

УДК 621.9.048.4

ДРОЗДОВ Алексей Владимирович

**ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ И КАЧЕСТВА
РАСПИЛИВАНИЯ СВЕРХТВЕРДЫХ КРИСТАЛЛОВ ПУТЕМ
СООБЩЕНИЯ ЗАГОТОВКЕ ВЫНУЖДЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ**

05.03.01 – Технологии и оборудование механической
и физико-технической обработки

Автореферат диссертации на соискание
ученой степени кандидата технических наук

Минск – 2005

Работа выполнена на кафедре «Конструирование и производство приборов» Белорусского национального технического университета.

- Научный руководитель – доктор технических наук, профессор, Киселев Михаил Григорьевич, заведующий кафедрой «Конструирование и производство приборов» БНТУ.
- Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор кафедры «Технология металлов» БАТУ, Кожуро Лев Михайлович;
кандидат технических наук Лебедев Владимир Яковлевич, заведующий лабораторией ГНУ «Физико-технический институт НАН Беларуси».
- Оппонирующая организация – Белорусское оптико-механическое объединение (БелОМО).

Защита диссертации состоится «19» апреля 2005 г. в 14.00 часов на заседании совета по защите диссертаций Д.02.05.03 Белорусского национального технического университета по адресу: 220013, г. Минск, проспект. Ф. Скорины, 65, корп.1, ауд.202, тел. 232-24-04.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке БНТУ.

Автореферат разослан « » марта 2005 г.

Ученый секретарь
совета по защите диссертаций,
канд. техн. наук, доцент

В.И. Клевзович

©Дроздов А.В., 2005
© БНТУ, 2005

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Технологическая операция механического распиливания заготовок из сверхтвердых неметаллических материалов находит широкое применение в самых различных отраслях промышленности. В частности, при производстве изделий и компонентов электронной техники для разделения на заготовки кристаллов кремния, германия, кварца и т. п.; в оптическом и оптико-электронном приборостроении при изготовлении деталей микрооптики, активных элементов твердотельных и полупроводниковых лазеров; в инструментальном производстве для изготовления минералокерамического и алмазного инструмента; в ювелирной промышленности при производстве изделий из драгоценных камней, включая монокристаллы алмаза.

Наибольшими трудностями характеризуется операция механического распиливания монокристаллов алмаза. Она применяется для их разделения на части (полуфабрикаты) с целью рационального использования алмазного сырья при его переработке в бриллианты и другие изделия. При этом наряду с высокой производительностью необходимо обеспечить минимальную толщину распила и высокое качество обработанных поверхностей, что продиктовано необходимостью минимизации безвозвратных потерь алмазного сырья.

Проводимые на сегодня исследования по повышению производительности и качества распиливания (разделения) кристаллов алмаза можно свести к двум основным направлениям. Первое связано с совершенствованием традиционного процесса механического распиливания кристаллов алмаза, главным образом за счет создания различных средств автоматизации, а второе – с применением новых методов обработки. К ним следует отнести лазерный, термохимический, а также электрофизические методы, которые основаны на использовании мощных ионных или электронных пучков. Вместе с тем способ механического распиливания, благодаря его простоте, универсальности и обеспечению удовлетворительных технологических показателей, на сегодня остается основным в алмазообработке.

Как доказано практикой, одним из эффективных средств повышения производительности, точности и качества обработки материалов резанием является сообщение вынужденных колебаний инструменту или обрабатываемой заготовке.

Вместе с тем, несмотря на большие потенциальные возможности по совершенствованию технологической операции распиливания сверхтвердых кристаллов путем введения вынужденных колебаний в зону обработки, до настоящего времени практически отсутствуют систематизированные сведения как научного, так и практического плана, позволяющие оценить целесообразность и эффективность применения такого способа.

Поэтому разработка технологии распиливания сверхтвердых кристаллов путем сообщения заготовке вынужденных колебаний и создание соответствующего станочного оборудования, обеспечивающих существенное повышение производительности и качества обработки, является актуальной научно-технической задачей, решение которой имеет важное практическое значение для алмазообрабатывающей отрасли и ювелирного производства, а также для электронной промышленности, оптического и оптико-электронного приборостроения.

Цель и задачи исследования. Целью работы является теоретическое и технологическое обеспечение повышения производительности и качества распиливания сверхтвердых кристаллов, включая монокристаллы алмаза, путем сообщения заготов-

ке вынужденных колебаний, управляющих кинематикой и динамикой взаимодействия инструмента с заготовкой, процессом хрупкого разрушения ее материала и условиями формирования шероховатости распиленной поверхности.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

1. Определить рациональный тип вибратора для сообщения вынужденных колебаний обрабатываемой заготовке в процессе ее распиливания на станке мод. ШП-2 и на его основе разработать конструкцию распиловочной секции, позволяющую осуществлять процесс распиливания как в обычных условиях, так и при воздействии колебаний.

2. Разработать математическую модель, с помощью которой исследовать кинематику и динамику взаимодействия элементов колебательной системы «заготовка–распиловочный диск», установить ее амплитудно-частотные характеристики при различных режимах работы вибратора и определить параметры, обеспечивающие резонансное возбуждение системы с реализацией виброударного режима взаимодействия заготовки с торцевой (режущей) поверхностью распиловочного диска.

3. Разработать математическую модель процесса распиливания сверхтвердых кристаллов на примере монокристаллов алмаза, позволяющую определить интенсивность (производительность) распиливания заготовок как в обычных условиях, так и при виброударном режиме обработки.

4. Разработать методику проведения экспериментальных исследований для изучения влияния параметров виброударного режима обработки на выходные показатели процесса распиливания сверхтвердых кристаллов.

5. Выявить особенности механизма хрупкого разрушения материала заготовки в процессе ее распиливания в виброударном режиме и оценить их влияние на изменение интенсивности (производительности) распиливания, условия формирования микрорельефа (качества) обработанных поверхностей заготовок и износостойкость распиловочного диска.

6. Провести сравнительные экспериментальные исследования по распиливанию образцов в обычных условиях и при виброударном режиме обработки. Установить количественные зависимости и соотношения, позволяющие оценить степень влияния параметров виброударного режима обработки на интенсивность (производительность) распиливания, шероховатость (качество) обработанных поверхностей и износостойкость инструмента – распиловочного диска.

7. Провести промышленные испытания разработанной технологии и модернизированной распиловочной секции станка мод. ШП-2 по распиливанию монокристаллов алмаза и внедрить результаты работы на алмазообрабатывающем производстве.

Объект и предмет исследования. Объектом исследования является процесс механического распиливания сверхтвердых кристаллов, включая монокристаллы алмаза, при сообщении заготовке вынужденных колебаний.

Предмет исследования – теоретическое и экспериментальное изучение закономерностей влияния параметров колебаний (амплитуда и частота), сообщаемых заготовке, на повышение интенсивности (производительности) распиливания сверхтвердых кристаллов, снижение шероховатости (улучшение качества) обработанных поверхностей и повышение износостойкости инструмента – распиловочного диска.

Гипотеза. В работе выдвинуто и подтверждено предположение о том, что если в процессе механического распиливания сверхтвердых кристаллов обеспечить дополнительное периодическое ударное взаимодействие торцевой (режущей) поверхности

инструмента с обрабатываемой заготовкой, т. е. реализовать виброударный режим обработки, то это позволит:

- повысить производительность выполнения операции за счет интенсификации процесса хрупкого разрушения материала в зоне резания;
- снизить шероховатость (повысить качество) распиленных поверхностей заготовок за счет интенсификации процесса сглаживания (затираания) неровностей при взаимодействии пропиленных участков заготовки с боковыми поверхностями распиловочного диска в условиях действия по площадкам контакта относительных колебательных смещений;
- повысить износостойкость распиловочного диска за счет создания более благоприятных, по сравнению с традиционной обработкой, условий его работы.

