

**БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

УДК 621.921.3:621.93

ЯМНАЯ
Дарья Андреевна

**ТЕХНОЛОГИЯ МЕХАНИЧЕСКОГО РАСПИЛИВАНИЯ
ХРУПКИХ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ
С ЦИРКУЛЯЦИОННЫМ ДВИЖЕНИЕМ ЗАГОТОВКИ**

Автореферат

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

Минск 2016

Научная работа выполнена в Белорусском национальном техническом университете

Научный руководитель **КИСЕЛЕВ Михаил Григорьевич**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Конструирование и производство приборов» Белорусского национального технического университета

Официальные оппоненты: **РУБАНИК Василий Васильевич**, доктор технических наук, член-корреспондент Национальной академии наук Беларуси, директор ГНУ «Институт технической акустики Национальной академии наук Беларуси»;

ЛЕБЕДЕВ Владимир Яковлевич, кандидат технических наук, доцент, заведующий лабораторией физики поверхностных явлений ГНУ «Физико-технический институт Национальной академии наук Беларуси»

Оппонирующая организация ГНУ «Объединенный институт машиностроения Национальной академии наук Беларуси»

Защита состоится 11 ноября 2016 г. в 14⁰⁰ часов на заседании совета по защите диссертаций Д 02.05.03 при Белорусском национальном техническом университете по адресу: 220013, город Минск, проспект Независимости, 65, корпус 1, аудитория 202, телефон ученого секретаря: (+375 17) 292-24-04.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Белорусского национального технического университета.

Автореферат разослан « ____ » _____ 2016 г.

Ученый секретарь совета
по защите диссертаций Д 02.05.03
доктор технических наук, профессор

О.Г. Девойно

© Ямная Д.А., 2016

© Белорусский национальный
технический университет, 2016

ВВЕДЕНИЕ

Операция механического распиливания исходного сырья из хрупких неметаллических материалов, в частности полупроводников, стекла, керамики, естественных и искусственных кристаллов, поделочных и драгоценных камней, на штучные заготовки (полуфабрикаты) широко используется в электронной промышленности, в технологии оптического и электронного приборостроения, а также в ювелирном производстве. В зависимости от формы и размеров, физико-механических свойств и стоимости исходного сырья применяются несколько способов его механического распиливания: алмазным отрезным кругом с наружной и внутренней режущими кромками, бесконечной лентой, штрипсами и тонкой проволокой. Наиболее высокие требования в отношении точности и качества обработанных поверхностей предъявляются при распиливании дорогостоящего сырья – кристаллов алмаза. Несмотря на разработку и применение новых способов разделения кристаллов алмаза, в частности лазерного и термохимического, способ их механического распиливания по-прежнему широко используется в промышленности. Одним из направлений повышения производительности выполнения данной операции и качества поверхности площадок распиленных полуфабрикатов является сообщение заготовке (кристаллу) вынужденных колебаний, действующих перпендикулярно торцевой (режущей) поверхности распиловочного диска и обеспечивающих условия виброударного режима их взаимодействия. Вместе с тем, для более эффективного управления параметрами этого режима, а соответственно условиями протекания процесса распиливания, представляется перспективным сообщать заготовке не одномерное колебательное, а двухмерное периодическое циркуляционное движение, совершаемое ею в плоскости распиливания. В этой связи разработка технологии распиливания хрупких неметаллических материалов с циркуляционным движением заготовки, обеспечивающей повышение производительности и качества выполнения операции, является актуальной научно-практической задачей, имеющей важное значение для ювелирного производства, электронной промышленности, оптического и оптико-электронного приборостроения.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с научными программами (проектами), темами

Ряд результатов, составляющих содержание данной диссертационной работы, получен в рамках выполнения заданий по грантам: ГБ 11-162 «Повышение производительности и качества распиливания монокристаллов алмаза путем обеспечения виброударного режима обработки» (сроки выполнения: с 03.01.2011 по 31.12.2011), ГБ 12-06 «Разработка технологии и

создание оборудования для распиливания монокристаллов при сообщении заготовке двухмерного периодического циркуляционного движения» (сроки выполнения: с 01.01.2012 по 31.12.2012); задания 5.2. «Исследование влияния управляемого виброударного воздействия на процесс механического распиливания твердых и сверхтвердых материалов и разработка высокоэффективной технологии выполнения операции» (№ гос. рег. 20113217) подпрограммы «Новые высокоэффективные технологии и оборудование для получения и обработки материалов с использованием концентрированных потоков энергии» («Высокоэнергетические технологии») ГПНИ «Функциональные и машиностроительные материалы и технологии, наноматериалы и нанотехнологии в современной технике» («Функциональные и машиностроительные материалы, наноматериалы»).

