л. Габец // Вестник Гомельского государственного технического университета им. П.О. Сухого. – 2012. – № 1. – С. 3–13.

### **Материалы научных конференций**

12. Исследование воздействия УЗК на условия контактного взаимодействия накатного ролика с обрабатываемой поверхностью / М.Г. Киселев, А.В. Дроздов, В.Л. Габец, А.А. Столяров // Приборостроение-2009: материалы 2-й Международной научно-технической конференции, Минск, 11 – 13 ноября 2009 г. / Белорусский национальный технический университет; редкол.: О.К. Гусев [и др.]. – Минск, 2009. – С. 66 – 68.

13. Экспериментальная установка для оценки влияния УЗК на процесс трения качения / М.Г. Киселев, А.В. Дроздов, В.Л. Габец, А.А. Столяров // Приборостроение-2009: материалы 2-й Международной научно-технической конференции, Минск, 11 – 13 ноября 2009 г. / Белорусский национальный технический университет; редкол.: О.К. Гусев [и др.]. – Минск, 2009. – С. 277 – 279.

14. Киселев, М.Г. Исследование особенностей поведения абразивных зерен при их внедрении в металлическую поверхность накатным роликом с УЗК / М.Г. Киселев, В.Л. Габец // Современные методы и технологии создания и обработки материалов: V Междунар. науч.-техн. конф.: сб. материалов, Минск, 15 – 17 сентября 2010 г.: в 3 кн. / ФТИ НАН Беларуси; редкол.: С.А. Астапчик [и др.]. – Минск, 2010. – Кн. 2: Высокоэнергетические технологии получения и

обработки материалов. Технологии и оборудование инженерии поверхностей. – С. 79 – 84.

15. Повышение качества шаржирования поверхностей инструментов накатным роликом путем сообщения ему ультразвуковых колебаний / М.Г. Киселев, А.В. Дроздов, В.Л. Габец, А.И. Ланкевич // Приборостроение-2010: материалы 3-й Международной научно-технической конференции, Минск, 10 – 12 ноября 2010 г. / Белорусский национальный технический университет; редкол.: О.К. Гусев [и др.]. – Минск, 2010. – С. 288 – 289.

16. Киселев, М.Г. Влияние направления ультразвуковых колебаний, сообщаемых накатному ролику в процессе шаржирования на абразивную способность и износостойкость получаемого алмазосодержащего покрытия / М.Г. Киселев, А.В. Дроздов, В.Л. Габец // Современные методы и технологии создания и обработки материалов: VI Междунар. науч.-техн. конф.: сб. материалов, Минск, 14 – 16 сентября 2011 г.: в 3 кн. / ФТИ НАН Беларуси; редкол.: С.А. Астапчик [и др.]. – Минск, 2011. – Кн. 2: Высокотехнологические технологии получения и обработки материалов. Технологии и оборудование инженерии поверхностей. – С. 66 – 74.

17. Методика оценки абразивной способности и износостойкости алмазосодержащего покрытия, получаемого на поверхности образца способом шаржирования / М.Г. Киселев, А.В. Дроздов, В.Л. Габец, П.О. Корзун // Приборостроение-2011: материалы 4-й Международной научно-технической конференции, Минск, 16 – 18 ноября 2011 г. / Белорусский национальный технический университет; редкол.: О.К. Гусев [и др.]. – Минск, 2011. – С. 203 – 205.

18. Киселев, М.Г. Влияние ультразвуковых колебаний, сообщаемых накатному ролику, на условия и характер протекания процессов, обеспечивающих повышение качества шаржирования поверхностей / М.Г. Киселев, А.В. Дроздов, В.Л. Габец // Приборостроение-2011: материалы 4-й Международной научно-технической конференции, Минск, 16 – 18 ноября 2011 г. / Белорусский национальный технический университет; редкол.: О.К. Гусев [и др.]. – Минск, 2011. – С. 322 – 324.

19. Разработка технологии и создание оборудования для шаржирования поверхностей доводочных дисков накатным роликом с ультразвуком / М.Г. Киселев, А.В. Дроздов, В.Л. Габец, А.И. Ланкевич // Приборостроение-2012: материалы 5-й Международной научно-технической конференции, Минск, 21 – 23 ноября 2012 г. / Белорусский национальный технический университет; редкол.: О.К. Гусев [и др.]. – Минск, 2012. – С. 293 – 295.