Методология и методы проведения исследования. Теоретическая часть работы выполнена на основе использования фундаментальных положений технологии машиностроения, теории колебаний, теоретической механики, теории резания, механики разрушения твердых тел, теории трения и изнашивания. Численные исследования выполнялись с использованием современных программных продуктов и средств вычислительной техники.

В процессе выполнения экспериментальных исследований использовались промышленное оборудование и инструмент для распиливания сверхтвердых кристаллов. При проведении отдельных экспериментов применялись специально разработанные устройства и технологическая оснастка.

Для измерения параметров, характеризующих как режимы распиливания (статическая нагрузка, амплитуда и частота колебаний заготовки), так и выходные показатели операции (интенсивность распиливания, шероховатость обработанных поверхностей заготовки, форма и размеры продуктов обработки, состояние поверхности распиловочного диска и его стойкость) использовались современные методы и средства измерения. В частности, микроскоп БМИ ГОСТ 8074-71, профилограф-профилометр мод. 252, сканирующий электронный микроскоп модели «Cam Scan» фирмы «Кембридж-инструмент» (Англия), виброметр типа 2П1 фирмы «Брюль и Кьер» с вибропреобразователем типа 4370, тахометр стробоскопический типа ЗТСт-М, микроанализатор мод. AN-10000 фирмы «Link Analytical» (Англия).

Математическая обработка результатов экспериментов проводилась по известным отработанным методикам (ГОСТ 8.207-76. Математическая обработка результатов прямых измерений).

Научная новизна работы заключается в следующем:

- обоснована целесообразность и эффективность применения в качестве источника колебаний, сообщаемых заготовке в процессе ее распиливания на станке мод. ШП-2, вибратора центробежного типа, который при простоте конструкции, надежности, малых габаритах и массе обеспечивает реализацию виброударного режима взаимодействия торцевой поверхности распиловочного диска с обрабатываемой заготовкой и управление его амплитудно-частотными параметрами;
- разработана математическая модель, позволяющая исследовать кинематику и динамику взаимодействия элементов колебательной системы «заготовка–распиловочный диск», в рамках которой получены ее амплитудно-частотные характеристики при различных режимах работы центробежного вибратора (частота вращения вала электродвигателя, место его закрепления на стреле, значение неуравновешенной массы и ее расстояние относительно оси вращения), и определены параметры, при ко-

торых происходит резонансное возбуждение системы с обеспечением виброударного режима взаимодействия ее звеньев;

- разработана математическая модель процесса распиливания монокристаллов алмаза, позволяющая определить интенсивность распиливания в обычных условиях и при виброударном режиме обработки с учетом влияния технологических (скорость резания, статическая нагрузка) и вибрационных (амплитуда и частота колебаний заготовки) параметров, а также переменных по глубине пропила сил, заклинивающих распиловочный диск. На ее основе получены аналитические зависимости для количественной оценки степени влияния виброударного режима обработки на повышение интенсивности распиливания в зависимости от технологических и вибрационных параметров;

- расширены представления о механизме разрушения хрупких материалов при их распиливании в виброударном режиме. Показано, что величина ударного импульса, действующего за время контакта торцевой поверхности распиловочного диска с заготовкой, определяет глубину распространения микротрещин, наносимых зернами алмазных микропорошков на обрабатываемую поверхность, а частота следования этих импульсов определяет степень развития (разветвления) сети микротрещин в поверхностном (предразрушенном) слое заготовки, который легко отделяется при повторных воздействиях;

- установлено, что по сравнению с традиционным при виброударном режиме распиливания средний размер частиц, удаляемых с поверхности заготовки (продуктов разрушения), оказывается меньше и их дискретность уменьшается по мере увеличения амплитуды колебательного ускорения, что свидетельствует о снижении удельной работы хрупкого разрушения материала заготовки за счет виброударного воздействия. При этом, несмотря на меньший размер скалываемых частиц, количество материала, удаляемого в единицу времени, при виброударном режиме обработки оказывается большим, чем при традиционной обработке, что обуславливает повышение интенсивности распиливания;

- установлено, что применение виброударного режима распиливания позволяет снизить шероховатость обработанных поверхностей заготовок и тем самым улучшить качество площадок распиленных полуфабрикатов, а соответственно повысить выход годного. Показано, что это происходит, во-первых, в результате уменьшения размера частиц материала, удаляемых в зоне резания, а во-вторых, за счет интенсификации процесса сглаживания неровностей при взаимодействии пропиленных участков заготовки с боковыми поверхностями распиловочного диска в условиях действия по площадкам контакта относительных колебательных смещений;

- показано, что при виброударном режиме обработки, благодаря дискретному характеру взаимодействия торцевой поверхности инструмента с обрабатываемой заготовкой и наличию относительных колебательных смещений, действующих по площадкам контакта боковых поверхностей распиловочного диска с пропиленными участками заготовки, возрастает подвижность и активность зерен алмазных микропорошков, происходит их постоянная переориентация в зонах контакта, что способствует повышению их режущей (диспергирующей) способности, устранению явления пакетирования, а также снижению сил резания и трения, действующих в процессе обработки. За счет этого создаются более благоприятные, по сравнению с традиционной обработкой, условия работы распиловочного диска, что обуславливает повышение его износостойкости.

Практическая значимость полученных результатов состоит:

- в разработке технологической операции распиливания монокристаллов алмаза с применением виброударного режима обработки, обеспечивающей, по сравнению с традиционной обработкой, повышение интенсивности (производительности) распиливания, снижение шероховатости (улучшение качества) поверхности распиленных заготовок и повышение износостойкости инструмента;
- в разработке конструкции и создании центробежного вибратора, включающего микроэлектродвигатель постоянного тока мод. ДПМ-25-Н1-03 и систему регулирования неуравновешенной массы, собранных в корпусе, который позволяет устанавливать вибратор на верхней поверхности стрелы распиловочной секции станка мод. ШП-2 без ее конструктивных изменений;
- в создании на базе промышленного станка мод. ШП-2 распиловочной секции с центробежным вибратором, позволяющей осуществлять распиливание монокристаллов алмаза по разработанной технологии;
- в определении оптимальных параметров процесса распиливания сверхтвердых кристаллов при виброударном режиме обработки, обеспечивающих при наибольшей производительности выполнения операции наименьшую шероховатость поверхности площадок распиленных полуфабрикатов.

Результаты работы внедрены в учебный процесс подготовки студентов специальности 1-52 02 01 «Технология и оборудование ювелирного производства».

Экономическая значимость полученных результатов. Результаты работы внедрены на предприятии РАУП ГПО «Кристалл» (г. Гомель) с годовым экономическим эффектом 79 млн. руб. (в ценах 2004 г.). Он получен за счет повышения производительности распиливания монокристаллов алмаза, улучшения качества площадок распиленных полуфабрикатов, что позволило снизить безвозвратные потери алмазного сырья и увеличить выход годного, а также за счет повышения износостойкости распиловочных дисков.

Разработанные в диссертации способ распиливания сверхтвердых кристаллов с использованием центробежного вибратора, распиловочная секция с вибратором, система управления и центробежный вибратор могут быть использованы в качестве коммерческого продукта.