Цель и задачи исследования

Целью диссертационной работы является разработка технологии распиливания хрупких неметаллических материалов с циркуляционным движением заготовки, обеспечивающей повышение производительности выполнения операции и качества поверхности площадок распиленных полуфабрикатов.

Для достижения поставленной цели необходимо было последовательно решить следующие задачи:

- обосновать способ и разработать экспериментальную распиловочную секцию, обеспечивающую сообщение заготовке в процессе ее распиливания с гравитационной подачей двухмерного, совершаемого в плоскости распиливания, периодического циркуляционного движения (далее по тексту – циркуляционного);

- исследовать влияние условий и режимов возбуждения колебательной системы созданной распиловочной секции на пространственно-временные характеристики циркуляционного движения заготовки;

- установить особенности кинематики и динамики взаимодействия отрезного диска с заготовкой, совершающей циркуляционное движение, с учетом которых разработать и исследовать математические модели основных процессов, протекающих при распиливании в этих условиях хрупких неметаллических материалов;

- разработать методику проведения экспериментальных исследований по оценке влияния параметров сообщаемого заготовке (образцу) циркуляционного движения на интенсивность ее распиливания и качество обработанной поверхности;

- провести сравнительные экспериментальные исследования процесса распиливания образцов из различных по твердости материалов по традиционной и предложенной технологическим схемам, по результатам которых определить рациональные значения параметров режима обработки с

циркуляционным движением заготовки, обеспечивающих наибольшее повышение интенсивности распиливания и качества поверхностей площадок распиленных полуфабрикатов;

– разработать технологию распиливания хрупких неметаллических материалов с циркуляционным движением заготовки, создать опытный образец модернизированной распиловочной секции, провести их испытания и выработать рекомендации по практическому использованию результатов исследований.

Научная новизна

1. Теоретически обосновано и экспериментально подтверждено положение о том, что за счет сообщения узлу качания стрелы распиловочной секции вынужденных колебаний, направленных вдоль горизонтальной оси, можно обеспечить двухмерное циркуляционное движение заготовки, совершаемое ею в плоскости распиливания.

2. На основании анализа разработанной математической модели процесса функционирования колебательной системы экспериментальной распиловочной секции и результатов экспериментов установлено, что за счет изменения режимов ее возбуждения (частоты вынужденных колебаний, статического усилия прижатия заготовки к диску, а также путем регулирования зазора между стрелой и верхним ограничителем) возможно целенаправленно управлять параметрами циркуляционного движения заготовки: величинами большой и малой осей эллипса, углом наклона его большой оси к горизонтали.

3. Установлено, что взаимодействие диска с заготовкой, совершающей циркуляционное движение, характеризуется ее периодическим косым соударением с его торцевой поверхностью, что в сравнении с традиционным распиливанием интенсифицирует процесс хрупкого разрушения материала заготовки, а также дополнительным относительным скольжением в вертикальном направлении ее пропиленных участков с боковыми поверхностями диска, обеспечивающим сглаживание (затираание) микронеровностей на распиленной поверхности.

4. На основании экспериментальных данных, отражающих влияние режимов распиливания с циркуляционным движением заготовки на интенсивность распиливания образцов из хрупких неметаллических материалов и качество их обработанных поверхностей, установлены рациональные значения режимов обработки, обеспечивающие наибольшую производительность выполнения операции и наилучшее качество поверхности площадок распиленных полуфабрикатов.

Положения, выносимые на защиту:

– результаты анализа конструктивных особенностей технологической схемы распиливания с гравитационной подачей заготовки. Это позволило

научно обосновать способ придания ей циркуляционного движения, совершаемого в плоскости распиливания, разработать для его реализации колебательную систему и создать с ее использованием экспериментальную распиловочную секцию; установить рабочий диапазон значений амплитуды и частоты применяемых для ее возбуждения колебаний;

– результаты теоретических и экспериментальных исследований влияния условий возбуждения колебаний созданной распиловочной секции (с одним нижним ограничителем вертикального перемещения или с нижним и верхним) и режимов ее возбуждения (частоты вынужденных колебаний, статического усилия прижатия заготовки к диску, зазора между стрелой и верхним ограничителем) на пространственно-временные характеристики циркуляционного движения заготовки: форму траектории и ее параметры, время контактного взаимодействия заготовки с режущей кромкой диска и период циркуляционного движения. Это позволило определить режимы возбуждения, обеспечивающие движение заготовки по эллиптической траектории с необходимыми параметрами: величинами большой и малой осей эллипса, углом наклона его большой оси к горизонтали;

– результаты теоретических и экспериментальных исследований особенностей кинематики и динамики взаимодействия отрезного диска с заготовкой из хрупких неметаллических материалов, совершающей циркуляционное движение по эллиптической траектории. Это позволило оценить степень влияния параметров этого движения (отношение малой и большой осей эллипса, угол наклона его большой оси к горизонтали) на интенсивность распиливания и качество обработанных поверхностей;

– результаты сравнительных экспериментальных исследований процесса распиливания образцов из различных неметаллических материалов в традиционных условиях выполнения операции и при сообщении заготовке управляемого циркуляционного движения. Это позволило установить рациональные режимы обработки и разработать технологию распиливания хрупких неметаллических материалов с циркуляционным движением заготовки.