### **Тезисы научных конференций**

20. Киселев, М.Г. Экспериментальная оценка влияния ультразвуковых колебаний, сообщаемых ролику, на величину его проскальзывания в процессе ка-

чения / М.Г. Киселев, А.В. Дроздов, В.Л. Габец // Наука – образованию, производству, экономике: материалы 8-й Международной научно-технической конференции, Минск, 2010 г.: в 4 томах / Белорусский национальный технический университет. – Минск, 2010. – Т. 2. – С. 181.

21. Киселев, М.Г. Влияние ультразвуковых колебаний, сообщаемых накатному ролику, на процесс вдавливания и закрепления абразивных частиц в металлическую поверхность / М.Г. Киселев, А.В. Дроздов, В.Л. Габец // Новые материалы и технологии: порошковая металлургия, композиционные материалы, защитные покрытия, сварка: материалы докладов 9-й Международной научно-технической конференции, Минск, 29 – 30 сентября 2010 г. / Институт порошковой металлургии ГНПО ПМ; редкол.: А.Ф. Ильющенко [и др.]. – Минск, 2010. – С. 276 – 278.

22. Габец, В.Л. Влияние ультразвуковых колебаний, сообщаемых накатному ролику, на качество шаржирования / В.Л. Габец, А.И. Ланкевич // Наука – образованию, производству, экономике: материалы 9-й Международной научно-технической конференции, Минск, 2011 г.: в 4 томах / Белорусский национальный технический университет. – Минск, 2011. – Т. 2. – С. 191.

## РЭЗЮМЕ

Габец Вячаслаў Леанідавіч

### Тэхналогія фарміравання алмазазмяшчальнага пакрыцця на даводочных дысках накатным ролікам з ультрагукам

**Ключавыя словы:** даводачны дыск, шаржыраванне, накатны ролік, алмазазмяшчальнае пакрыццё, ультрагук.

**Мэта працы:** распрацоўка тэхналогіі фарміравання алмазазмяшчальнага пакрыцця шляхам шаржыравання даводачных дыскаў накатным ролікам з ультрагукам, якая забяспечвае павышэнне эксплуатацыйных паказчыкаў інструментаў (абразіўная здольнасць і зносаўстойлівасць).

**Метады даследавання і апаратура.** Тэарэтычная частка працы выкананая на аснове выкарыстання фундаментальных палажэнняў тэорыі ваганняў, тэарэтычнай механікі, тэорыі рэзанання, механікі разбурэння цвёрдых целаў, тэорыі трэння і зношвання. Лікавыя даследаванні выконваліся з выкарыстаннем сучасных прыкладных праграм і сродкаў вылічальнай тэхнікі. Пры выкананні эксперыментальных даследаванняў выкарыстоўваліся прамысловае абсталяванне і аснастка для даводкі звышцвёрдых крышталяў. Пры правядзенні асобных эксперыментаў ужываліся спецыяльна распрацаваныя прылады і абсталяванне.

**Атрыманыя вынікі і іх навізна.** Распрацаваны і даследаваны матэматычныя і фізічныя мадэлі асноўных працэсаў, якія праходзяць пры фарміраванні алмазазмяшчальнага пакрыцця на рабочай паверхні доводачнага дыска пры яе шаржыраванні накатным ролікам з ужываннем ультрагуку. Выяўлены станоўчыя эфекты, звязаныя з ужываннем ультрагуку пры шаржыраванні паверхні накатным ролікам, якія дазваляюць кіраваць праходжаннем працэсу фарміравання на ёй алмазазмяшчальнага пакрыцця, з мэтай павышэння яго эксплуатацыйных паказчыкаў. Распрацаваны метадыкі правядзення эксперыментальных даследаванняў. Праведзены параўнальныя эксперыментальныя даследаванні працэсу фарміравання алмазазмяшчальнага пакрыцця на паверхні ўзораў шляхам яе шаржыравання накатным ролікам ў звычайных умовах і з ужываннем ультрагуку, па выніках якіх устаноўлены рацыянальныя значэнні акустычных і тэхналагічных параметраў рэжыму шаржыравання, якія забяспечваюць найбольшае павышэнне абразіўнай здольнасці і зносаўстойлівасці атрыманага пакрыцця. Распрацаваны тэхналагічны працэс і створана абсталяванне для шаржыравання рабочай паверхні даводачных дыскаў накатным ролікам з ужываннем ультрагуку.

**Ступень выкарастання:** вынікі працы выкарастаны у ААТ «ММЗ ім. С.І. Вавілава – кіруючая кампанія холдынгу «БелОМА», у ТАА «Фацэт-Люкс».