Основные положения, выносимые на защиту:

1) результаты сравнительных испытаний четырех типов вибраторов, примененных для сообщения колебаний заготовке в процессе ее распиливания на станке мод. ШП-2, на основании анализа которых обоснована целесообразность использования вибратора центробежного типа. Создание на его базе распиловочной секции, позволяющей осуществлять операцию распиливания как в обычных условиях, так и при воздействии колебаний;

2) математическая модель, позволяющая исследовать кинематику и динамику взаимодействия элементов колебательной системы «заготовка–распиловочный диск», с помощью которой установлены ее амплитудно-частотные характеристики при различных режимах работы центробежного вибратора и определены параметры, при которых реализуется виброударный режим взаимодействия заготовки с торцевой (режущей) поверхностью распиловочного диска;

3) математическая модель процесса распиливания монокристаллов алмаза, которая позволяет определить интенсивность (производительность) распиливания заготовок как в обычных условиях, так и при виброударном режиме обработки, а также ко-

личественно оценить степень влияния параметров этого режима на повышение интенсивности распиливания;

4) результаты теоретических и экспериментальных исследований по установлению особенностей механизма хрупкого разрушения материала заготовки в процессе ее распиливания в условиях виброударного режима обработки;

5) результаты теоретических и экспериментальных исследований по установлению особенностей формирования шероховатости на обработанных поверхностях заготовки в процессе ее распиливания в условиях виброударного режима обработки;

6) результаты сравнительных экспериментальных исследований по распиливанию образцов из синтетического корунда в обычных условиях и при виброударном режиме обработки. Полученные на их основе количественные зависимости и соотношения, позволяющие оценить степень влияния параметров виброударного режима обработки на интенсивность (производительность) распиливания, шероховатость (качество) обработанных поверхностей и износостойкость инструмента – распиловочного диска;

7) результаты производственных испытаний по распиливанию монокристаллов алмаза с использованием разработанной технологии и созданной на базе промышленного станка мод. ШП-2 распиловочной секции с центробежным вибратором.

Личный вклад соискателя. При выполнении работы лично исполнителем:

- проведен комплекс сравнительных испытаний по определению рационального типа вибратора;

- разработана конструкция распиловочной секции станка мод. ШП-2 с центробежным вибратором;

- разработана математическая модель, позволяющая исследовать кинематику и динамику взаимодействия элементов колебательной системы «заготовка–распиловочный диск», установлены ее амплитудно-частотные характеристики при различных режимах работы вибратора и определены параметры, при которых происходит резонансное возбуждение системы с реализацией виброударного режима взаимодействия заготовки с торцевой (режущей) поверхностью распиловочного диска;

- разработана методика определения сил заклинивания по глубине пропила и проведены численные исследования по теоретической оценке влияния виброударного режима обработки на интенсивность распиливания;

- разработана методика проведения экспериментов, включающая оценку интенсивности распиливания образцов, шероховатости их обработанных поверхностей, износостойкости распиловочного диска и других параметров;

- проведены экспериментальные исследования по изучению размеров частиц материала заготовки, скальваемых в процессе обработки (продуктов разрушения), и выявлены особенности механизма разрушения хрупких материалов при их распиливании в виброударном режиме;

- установлено влияние виброударного режима взаимодействия обрабатываемой заготовки и инструмента на интенсивность ее распиливания, шероховатость обработанных поверхностей и износостойкость режущего инструмента.

Участие соавторов в совместных работах:

М. Г. Киселев оказывал содействие на всех этапах выполнения настоящей работы;

Г. А. Галенюк участвовала в проведении сравнительных испытаний по выбору рационального типа вибропривода и разработке математической модели процесса механического распиливания монокристаллов алмаза;

В. А. Нифагин участвовал в разработке математической модели процесса механического распиливания монокристаллов алмаза.

Апробация результатов диссертации. Основные положения и результаты работы были доложены и обсуждены на пяти международных научно-технических конференциях: «Наука–образованию, производству, экономике» (Минск, 2003, 2004 гг.); «Теоретические и технологические основы упрочнения и восстановления изделий машиностроения» (Новополоцк, 2003 г.), «Новые материалы и технологии: порошковая металлургия, композиционные материалы, защитные покрытия, сварка», (Минск, 2004 г.); «Машиностроение», (Минск, 2004 г.).

Опубликованность результатов. Основные результаты диссертации опубликованы в 5 статьях в научных журналах; 1 статье в научном сборнике; 2 материалах конференций; 1 тезисе доклада на конференциях. Общее количество страниц опубликованных материалов – 42 с.

Структура и объем диссертации. Диссертация содержит введение, общую характеристику работы, четыре главы, заключение, список использованных источников и приложение. Она изложена на 168 страницах, включает 56 рисунков, а также список литературы из 117 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В **первой главе** на примере механического распиливания монокристаллов алмаза приводятся основные сведения о назначении данной операции, предъявляемых к ней требованиях, а также применяемом оборудовании и технологической оснастке. При этом особое внимание обращается на требование обеспечения высокого качества поверхности распиленных заготовок (полуфабрикатов), так как оно определяет величину припуска, удаляемого на последующей операции их подшлифовки и соответственно значение безвозвратных потерь дорогостоящего алмазного сырья.

Приводятся результаты предшествующих исследований, отражающие влияние режимов обработки на интенсивность распиливания монокристаллов алмаза и качество обработанных поверхностей. На их основе показана ограниченность технологических возможностей традиционного механического распиливания монокристаллов алмаза в отношении дальнейшего повышения производительности и качества их обработки.

Приведен обзор современных представлений о механизме разрушения монокристаллов алмаза, включая существующие гипотезы их разрушения в процессе механического распиливания. В этом разделе приведены фамилии известных ученых, внесших большой вклад в создание и развитие теоретических основ изнашивания и разрушения монокристаллов алмаза.

Рассмотрены основные пути совершенствования технологической операции распиливания (разделения) монокристаллов алмаза, которые можно свести к двум основным направлениям. Первое связано с совершенствованием традиционного распиливания за счет применения систем контроля и автоматического регулирования режимов обработки, использования явления электризации в процессе распиливания, применения распиловочных дисков с повышенными эксплуатационными показателями. Второе направление основано на применении методов разделения монокристаллов, эффективность которых не зависит или мало зависит от твердости обрабатываемого

мой заготовки. Это лазерная, электроэрозионная, электронно-лучевая, термохимическая обработка монокристаллов алмаза.

Вместе с тем исходя из анализа комплекса технологических показателей и в первую очередь производительности и качества обработанных поверхностей, а также экономической целесообразности показано, что метод механического распиливания монокристаллов алмаза, благодаря своей простоте, универсальности и обеспечению удовлетворительного уровня выходных показателей, остается на сегодня основным в алмазообработке.

Последний раздел главы посвящен анализу литературных данных по применению вынужденных колебаний для интенсификации процесса механического распиливания монокристаллов алмаза, включая ультразвуковые. Показано, что, несмотря на подтвержденную в лабораторных условиях целесообразность применения ультразвуковых колебаний, в предшествующих исследованиях практически отсутствуют систематизированные теоретические и экспериментальные данные, отражающие эффективность применения более простых по возбуждению и управлению низкочастотных колебаний, обеспечивающих виброударный режим распиливания сверхтвердых кристаллов.

На основании вышеизложенного сформулированы цель и задачи работы.

- Во **второй главе**, с учетом особенностей технологической схемы механического распиливания монокристаллов алмаза, применяемого станочного оборудования и условий выполнения операции, а также с целью внедрения разрабатываемой технологии в производство сформулированы основные требования к вибратору, сообщающему колебания заготовке.

Проведены сравнительные испытания четырех типов вибраторов для сообщения колебаний заготовке в процессе ее распиливания на станке мод. ШП-2 (ультразвуковая колебательная система с пьезокерамическим преобразователем и подвижным промежуточным элементом, ультразвуковая колебательная система с ферритовым преобразователем, электромагнитный вибратор, центробежный вибратор). При этом установлено, что оптимальным является вибратор центробежного типа, который при простой конструкции, надежности в работе, малых габаритах и массе легко монтируется на стреле распиловочной секции и обеспечивает виброударный режим взаимодействия торцевой поверхности распиловочного диска с заготовкой, а также позволяет управлять его амплитудно-частотными параметрами.