Личный вклад соискателя ученой степени

Основные научные результаты диссертационного исследования получены соискателем самостоятельно. Автором лично разработана колебательная система, обеспечивающая придание распиливаемой заготовке двухмерного циркуляционного движения; проведены теоретические и экспериментальные исследования по влиянию условий и режимов ее возбуждения на параметры движения; выявлены и описаны особенности кинематики и динамики взаимодействия отрезного диска с заготовкой, совершающей циркуляционное движение; разработана методика и проведены экспериментальные исследования по оценке влияния циркуляционного

движения на интенсивность распиливания и качество поверхности площадок распиленных полуфабрикатов; определены рациональные режимы распиливания хрупких неметаллических материалов с циркуляционным движением заготовки; разработана соответствующая технология и создано оборудование для ее практической реализации; сформулированы основные выводы и положения диссертации.

Участие соавторов в совместных работах: М. Г. Киселев как научный руководитель оказывал помощь и содействие на всех этапах выполнения настоящей работы; А. В. Дроздов, В. Л. Габец, С. Г. Монич оказывали консультативную и практическую помощь при проведении теоретических и экспериментальных исследований; А. А. Новиков участвовал в работах по подготовке документов на патенты.

Апробация диссертации и информация об использовании ее результатов

Результаты исследований были доложены и обсуждены на Международном научном симпозиуме «Перспективные материалы и технологии» (Витебск, 2011) и на следующих международных научно-технических конференциях: «Исследования и разработки в области машиностроения, энергетики и управления» (Гомель, 2011), New Electrical and Electronic Technologies and their Industrial Implementation (Люблин, Польша, 2011), «Современные методы и технологии создания и обработки материалов» (Минск, 2011), «Приборостроение» (Минск, 2010, 2011, 2012, 2014).

Опубликование результатов диссертации

Основные результаты исследований опубликованы в 28 печатных работах, в том числе в: 16 статьях в научных изданиях, включенных в перечень, рекомендуемый ВАК Республики Беларусь для опубликования результатов диссертационных исследований, общим объемом 4,25 авторского листа, 10 статьях в сборниках материалов конференций, 2 патентах на изобретение Республики Беларусь.

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, пяти глав, заключения, библиографического списка и приложений. Она включает 146 страниц основного текста, 72 рисунка, 10 таблиц, 3 приложения, библиографический список из 81 источника, включая 28 публикаций автора.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

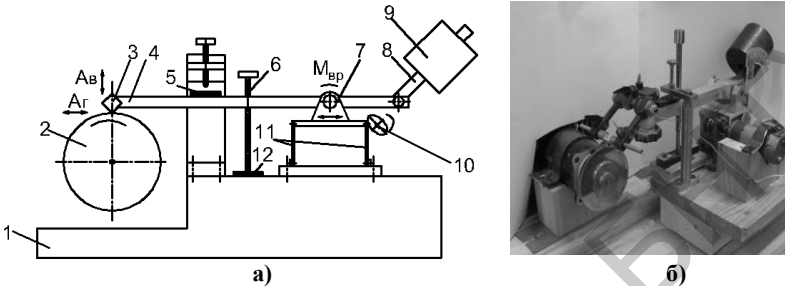
В первой главе проведен анализ способов распиливания хрупких неметаллических материалов и направлений их совершенствования, обоснованы цель и задачи исследования.

Особенно высокие требования в отношении производительности, качества обработанных поверхностей и минимизации безвозвратных потерь исходного сырья предъявляются при распиливании дорогостоящих материалов, в частности кристаллов алмаза. Проводимые на сегодня работы, направленные на повышение производительности и качества их механического распиливания, можно свести к трем основным направлениям: повышению эксплуатационных показателей применяемого инструмента – распиловочного диска; совершенствованию конструкции применяемого технологического оборудования – распиловочной секции; применению в процессе распиливания вынужденных колебаний. Из указанных направлений наиболее эффективным, с точки зрения повышения технологических показателей операции распиливания, является сообщение заготовке вынужденных продольных (одномерных) колебаний (ультразвуковых и низкочастотных), направленных перпендикулярно торцевой (режущей) поверхности распиловочного диска, обеспечивающих виброударный режим их взаимодействия. В сравнении с традиционным распиливанием это позволяет за счет интенсификации процесса хрупкого разрушения материала заготовки значительно повысить производительность выполнения операции и одновременно благодаря дополнительному относительному скольжению пропиленных участков заготовки с боковыми поверхностями диска снизить шероховатость поверхности площадок распиленных полуфабрикатов. Вместе с тем, одномерное колебательное движение заготовки не позволяет целенаправленно и в широком диапазоне влиять на изменение кинематики и динамики ее взаимодействия с распиловочным диском, что ограничивает потенциальные возможности положительного воздействия колебаний на процесс распиливания. С целью расширения этих возможностей представляется перспективным сообщение заготовке не одномерного, а двухмерного, совершеншаемого ею в плоскости распиливания, периодического циркуляционного движения. Это позволит за счет изменения параметров этого движения целенаправленно управлять траекторией перемещения заготовки относительно распиловочного диска, а соответственно и условиями их контактного взаимодействия, влияющими на интенсивность процесса обработки и качество поверхности площадок распиленных полуфабрикатов.