**Галіна ўжывання:** ювелірная прамысловасць.

## РЕЗЮМЕ

Габец Вячеслав Леонидович

### Технология формирования алмазосодержащего покрытия на доводочных дисках накатным роликом с ультразвуком

**Ключевые слова:** доводочный диск, шаржирование, накатный ролик, алмазосодержащее покрытие, ультразвук.

**Цель работы:** разработка технологии формирования алмазосодержащего покрытия путем шаржирования доводочных дисков накатным роликом с ультразвуком, обеспечивающей повышение эксплуатационных показателей получаемых инструментов (абразивная способность и износостойкость).

**Методы исследования и оборудование.** Теоретическая часть работы выполнена на основе использования фундаментальных положений теории колебаний, теоретической механики, теории резания, механики разрушения твердых тел, теории трения и изнашивания. Численные исследования выполнялись с использованием современных прикладных программ и средств вычислительной техники. При выполнении экспериментальных исследований использовались промышленное оборудование и оснастка для доводки сверхтвердых кристаллов. При проведении отдельных экспериментов применялись специально разработанные устройства и оснастка.

**Полученные результаты и их новизна.** Разработаны и исследованы математические и физические модели основных процессов, протекающих при формировании алмазосодержащего покрытия на рабочей поверхности доводочного диска при ее шаржировании накатным роликом с применением ультразвука. Выявлены положительные эффекты, связанные с применением ультразвука при шаржировании поверхности накатным роликом, позволяющие управлять протеканием процесса формирования на ней алмазосодержащего покрытия, с целью повышения его эксплуатационных показателей. Разработаны методики проведения экспериментальных исследований. Проведены сравнительные экспериментальные исследования, по результатам которых установлены рациональные значения акустических и технологических параметров режима шаржирования, обеспечивающих наибольшее повышение абразивной способности и износостойкости полученного покрытия. Разработан технологический процесс и создано оборудование для формирования алмазосодержащего покрытия на рабочих поверхностях доводочных дисков накатным роликом с применением ультразвука.

**Степень использования:** результаты работы использованы в ОАО «ММЗ им. С.И. Вавилова – управляющая компания холдинга «БелОМО», в ООО «Фасет-Люкс».

**Область применения:** ювелирная промышленность.



## SUMMARY

**Viachaslau Habets**

### **Technology of formation of diamond coatings on finishing drives crush rollers with ultrasound**

**Keywords:** finishing drives, charging, crush roller, diamond-bearing layer, ultrasound.

**Aim of the work:** The aim is to enhance the ability of the abrasive and wear resistance of diamond coatings obtained on the working surface of the disk by honing her charging rolling roller, with the use of ultrasound.

**Research methods and equipment.** The theoretical part of the work done on the basis of the theory of the fundamental position of the totally molecules, theoretical mechanics, the theory of cutting, fracture mechanics of solids, the theory of friction and wear. Numerical studies were performed with use of modern software applications and computer aids. In carrying out experimental studies used industrial machinery and equipment for the finishing of superhard crystals. In carrying out separate experiments used a specially designed devices and accessories.

**The obtained results and their novelty.** Developed and investigated mathematical and physical models of the basic processes occurring during the formation of diamond coating on the working surface of the disk when honing her charging rolling roller with ultrasound. Revealed the positive effects associated with the use of ultrasound in the rolling surface of the roller charging to help you manage the flow of the process of formation of diamond coating on it, with the aim of improving operational performance показатели. Developed methodology for experimental research. Comparative experimental study of the formation of diamond coating on the surface by her exemplary charging rolling the roller in a simple condition and with the use of ultrasound, which is installed on the results of rational values of acoustic and technological parameters charging mode, providing the greatest increase in abrasion resistance ability and the period of coverage received. Developed the process and set up equipment for surface finishing of the Working charging drive roller rolling using ultrasound.

**Extend of usage:** the results of researches have been used in the JSC «MMZ them. S.I. Vavilov - managing company «BelOMO», «Facet-Lux» Ltd.

**Field of application:** jewelry industry.

*Научное издание*

**ГАБЕЦ**  
**Вячеслав Леонидович**

**ТЕХНОЛОГИЯ ФОРМИРОВАНИЯ АЛМАЗОСОДЕРЖАЩЕГО ПОКРЫТИЯ НА ДОВОДОЧНЫХ ДИСКАХ НАКАТНЫМ РОЛИКОМ С УЛЬТРАЗВУКОМ**

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук  
по специальности 05.02.07 – Технология и оборудование механической  
и физико-технической обработки

---

Подписано в печать 20.02.2013. Формат 60×84 1/16. Бумага офсетная. Ризография.  
Усл. печ. л. 1,39. Уч.-изд. л. 1,09 Тираж 60. Заказ 163

---

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет. ЛИ № 02330/0494349 от 16.03.2009. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.