На базе микроэлектродвигателя постоянного тока мод. ДПМ-25-Н1-03 разработана конструкция малогабаритного центробежного вибратора, с помощью которого проведена модернизация распиловочной секции станка мод. ШП-2, позволившая осуществлять операцию распиливания как в обычных условиях, так и при виброударном режиме обработки (рис. 1).

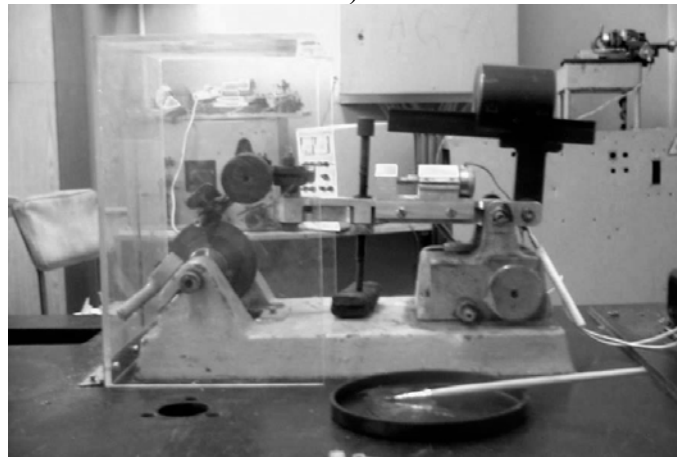
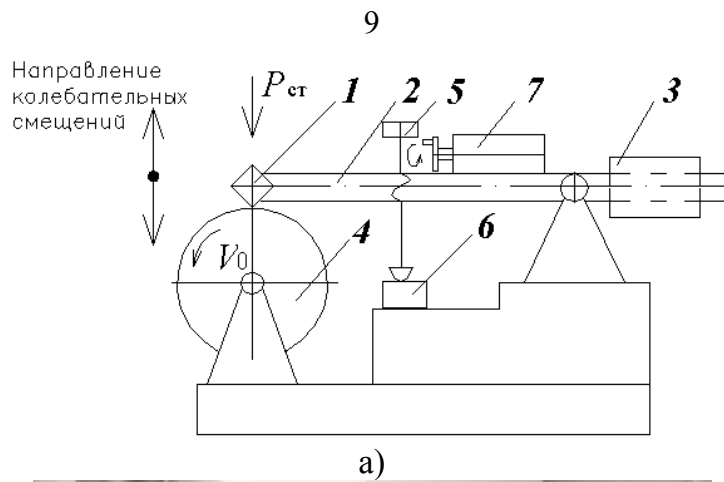


Рис. 1. Схема а) и фотография общего вида б) экспериментальной установки с центробежным вибратором: 1 – обрабатываемая заготовка; 2 – стрела; 3 – противовес; 4 – распиловочный диск; 5 – регулировочный винт; 6 – упругая прокладка; 7 – вибратор

С помощью вибрметра типа 2П1 фирмы «Брюль и Кьер» с вибропреобразователем типа 4370 экспериментально установлены амплитудно-частотные характеристики разработанной распиловочной секции (рис.2).

Амплитуда колебаний, мкм



Рис. 2. Амплитудно-частотные характеристики распиловочной секции с центробежным вибратором для различных значений массы дебаланса: 1 – 3,43 г; 2 – 5,28 г; 3 – 6,28 г

Полученные зависимости свидетельствуют о том, что применение вынужденных колебаний частотой порядка 40 Гц позволяет реализовать резонансный режим работы распиловочной секции, характеризующийся значительной амплитудой возбуждаемых колебаний.

Разработана методика проведения экспериментальных исследований по оценке влияния виброударного режима обработки на основные показатели операции механического распиливания.

В экспериментах применялись образцы в форме кубика с размером ребра, равным 5 мм, изготовленные из синтетического корунда твердостью 9 единиц по шкале Мооса. Перед обработкой они ориентировались «на ребро» относительно режущего инструмента, что характерно для процесса распиливания кристаллов алмаза. В качестве режущего инструмента использовались серийные распиловочные диски РАУП ГПО «Кристалл» (г. Гомель), толщиной 0,05 мм. В ходе проведения опытов были приняты три режима виброударного распиливания, параметры которых приведены в табл. 1.

Таблица 1.

Основные параметры вибратора на трех режимах его работы

Режим работы вибратора	Частота вращения вала электродвигателя, об/мин	Частота колебаний заготовки, Гц	Амплитуда колебаний заготовки, мкм	Амплитуда колебательной скорости, м/мин	Амплитуда колебательного ускорения, м/с ²
1	2480	41,3	87,4	1,36	5,88
2	5110	85,2	32,4	1,04	9,28
3	6000	100	25,3	0,95	9,98

Режим 1 соответствует резонансу распиловочной секции, в режиме 2 частота вынужденных колебаний кратна резонансной частоте секции, а режим 3 соответствует максимальной скорости вращения вала центробежного вибратора и соответственно наибольшей частоте вынужденных колебаний.

В ходе каждого опыта с помощью электронного секундомера определялось время распиливания. Площадь распиленной поверхности образца определялась путем измерения сторон полученного сечения на микроскопе БМИ ГОСТ 8074-71. Интенсивность распиливания оценивалась отношением площади распиленной поверхности заготовки ко времени ее обработки (мм²/мин).

Для оценки шероховатости обработанной поверхности использовался параметр R_z , значение которого определялось с помощью профилографа-профилометра мод. 252. При этом измерения проводились по всей длине диагонали распиленной поверхности в направлении, перпендикулярном следам обработки.

В ходе выполнения экспериментов по распиливанию образцов с колебаниями, для предотвращения появления на них сколов на стадиях врезания распиловочного диска в заготовку и ее окончательного разделения, вибратор отключался.

В **третьей главе** приводится описание математической модели для исследования кинематики и динамики взаимодействия элементов колебательной системы «заготовка–распиловочный диск» при ее возбуждении центробежным вибратором. По-

лучены аналитические зависимости и на их основе проведено численное исследование кинематики движения заготовки, закрепленной на стреле распиловочной секции, при различных режимах работы центробежного вибратора. Определены параметры колебательной системы, при которых происходит ее резонансное возбуждение с реализацией виброударного режима взаимодействия заготовки с торцевой поверхностью распиловочного диска. Показано, что применение резонансного или кратных ему режимов работы распиловочной секции приводит к установлению в системе стабильной амплитуды колебаний. Использование виброударного режима 3 с частотой, не кратной резонансной, вызывает нестабильный по амплитуде режим колебаний в виде биений.

С учетом установленных закономерностей разработана математическая модель процесса распиливания монокристалла алмаза, схема которого представлена на рис. 3. Обрабатываемый кристалл алмаза 1 за счет приложенной статической нагрузки $P_{ст}$ прижимается к торцевой поверхности вращающегося распиловочного диска 2, в результате чего осуществляется процесс распиливания в обычных условиях. Сечение распиливаемого кристалла алмаза представляет собой квадрат со стороной a . Для удобства последующего анализа представим распиловочный диск радиуса R в виде прямоугольного полотна 3 ($R = \infty$), режущая кромка которого имеет ту же скорость, что и точка режущей кромки распиловочного диска. Это вполне допустимо, поскольку размер контакта весьма мал в сравнении с R .