На сегодня как в отечественных, так и зарубежных литературных источниках отсутствуют сведения, касающиеся использования предлагаемого способа распиливания хрупких неметаллических материалов.

Вторая глава посвящена разработке методики проведения экспериментальных исследований. На основании анализа особенностей традиционной схемы распиливания кристаллов алмаза (центр тяжести противовеса на стреле расположен выше оси ее качания) обоснована возможность при-

дания заготовке в плоскости распиливания двухмерного циркуляционного движения за счет сообщения узлу качания стрелы вынужденных колебаний, направленных вдоль горизонтальной оси (рисунок 1а). Исходя из этого, разработана колебательная система, с использованием которой создана экспериментальная распиловочная секция (рисунок 1б).



- 1 – основание; 2 – распиловочный диск; 3 – заготовка; 4 – стрела;
 5 – верхний упругий ограничитель; 6 – регулировочный винт;
 7 – узел качания стрелы; 8 – поворотный рычаг; 9 – противовес;
 10 – механический вибратор; 11 – плоские пружины;
 12 – нижний упругий ограничитель

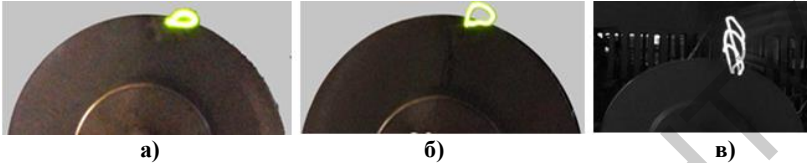
Рисунок 1. – Принципиальная схема экспериментальной распиловочной секции

В отличие от промышленной в ней узел качания стрелы жестко не связан с основанием, а установлен на упругом плоскопараллелограмном подвесе, верхней (подвижной) части которого от вращающегося эксцентрика сообщаются колебания в горизонтальном направлении $A_{г}$. За счет возникающих виброускорений на противовес действуют инерционные силы, которые создают переменный вращающий момент $M_{вр}$, вызывающий поворот стрелы относительно оси ее качания, что сопровождается перемещением закрепленной на ее конце заготовки в вертикальном направлении $A_{в}$. В результате сложения двух одномерных компланарных колебаний заготовка совершает двухмерное периодическое циркуляционное движение.

Экспериментально определены исходные параметры и характеристики созданной распиловочной секции (собственная частота, предельная линейная деформация упругого подвеса), что позволило установить рациональные режимы возбуждения колебательной системы. Так, частота вынужденных колебаний не должна превышать 5 Гц, а их амплитуда должна быть не более 3,5 мм.

Установлено, что при работе колебательной системы только с одним нижним ограничителем устойчивое двухмерное циркуляционное движение заготовки (рисунок 2а, б) обеспечивается в узком частотном диапазоне ее

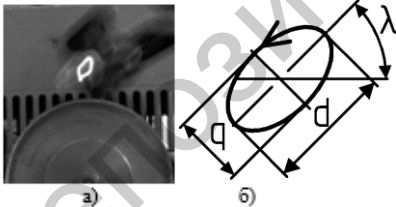
возбуждения $f = 2,8 - 3,5$ Гц при статическом нагружении (усилии прижатия опорного винта к ограничителю) $P_{ст.в} = 1,0 - 2,2$ Н. При больших значениях частоты: $f > 3,5$ Гц и меньших значениях $P_{ст.в} < 1,5$ Н наблюдается явление «затягивания» системы на виброударный режим по амплитуде (рисунок 2в), что приводит к «зависанию» или опрокидыванию стрелы.



а – $f = 2,8$ Гц; б – $3,6$ Гц; в – 4 Гц

Рисунок 2. – Траектория движения светящейся точки, принадлежащей заготовке, при различной частоте вынужденных колебаний системы с одним нижним ограничителем

Стабильное и управляемое циркуляционное движение заготовки обеспечивается в случае использования двух ограничителей (верхнего и нижнего) и при реализации виброударного режима их взаимодействия со стрелой. В этих условиях траектория движения заготовки (рисунок 3а) имеет форму, близкую к эллипсу (рисунок 3б), что позволяет использовать для его характеристики следующие параметры: величину большой d и малой q осей эллипса, угол λ наклона его большой оси к горизонтали и период циркуляционного движения $T_{ц}$.



а – траектория движения;
б – параметры эллиптической траектории движения

Рисунок 3. – Траектория движения светящейся точки, принадлежащей заготовке, при возбуждении колебательной системы с двумя ограничителями

Разработаны методики и аппаратные средства, примененные для определения силовых и временных параметров ударно-фрикционного взаимодействия торцевой поверхности диска с заготовкой, совершающей циркуляционное движение: силы сопротивления F_c , действующие в зоне обработки, и нормальной составляющей силы удара $P_{д}$, время контактного взаимодействия t_k заготовки с диском и период $T_{ц}$ циркуляционного движения заготовки.

Осуществлялось распиливание образцов из синтетического корунда, яшмы, нефрита и стекла, имеющих соответственно твердость по

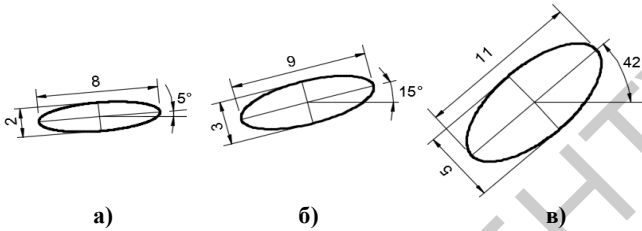
шкале Мооса 9, 7, 6 и 4 единиц. Из исходных заготовок этих материалов изготавливались образцы в виде прямоугольного параллелепипеда сечением 5×5 мм и длиной 20–25 мм. Образец устанавливался в узле крепления распиловочной секции таким образом, чтобы процесс распиливания образца начинался с поверхности ребра. В качестве инструмента использовался стальной отрезной диск толщиной 0,23 мм и диаметром 76 мм, имеющий алмазосодержащее покрытие из микропорошка АСН 60/40. Интенсивность распиливания i определялась отношением площади F распиленной поверхности образца ко времени его обработки ($i = F/t$, мм²/с). Шероховатость его распиленной поверхности измерялась с помощью профилометра-профилографа фирмы Taylor Hobson, температура в зоне распиливания – инфракрасным пирометром НИМБУС, частота вращения диска – стробоскопическим тахометром Testo 465.

Третья глава посвящена теоретико-экспериментальным исследованиям влияния параметров циркуляционного движения заготовки на повышение интенсивности распиливания хрупких неметаллических материалов и качества обработанных поверхностей. С использованием расчетной схемы, учитывающей геометрические, массовые, упруго-инерционные и диссипативные характеристики созданной распиловочной секции, и ряда сделанных допущений получены зависимости, описывающие траекторию циркуляционного движения заготовки. Путем их численного решения методом Рунге-Кутты с использованием разработанного программного кода в среде MathCAD получены траектории движения заготовки, соответствующие различным условиям и режимам возбуждения колебательной системы. Показано, что во всех случаях форма результирующей кривой близка к эллиптической, а ее размеры зависят от условий взаимодействия стрелы с ограничителями, что подтверждается результатами проведенных экспериментов. Так, с повышением интенсивности их виброударного взаимодействия за счет увеличения частоты вынужденных колебаний f , а также увеличения зазора Z между стрелой и верхним ограничителем угол λ увеличивается и одновременно возрастает отношение q/d , т.е. большая ось эллипса поворачивается в сторону вертикали, а сам он приобретает более округлую форму (рисунок 4).

Установлено, что процесс распиливания заготовки, совершающей циркуляционное движение по эллиптической траектории, протекает в режиме ее периодического ударно-фрикционного взаимодействия с диском и характеризуется ее косым соударением с его торцевой поверхностью, а также дополнительным скольжением боковых поверхностей диска относительно пропиленных участков заготовки.

Установлено, что для теоретической оценки степени влияния параметров циркуляционного движения заготовки на повышение интенсивности ее

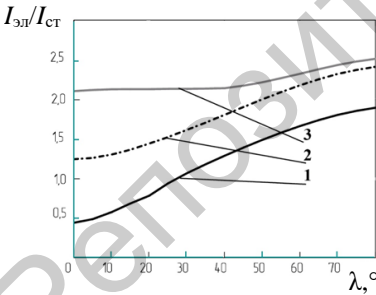
распиливания следует использовать отношение суммарного импульса ударной силы $I_{эл}$, действующего между торцевой поверхностью диска и заготовкой за период $T_{ц}$, к импульсу статической силы $I_{ст}$ при распиливании в обычных условиях за время $T_{ц}$.