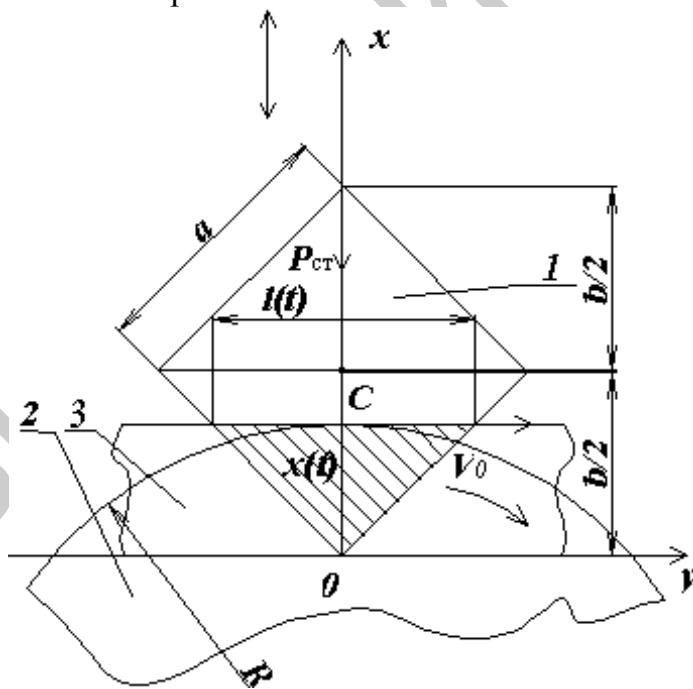


Рис. 3. Схема процесса распиливания монокристалла алмаза

На основании сравнения работы, затрачиваемой установкой на резание образца, и работы на его разрушение получено дифференциальное уравнение

$$x(t) \cdot x(t) = \frac{\alpha \cdot j_{ст} \cdot V_0}{2 \cdot \gamma_{ст} \cdot h}, \quad (1)$$

где V_0 – скорость кромки диска (скорость резания);

$j_{ст}$ – импульс, сообщаемый образцу перпендикулярно оси x , за единицу времени (среднее усилие взаимодействия);

α – коэффициент, характеризующий долю работы силы резания, затрачиваемую на разрушение кристалла алмаза ($\alpha < 1$);

$\gamma_{ст}$ – удельная (на единицу объема) работа разрушения-образования малых частиц материала образца при обычном режиме распиливания;

h – ширина распил.

Установлено, что переход от безотрывного к виброударному взаимодействию обрабатываемой заготовки с режущим инструментом наступает при выполнении неравенства

$$A_0 > 2x_{сум} = 2(P_{ст}/c + x_{ск}), \quad (2)$$

где A_0 – амплитуда вынужденных колебаний;

c – эффективная жесткость системы;

$x_{сум}$ – суммарный натяг в системе;

$P_{ст}$ – статическая нагрузка на заготовку;

$x_{ск}$ – скоростной натяг в системе.

Решение уравнения (1) позволило аналитически определить время распиливания кристалла алмаза как в обычных условиях обработки ($\tau_{ст}$), так и при виброударном воздействии ($\tau_{вр}$), а также получить выражение для заниженной оценки (в предположении, что $\gamma_{ст} = \gamma_{вр}$) степени влияния виброударного режима обработки на повышение интенсивности распиливания кристалла алмаза η_τ :

$$\eta_\tau = \left(1 - \frac{\tau_{вр}}{\tau_{ст}}\right) = \left(1 - \frac{P_{ст} \cdot \gamma_{вр}}{I_{вр} \cdot \gamma_{ст}}\right) = \left(1 - \frac{P_{ст} \cdot T \cdot \gamma_{вр}}{j_{вр} \cdot \gamma_{ст}}\right), \quad (3)$$

где $j_{вр}$ – импульс силы, сообщаемый кристаллу алмаза за время его контакта с распиловочным диском;

$\gamma_{вр}$ – удельная (на единицу объема) работа разрушения-образования малых частиц материала образца при виброударном режиме распиливания

$I_{вр}$ – величина импульса за единицу времени, равную периоду вынужденных колебаний T при виброударном распиливании.

Причем значение $j_{вр}$ определяется по выражению

$$j_{вр} = \frac{4P_{ст}^2}{A_0 v_{вр} c} C \cdot D, \quad (4)$$

где $v_{вр}$ – частота вынужденных колебаний;

C и D – безразмерные коэффициенты, равные единице при безотрывном режиме ($A_0 \leq 2x_{сум}$) и нелинейно возрастающие с увеличением неравенства $A_0 > 2x_{сум}$.

На основании экспериментально полученных данных об изменении по глубине пропила сил заклинивания режущего инструмента со стороны распиленных частей заготовки и решения численным методом дифференциального уравнения (1) получены зависимости, которые позволили более точно определить степень влияния вынужденных колебаний на интенсивность распиливания.

Экспериментально установлено, что по сравнению с традиционным распиливанием хрупких материалов применение виброударного режима обработки приводит к

уменьшению размера скалываемых в процессе обработки частиц материала (продуктов разрушения), вызывая снижение удельной работы хрупкого разрушения материала заготовки. Исходя из положений теории хрупкого разрушения показано, что форма и размеры скалываемых с поверхности заготовки частиц в первую очередь определяются степенью развития сети микротрещин в предразрушенном слое. Поэтому причина снижения размеров скалываемых частиц заключается в том, что в силу периодического ударного взаимодействия торцевой поверхности инструмента с материалом заготовки интенсифицируется процесс развития сети микротрещин в ее предразрушенном слое. При этом, несмотря на меньший размер скалываемых частиц, количество материала, удаляемого с заготовки в единицу времени, при виброударном режиме распиливания оказывается большим, чем при традиционной обработке, что обуславливает повышение интенсивности распиливания.

Четвертая глава посвящена анализу полученных экспериментальных данных.

Установлено, что по сравнению с распиливанием в обычных условиях реализация виброударного режима обработки во всех случаях повышает интенсивность распиливания образцов из синтетического корунда. При этом наибольшее ее значение соответствует режиму 2, несколько меньшее – режиму 3 и еще меньшее – режиму 1.

Для количественной оценки степени влияния виброударного режима обработки на интенсивность (производительность) распиливания принят коэффициент эффективности

$$\eta_i = \left(1 - \frac{i_{ст}}{i_{вр}} \right) \cdot 100 \% , \quad (5)$$

где $i_{ст}$ и $i_{вр}$ – соответственно интенсивность распиливания образца в обычном и виброударном режимах обработки.

Его значения при различной статической нагрузке на заготовку для принятых виброударных режимов приведены в табл. 2.

Таблица 2

Значения коэффициента эффективности при различной статической нагрузке на заготовку и принятых виброударных режимах

Значение статической нагрузки, Н	Значение коэффициента эффективности, %		
	Варианты виброударного режима обработки		
	1	2	3
4,00	37,1	73,5	70,3
3,06	72,1	83,4	73,7
2,11	77,9	84,0	78,8

Приведенные данные свидетельствуют о том, что реализация виброударного режима обработки в процессе распиливания позволяет существенно повысить производительность выполнения операции. При этом степень влияния вынужденных колебаний возрастает по мере уменьшения статической нагрузки. При значении $P_{ст} = 2,1$ Н величина η_i для всех виброударных режимов достигает 70-84 %. В случае обработки при максимальной статической нагрузке $P_{ст} = 4,0$ Н наиболее эффективным с точки зрения повышения производительности распиливания является режим 2.

В результате проведенных исследований установлены особенности виброударного взаимодействия распиловочного диска и обрабатываемой заготовки. Показано,

что при прочих равных условиях амплитуда колебаний является главным образом ответственной за глубину формирования предразрушенного слоя, а частота колебаний – за степень его повреждения, т. е. за прочность связи предразрушенного слоя с основным материалом заготовки.

Для оценки шероховатости распиленных поверхностей, как одного из показателей их качества, использовался параметр Rz . Его значения для принятых режимов обработки при различной статической нагрузке приведены на рис. 4.

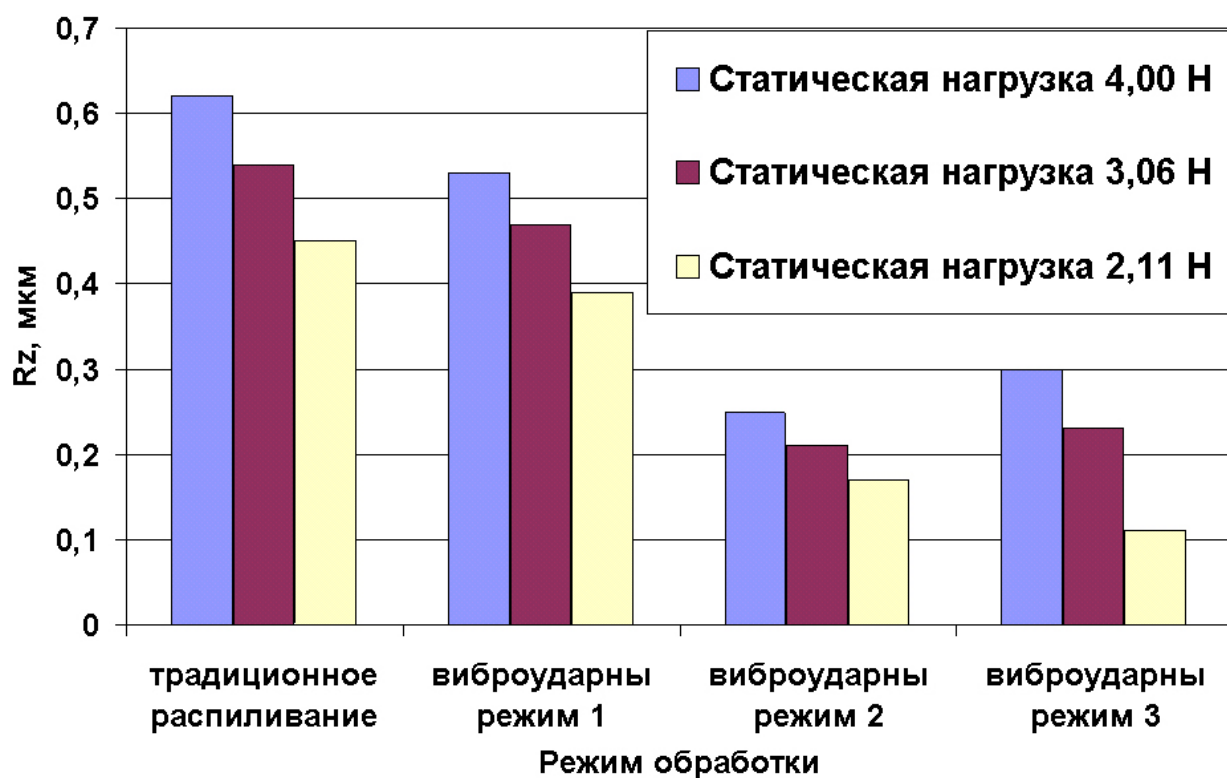


Рис. 4. Зависимость параметра Rz распиленных поверхностей заготовок из синтетического корунда от статической нагрузки для принятых режимов обработки

Из приведенных данных следует, что по сравнению с распиливанием в обычных условиях реализация вибродарного режима обработки приводит к снижению параметра Rz шероховатости поверхности площадок распиленных образцов. Это происходит, во-первых, благодаря снижению первоначальной шероховатости распиленной поверхности вследствие скалывания частиц меньшего размера, а во-вторых, за счет интенсификации процесса трения-изнашивания распиленных частей заготовки о боковые поверхности распиловочного диска из-за наличия между ними колебательных смещений, что активизирует процесс сглаживания микронеровностей на обработанной поверхности. При этом наибольшее влияние на снижение шероховатости оказывает обработка на вибродарном режиме 2, меньшее – на режиме 3 и еще меньшее – на режиме 1.

Представлены фотографии и установлены особенности механизма формирования топографии обработанной поверхности при различных значениях вибрационных параметров.

По результатам проведенных исследований установлено, что оптимальным с точки зрения обеспечения минимальной шероховатости распиленной поверхности при наибольшей интенсивности обработки является вибродарный режим 2.

Приведены результаты экспериментальных исследований по влиянию виброударного режима обработки на износостойкость распиловочных дисков. Установлено, что за счет создания более благоприятных по сравнению с традиционной обработкой условий их работы (снижаются силы резания и трения, повышается подвижность и активность зерен алмазных микропорошков в зонах контакта, устраняется или уменьшается явление пакетирования) на 20–25 % повышается износостойкость распиловочных дисков.

Проведены промышленные испытания распиловочной секции с центробежным вибратором на РАУП ГПО «Кристалл» (г. Гомель), по результатам которых установлено, что применение виброударного режима обработки при распиливании монокристаллов алмаза с оптимальными параметрами позволило:

- повысить производительность распиливания на 15 %;
- снизить за счет повышения качества площадок распиленных полуфабрикатов безвозвратные потери алмазного сырья и повысить выход годного по предприятию на 0,14 %;
- повысить на 20 % износостойкость распиловочных дисков.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках выполненных исследований получены следующие принципиально новые результаты:

1. Проведены сравнительные испытания четырех типов вибраторов для сообщения колебаний заготовке в процессе ее распиливания на станке мод. ШП-2, по результатам которых обоснована целесообразность использования вибратора центробежного типа, который при простой конструкции, высокой надежности, малых габаритах и массе обеспечивает реализацию виброударного режима взаимодействия торцевой поверхности распиловочного диска с обрабатываемой заготовкой, а также простое управление его амплитудно-частотными параметрами. На базе микроэлектродвигателя постоянного тока мод. ДПМ-25-Н1-03 создан малогабаритный центробежный вибратор, с помощью которого осуществлена модернизация распиловочной секции станка мод. ШП-2, что позволило выполнять операцию распиливания как в обычных условиях, так и при сообщении заготовке вынужденных колебаний [1], [8], [9].

2. Разработана математическая модель, позволяющая исследовать кинематику и динамику взаимодействия элементов колебательной системы «заготовка–распиловочный диск», в рамках которой получены ее амплитудно-частотные характеристики при различных режимах работы центробежного вибратора (частота вращения вала электродвигателя, место его закрепления на стреле, значение неуравновешенной массы и ее расстояние относительно оси вращения) и определены параметры колебательной системы, при которых происходит ее резонансное возбуждение с обеспечением виброударного режима взаимодействия ее звеньев, т.е. заготовки и распиловочного диска [3].

3. Разработана математическая модель процесса распиливания монокристаллов алмаза, позволяющая определить интенсивность их распиливания в обычных условиях и при виброударном режиме обработки с учетом влияния технологических (скорость резания, статическая нагрузка на заготовку) и вибрационных (амплитуда и частота колебаний заготовки) параметров, а также переменных по глубине пропила сил, заклинивающих распиловочный диск. Получены аналитические зависимости для количественной оценки степени влияния виброударного режима обработки на повы-

шение интенсивности распиливания в зависимости от технологических и вибрационных параметров. При этом показано, что влияние колебаний на повышение интенсивности распиливания начинает проявляться при переходе от безотрывного к виброударному режиму взаимодействия заготовки с торцевой поверхностью распиловочного диска. Установлено, что это условие выполняется в том случае, когда амплитуда колебаний заготовки (A_0) превышает удвоенную величину суммарного натяга ($x_{\text{сум}}$) в колебательной системе «заготовка–распиловочный диск», т.е. при наступлении неравенства $A_0 > 2x_{\text{сум}}$. Причем по мере его увеличения возрастает интенсивность виброударного режима взаимодействия элементов указанной системы, что сопровождается увеличением степени влияния колебаний на повышение производительности выполнения операции [4].