а – $f = 1,7$ Гц; б – $2,8$ Гц; в – $3,6$ Гц

Рисунок 4. – Влияние частоты f возбуждения колебательной системы на параметры эллиптической траектории движения заготовки

На основе анализа расчетной зависимости (рисунок 5) и результатов экспериментов, отражающих влияние параметров эллиптической траектории движения заготовки на отношение $I_{эл}/I_{ст}$, установлено, что с увеличением угла λ наклона эллиптической траектории, а также отношения величин малой и большой полуосей эллипса значение $I_{эл}/I_{ст}$ возрастает, а соответственно увеличивается влияние циркуляционного движения заготовки на повышение интенсивности ее распиливания.



1 – $q/d = 0,1$; 2 – $0,3$; 3 – $0,5$

Рисунок 5. – Зависимость изменения отношения $I_{эл}/I_{ст}$ от угла λ наклона эллиптической траектории при различных соотношениях малой и большой осей эллипса

В основу теоретической оценки влияния циркуляционного движения заготовки по эллиптической траектории на качество распиленной поверхности положено определение двух параметров, ответственных за состояние этой поверхности: изменение пути скольжения заготовки относительно боковой поверхности диска за время ее распиливания и изменение траектории движения пропиленных участков заготовки относительно боковой поверхности диска. По результатам численного исследования разработанной математической модели, описывающей движение точки на поверхности

кристалла, совершающего движение по эллиптической траектории, относительно диска, установлено, что циркуляционное движение заготовки не оказывает по сравнению с традиционной обработкой существенного влияния на изменение пути относительного скольжения точки кристалла за время его распиливания. Теоретически установлено и экспериментально подтверждено, что основное влияние на повышение качества распиленной поверхности оказывает наличие периодического относительного скольжения контактирующих поверхностей в вертикальном направлении, которое отсутствует при традиционной обработке. Благодаря такому дополнительному относительному движению заготовки и диска реализуется условие неповторяемости следов обработки на поверхности площадок распиленных полуфабрикатов, что в сравнении с традиционной обработкой способствует повышению их качества за счет реализации полирующего эффекта. Установлено, что с увеличением угла λ и большой оси d эллиптической траектории движения заготовки степень проявления указанного эффекта возрастает, а соответственно повышается качество распиленной поверхности.

В четвертой главе представлены и обсуждены результаты экспериментальных исследований по влиянию режимов обработки на интенсивность распиливания образцов и качество их поверхностей. Во всех экспериментах частота вращения диска и амплитуда вынужденных колебаний оставались постоянными и соответственно составляли 7500 мин^{-1} и $3,5 \text{ мм}$, СОЖ не применялась.

Установлено, что по сравнению с обработкой в обычных условиях сообщение образцу циркуляционного движения обеспечивает существенное повышение интенсивности его распиливания i . При этом степень его влияния возрастает с увеличением частоты f (рисунок 6), величины зазора Z и статического усилия $P_{\text{ст}}$, а также с повышением твердости материала образца.

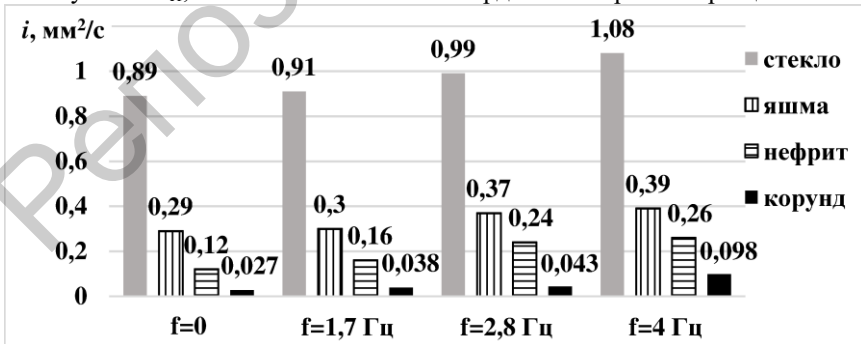


Рисунок 6. – Диаграмма зависимости интенсивности распиливания образцов при обработке в обычных условиях ($f=0$) и при возбуждении системы с различной частотой колебаний

Так, для стеклянного образца (4 единицы твердости по шкале Мооса) отношение значений интенсивности распиливания с возбуждением колебательной системы ($f = 4$ Гц, $Z = 3$ мм и $P_{ст} = 3,2$ Н) и в обычных условиях распиливания ($P_{ст} = 3,2$ Н) составило 1,21; для нефрита (6 единиц твердости) – 1,34; для яшмы (7 единиц твердости) – 2,16 и для корунда (9 единиц твердости) – 3,6.