4. Установлено, что по сравнению с традиционным при виброударном режиме распиливания средний размер частиц, удаляемых с поверхности заготовки (продуктов разрушения), оказывается меньше и их дисперсность уменьшается по мере увеличения колебательного ускорения, что свидетельствует о снижении удельной работы хрупкого разрушения материала заготовки. При этом, несмотря на меньший размер частиц, количество материала, удаляемого с заготовки в единицу времени, оказывается большим, чем при традиционной обработке, что обуславливает повышение интенсивности распиливания [1], [3], [5], [7], [9].

5. Установлено, что применение виброударного режима распиливания позволяет снизить шероховатость обработанных поверхностей заготовок и тем самым улучшить качество площадок распиленных полуфабрикатов и соответственно повысить выход годного. Показано, что это происходит, во-первых, в результате уменьшения размера частиц материала, удаляемых в зоне резания, а во-вторых, за счет интенсификации процесса сглаживания неровностей при взаимодействии пропиленных участков заготовки с боковыми поверхностями распиловочного диска в условиях действия по площадкам контакта относительных колебательных смещений. Показано, что при виброударном режиме распиливания, благодаря дискретному характеру взаимодействия торцевой поверхности инструмента с обрабатываемой заготовкой, а также наличию относительных колебательных смещений, действующих по площадкам контакта боковых поверхностей распиловочного диска с пропиленными участками заготовки, возрастает подвижность и активность зерен алмазных микропорошков, происходит их постоянная переориентация в зонах контакта, что вызывает повышение их режущей (диспергирующей) способности, устранение или уменьшение явления пакетирования продуктов обработки, а также происходит снижение сил резания и трения, действующих в процессе распиливания. В результате совокупного проявления всех этих факторов создаются более благоприятные, по сравнению с традиционной обработкой, условия работы распиловочного диска, что обуславливает повышение его износостойкости [1–2], [5–6].

6. Получены экспериментальные зависимости, отражающие степень влияния параметров виброударного режима распиливания заготовок из синтетического корунда (9 единиц твердости по шкале Мооса) на повышение интенсивности распиливания, снижение шероховатости поверхности обработанных заготовок и повышение износостойкости распиловочного диска. Установлено, что по сравнению с традиционным виброударный режим распиливания в зависимости от его параметров позволяет повысить производительность выполнения операции на 35–85 %, снизить параметр Rz шероховатости поверхности площадок распиленных заготовок с 0,62 мкм до 0,25 мкм и повысить износостойкость распиловочного диска на 20–25 %. Опреде-

лены оптимальные параметры распиливания сверхтвердых кристаллов (9 единиц твердости по шкале Мооса) в виброударном режиме обработки на модернизированной секции станка мод. ШП-2, обеспечивающие наименьшую шероховатость поверхности ($Rz = 0,25$ мкм) площадок распиленных заготовок при наибольшем повышении (на 73,5 %) интенсивности распиливания [6], [8].

Проведены промышленные испытания разработанной технологии и модернизированной секции станка мод. ШП-2 на РАУП ГПО «Кристалл» (г. Гомель) по распиливанию монокристаллов алмаза при оптимальных параметрах обработки. Установлено, что по сравнению с традиционным применением виброударного режима распиливания позволило повысить производительность выполнения операции на 15 %; снизить, за счет повышения качества площадок распиленных полуфабрикатов, безвозвратные потери алмазного сырья и повысить выход годного по предприятию на 0,14%; повысить на 20 % износостойкость распиловочных дисков.

Экономический эффект от внедрения результатов работы на РАУП ГПО «Кристалл» (г. Гомель) составил 79 млн. руб. в год (в ценах 2004 г.).

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в научных журналах

1. Киселев М.Г., Галенюк Г.А., Дроздов А.В. Влияние ультразвуковых колебаний на производительность и качество процесса механического распиливания хрупких материалов// Вестник БНТУ.— 2003.— № 1.— С. 38—42.
2. Киселев М.Г., Галенюк Г.А., Дроздов А.В. Влияние ультразвука на шероховатость распиленной поверхности в процессе распиливания хрупких материалов// Теория и практика машиностроения.— 2003.— № 2.— С. 88—93.
3. Киселев М.Г., Нифагин В.А., Дроздов А.В. Об одной модели взаимодействия виброакустической системы с жестким основанием// Инженерно-физический журнал.— 2004.— № 1.— С. 20—27.
4. Киселев М.Г., Галенюк Г.А., Дроздов А.В. Теоретическая оценка степени влияния ультразвука на повышение производительности процесса механического распиливания монокристаллов сверхтвердых материалов// Весці Акад. навук Беларусі. Сер. фізіка-тэхнічных навук.— 2004.— № 2.— С. 55—59.
5. Киселев М.Г., Дроздов А.В. Особенности формирования шероховатости обработанной поверхности при виброударном распиливании хрупких материалов// Весці Акад. навук Беларусі. Сер. фізіка-тэхнічных навук.— 2004.— № 4.— С. 67—70.

Статьи в научных сборниках

6. Киселев М.Г., Дроздов А.В., Словеснов А.С. Влияние низкочастотного виброударного режима на качество поверхности твердых материалов при распиливании// Машиностроение: Респ. межвед. сб. науч. тр. Вып. 20. В 2 т. Т.2 / Под ред. И. П. Филонова.— Минск: УП «Технопринт», 2004.— С. 53—58.

Материалы конференций

7. Теоретическая оценка интенсифицирующего воздействия ультразвука на производительность процесса механического распиливания кристаллов алмаза / М.Г. Киселев, В.Т. Минченя, Г.А. Галенюк, А.В. Дроздов // Наука – образованию, производству, экономике: Материалы междунар. науч.-техн. конф.— Минск, 2003.— С. 107—113.
8. Киселев М.Г., Дроздов А.В., Словеснов А.С. Повышение режущей способности распиловочных дисков путем применения виброударного режима обработки// Порошковая металлургия, композиционные материалы, защитные покрытия, сварка: Материалы докладов 6-й междунар. науч.-техн. конф.— Минск, 2004.— С. 301—303.

Тезисы докладов на конференциях

9. Киселев М.Г., Дроздов А.В., Словеснов А.С. Установка для распиливания кристаллов алмаза при ультразвуковом воздействии// Наука – образованию, производству, экономике: рефераты докладов междунар. науч.-техн. конф., В 2т. Т.1 / Под ред. Б. М. Хрусталева.— Мн.: УП «Технопринт», 2003.— С. 99.

РЭЗЮМЕ

ДРАЗДОЎ Аляксей Уладзіміравіч

**ПАВЫШЭННЕ ПРАДУКЦЫЙНАСЦІ І ЯКАСЦІ РАСПІЛОЎКІ
ЗВЫШЦВЁРДЫХ КРЫШТАЛЯЎ ШЛЯХАМ НАДАННЯ ЗАГАТОЎЦЫ
ВЫМУШАНЫХ ВАГАННЯЎ**

Ключавыя словы: монакрысталі дьямента, распілоўка, вібраўдарнае ўзаемадзеянне, рэжымы апрацоўкі, распіловачны дыск, прадукты разбурэння, цэнтрабежны вібратар.

Аб'ектам даследавання з'яўляецца працэс распілоўкі звышцвёрдых крышталяў, уключаючы монакрысталі дьямента, пры наданні загатоўцы вымушаных ваганняў.