В ходе проведения экспериментов было отмечено, что в момент ударно-фрикционного взаимодействия образца с диском наблюдается интенсивный выброс из зоны распиливания порции продуктов разрушения в виде малоразмерных частиц. Установлено, что их средний размер при распиливании с возбуждением колебательной системы $\varepsilon_{ц}$ ($f = 4$ Гц, $Z = 3$ мм, $P_{ст} = 3,2$ Н) оказывается значительно меньше, чем при обработке в обычных условиях ε_0 ($P_{ст} = 3,2$ Н). Причем с увеличением твердости материала образца отношение $\varepsilon_0/\varepsilon_{ц}$ возрастает, в частности при распиливании стеклянного образца оно составило 1,67, а корундового – 2,2. Это свидетельствует о повышении степени повреждения предразрушенного слоя образца в результате его ударно-фрикционного взаимодействия с торцевой поверхностью диска, что в совокупности с увеличением глубины этого слоя приводит к возрастанию количества удаляемого в единицу времени материала образца, т.е. к повышению интенсивности его распиливания. Экспериментально установлено, что относительная износостойкость диска при распиливании им образцов с циркуляционным движением оказывается в 3–5 раз выше, чем при обработке в обычных условиях.

Установлено, что сообщение образцу циркуляционного движения обеспечивает в сравнении с обработкой в обычных условиях повышение качества его распиленной поверхности. При этом степень его положительного влияния возрастает с увеличением f (рисунок 7), Z и $P_{ст}$, а также с повышением твердости материала образца.

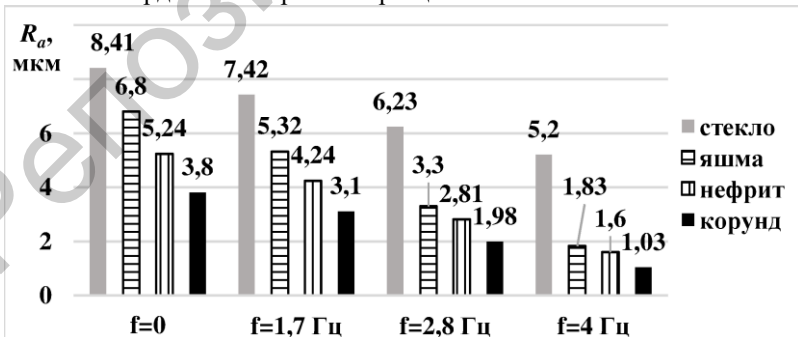


Рисунок 7. – Диаграмма зависимости параметра R_a шероховатости распиленной поверхности образцов при их обработке в обычных условиях и при сообщении узлу качания стрелы вынужденных колебаний различной частоты

Так, значение параметра R_a шероховатости распиленной поверхности стеклянного образца, соответствующее обработке в обычных условиях ($P_{ст} = 3,2$ Н), снизилось при распиливании с возбуждением колебательной системы ($f = 4$ Гц, $Z = 3$ мм, $P_{ст} = 3,2$ Н) в 1,61 раза (с 8,41 до 5,2 мкм); для образца из нефрита – в 2,09 раза (с 6,8 до 2,43 мкм); для образца из яшмы – в 3,25 раза (с 5,24 до 1,6 мкм) и для корундового образца – в 3,63 раза (с 3,8 до 1,03 мкм).

Ширина пропила на образце при врезании в него диска при частоте f , не превышающей 2,8 Гц, не отличается от ее значения, соответствующего обычным условиям обработки, а при больших значениях f (от 2,8 до 4 Гц) она увеличивается на 1,5–3 %. Кроме того, при указанных частотных ограничениях возбуждения колебательной системы в значительной степени устраняется явление скалывания материала образца в момент окончания его распиливания.

Дано объяснение полученным экспериментальным данным. Показано, что с повышением значения параметров f , Z и $P_{ст}$ увеличиваются угол λ наклона эллиптической траектории движения образца и размер ее большой оси d , что сопровождается возрастанием величины размаха вертикально направленных колебательных смещений пропиленных участков образца относительно боковых поверхностей диска. В результате в большей степени реализуется условие неповторяемости следов обработки на поверхности образца, а также интенсифицируется действие полирующего эффекта, что в совокупности обеспечивает в сравнении с распиливанием в обычных условиях снижение ее шероховатости.