Мэтай работы з'яўляецца тэарэтычнае і тэхналагічнае забеспячэнне павышэння прадукцыйнасці і якасці распілоўкі звышцвёрдых крышталяў, уключаючы монакрысталі дьямента, шляхам надання загатоўцы вымушаных ваганняў, якія забяспечваюць кіраванне кінематыкай і дынамікай узаемадзеяння прылады з загатоўкай, працэсам крохкага разбурэння яе матэрыяла і ўмовамі фарміравання шурпатасці распілаванай паверхні загатоўкі.

У рабоце ўжываліся асновы тэхналогіі машынабудавання, тэорыі ваганняў, тэарэтычнай механікі, тэорыі рэзанання, механікі разбурэння цвёрдых целаў, тэорыі трэння і зношвання. Даследаванні праводзіліся з выкарыстаннем ЭВМ, аптычных, механічных і электронных прыбораў, прамысловых і доследных узораў тэхналагічнага абсталявання.

Распрацавана матэматычная мадэль, якая дазваляе даследаваць кінематыку і дынаміку ўзаемадзеяння элементаў вагальнай сістэмы "загатоўка–распіловачны дыск". Распрацавана матэматычная мадэль працэсу механічнай распілоўкі крышталяў дьямента, якая дазваляе рабіць колькасную ацэнку ступені павышэння прадукцыйнасці вібраўдарнай апрацоўкі ў параўнанні з традыцыйнай распілоўкай. Дадзена ацэнка ўплыву вібраўдарнага рэжыму на змяненне ўдзельнай работы крохкага разбурэння матэрыялаў. Раскрыты асаблівасці працэсу распілоўкі ў вібраўдарным рэжыме. Атрыманы эксперыментальныя залежнасці значэнняў інтэнсіўнасці апрацоўкі і шурпатасці распілаванай паверхні для розных значэнняў статычнай нагрузкі пры традыцыйным і вібраўдарных рэжымах апрацоўкі. Вызначана, што выкарыстанне вымушаных ваганняў, частата якіх кратная рэзананснай частаце распіловачнай секцыі, дазваляе дабіцца максімальнага павышэння прадукцыйнасці пры найменшай шурпатасці апрацаванай паверхні. Атрыманы дадзеныя, якія адлюстроўваюць уплыў вібраўдарнага рэжыму распілоўкі на ўстойлівасць рэжучай прылады.

Вынікі работы ўжываюцца ў алмазаапрацоўваючай прамысловасці.

РЕЗЮМЕ

ДРОЗДОВ Алексей Владимирович

**ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ И КАЧЕСТВА
РАСПИЛИВАНИЯ СВЕРХТВЕРДЫХ КРИСТАЛЛОВ ПУТЕМ
СООБЩЕНИЯ ЗАГОТОВКЕ ВЫНУЖДЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ**

Ключевые слова: монокристаллы алмаза, распиливание, виброударное взаимодействие, режимы обработки, распиловочный диск, продукты разрушения, центробежный вибратор.

Объектом исследования является процесс распиливания сверхтвердых кристаллов, включая монокристаллы алмаза, при сообщении заготовке вынужденных колебаний.

Целью работы является теоретическое и технологическое обеспечение повышения производительности и качества распиливания сверхтвердых кристаллов, включая монокристаллы алмаза, путем сообщения заготовке вынужденных колебаний, управляющих кинематикой и динамикой взаимодействия инструмента с заготовкой, процессом хрупкого разрушения ее материала и условиями формирования шероховатости распиленной поверхности заготовки.

В работе применялись положения технологии машиностроения, теории колебаний, теоретической механики, теории резания, механики разрушения твердых тел, теории трения и изнашивания. Исследования проводились с использованием ЭВМ, оптических, механических и электронных приборов, промышленных и опытных образцов технологического оборудования и оснастки.

Разработана математическая модель, позволяющая исследовать кинематику и динамику взаимодействия элементов колебательной системы «заготовка–распиловочный диск». Разработана математическая модель процесса распиливания кристаллов алмаза, позволяющая производить количественную оценку степени повышения производительности виброударной обработки, по сравнению с традиционным распиливанием. Дана оценка влияния виброударного режима на изменение удельной работы хрупкого разрушения материалов. Раскрыты особенности процесса распиливания в виброударном режиме. Получены экспериментальные зависимости значений интенсивности обработки и шероховатости распиленной поверхности для различных значений статической нагрузки при традиционном и виброударных режимах обработки. Установлено, что использование вынужденных колебаний, частота которых кратна резонансной частоте распиловочной секции, позволяет добиться максимального повышения производительности при наименьшей шероховатости обработанной поверхности. Получены данные, отражающие влияние виброударного режима распиливания на стойкость режущего инструмента.

Результаты работы нашли применение в алмазобрабатывающей промышленности.

SUMMARY

DROZDOV Aleksey Vladimirovich

INCREASING TO CAPACITY AND QUALITY OF SUPERFIRM CRYSTALS CUTTING BY MESSAGES TO THE SEMIMANUFACTURED ARTICLE THE COMPELLED FLUCTUATIONS

Key words: monocrystals of diamond, a cutting, vibroimpulsive interaction, modes of processing, a coping disk, products of destruction, the centrifugal vibrator.

Object of research is technological process of superfirm crystals cutting, including diamond monocrystals, by messages to the semimanufactured article the compelled fluctuations.

The purpose of the given work is providing of the theoretical and technological principles of capacity and quality increasing of superfirm crystals cutting, including diamond monocrystals, by messages to the semimanufactured article the compelled fluctuations, providing kinematics and dynamics management interaction of the instrument with semimanufactured article, process of the frail destruction of its material and condition of the shaping to roughnesses sawed surfaces of semimanufactured article.

In work positions of mechanical engineering technology, the fluctuations theory, the theoretical mechanics, the theory of cutting, the firm bodies destruction mechanics, theories of friction and wear process were applied. Researches were spent with use of the computer, optical, mechanical and electronic devices, industrial and pre-production models of the process equipment.

The mathematical model, allowing research the kinematics and speaker of the elements interaction of the oscillatory system "semimanufactured article-cutting disk". is developed. The mathematical model of the diamond monocrystal mechanical cutting process is developed allowing to make a quantitative estimation of a vibroimpulsive processing productivity increase degree in comparison with a traditional cutting. The estimation given to estimate influence of a vibroimpulsive mode on change of materials fragile destruction specific work. The cutting process features in a vibroimpulsive mode are opened. Experimental dependences of processing intensity values and the sawn surface roughness for various values of static loading are received at traditional and vibroimpulsive processing modes. It is established, that use of the compelled fluctuations, which frequency is multiple to resonant frequency of coping section allows to achieve the maximal increase of productivity at the least the processed surface roughness. The data reflecting influence of a vibroimpulsive cutting mode on resistance of cutting tool are received.

The results of work have found application in the diamond making industry.

Научное издание

ДРОЗДОВ Алексей Владимирович

**ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ И КАЧЕСТВА
РАСПИЛИВАНИЯ СВЕРХТВЕРДЫХ КРИСТАЛЛОВ ПУТЕМ
СООБЩЕНИЯ ЗАГОТОВКЕ ВЫНУЖДЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ**

05.03.01 – Технологии и оборудование механической
и физико-технической обработки

Автореферат диссертации на соискание
ученой степени кандидата технических наук

Редактор Т.Н. Микулик

Подписано в печать 14.03.2005

Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная.

Отпечатано на ризографе. Гарнитура Таймс.

Усл. печ. л. 1,3. Уч.-изд. л. 1,0. Тираж 100. Заказ 283.

Издатель и полиграфическое исполнение

Белорусский национальный технический университет.

ЛИ № 02330/0056957 от 01.04.2004.

220013, Минск, проспект Ф.Скорины, 65.