Пятая глава посвящена разработке и апробации технологии распиливания хрупких неметаллических материалов с управляемым циркуляционным движением заготовки. Приведено описание и указаны технические характеристики созданного на базе станка ШП-2 опытного образца распиловочной секции (АТЮФ.442151.0005). Определены рациональные режимы выполнения операции, учитывающие условия выполнения ее отдельных переходов и обеспечивающие ее наибольшую производительность и наилучшее качество распиленных поверхностей. Так, при постоянных значениях $n_d = 7500$ мин⁻¹, $Z = 2,5$ –3 мм, $A = 3,5$ мм, на переходе «врезание» $f = 0$, $P_{ст} = 0,6$ Н, на переходе «основное распиливание» $f = 3,6$ Гц, $P_{ст} = 1,1$ Н и на переходе «окончание распиливания» $f = 1,7$ Гц, $P_{ст} = 0,6$ Н. С учетом этих данных разработана технология распиливания (БНТУ.01300.00004) хрупких неметаллических материалов с использованием управляемого циркуляционного движения заготовки.

По результатам проведенных опытно-производственных испытаний по распиливанию заготовок, предоставленных заинтересованными предприятиями ювелирного (ООО «Фацет-Люкс») и оптико-электронного

(НП ООО «Соликс») производств, а также производства сверхтвердых материалов (ГНУ «Институт порошковой металлургии») подтверждена высокая эффективность практического использования разработанной технологии. Так, при распиливании заготовок из шпинеля, фианита, алемандрита, сапфира и карбида кремния в сравнении с традиционной разработанная технология обеспечивает повышение производительности выполнения операции от 1,25 до 2,28 раза и снижение параметра R_a шероховатости распиленной поверхности заготовки от 1,1 до 2,43 раза.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Теоретически обосновано и экспериментально подтверждено положение о том, что при сообщении узлу качания стрелы распиловочной секции вынужденных колебаний, направленных вдоль горизонтальной оси, можно обеспечить циркуляционное движение заготовки, совершаемое ею в плоскости распиливания. В результате экспериментальных исследований параметров разработанной конструкции колебательной системы, включающей упругий плоскопараллелограмный подвес узла качания стрелы, два (нижний и верхний) упругих ограничителя ее вертикальных перемещений и электромеханический (кулачковый) вибропривод, с использованием которой создана экспериментальная распиловочная секция, установлено, что возможна реализация циркуляционного движения при предельных значениях частоты ($f \leq 5$ Гц) и амплитуды ($A \leq 3,5$ мм) возбуждения ее колебательной системы [1, 7, 8, 13, 17, 18, 20].

2. По результатам численного исследования разработанной математической модели процесса функционирования колебательной системы созданной распиловочной секции, а также экспериментально полученных данных установлено, что заготовка совершает в плоскости распиливания циркуляционное движение, траектория которого имеет форму, близкую к эллипсу, и характеризуется значениями его большой d и малой q осей, а также углом λ между горизонталью и большой осью. Установлено, что за счет изменения режимов возбуждения колебательной системы (частоты f , величины зазора Z между стрелой и верхним ограничителем и статического усилия $P_{ст}$ прижатия заготовки к диску) можно целенаправленно влиять на параметры эллиптической траектории движения заготовки. В частности, установлено, что с увеличением f в диапазоне 1,7–4,0 Гц, Z в диапазоне 0–4 мм и $P_{ст}$ в диапазоне 0,6–3,2 Н значение угла λ возрастает с 9° до 42° , одновременно увеличиваются размеры осей эллипса при возрастании отношения q/d с 0,25 до 0,5, т.е. его большая ось поворачивается в сторону вертикальной оси, увеличиваются размеры эллипса и он приобретает более округлую форму [7, 9, 23].

3. Выявлены особенности кинематики и динамики взаимодействия диска с заготовкой, совершающей циркуляционное движение. Установлено, что процесс распиливания протекает в условиях их ударно-фрикционного взаимодействия и характеризуется периодическим косым соударением заготовки с торцевой (режущей) поверхностью диска, а также дополнительным относительным скольжением пропиленных участков заготовки с его боковыми поверхностями. По результатам теоретических и экспериментальных исследований установлено, что основное влияние на повышение производительности выполнения операции оказывает отношение суммарного импульса ударной силы $I_{эл}$, действующего между торцевой поверхностью диска и заготовкой за период $T_{ц}$, к импульсу статической силы $I_{ст}$ при распиливании в обычных условиях за время $T_{ц}$, а на повышение качества поверхности площадок распиленных полуфабрикатов – величина размаха вертикальных смещений заготовки $A_{в}$, который обеспечивает условие неповторяемости следов обработки. Установлено, что с увеличением соотношения малой q оси эллипса к большой d и угла λ его наклона к горизонтали отношение $I_{эл}/I_{ст}$ возрастает, что интенсифицирует процесс обработки. Установлено, что с увеличением большой оси эллипса d и угла λ его наклона к горизонтали $A_{в}$ возрастает, что приводит к снижению шероховатости распиленной поверхности [3, 4, 5, 6, 11, 14, 15, 22, 24, 25, 26].

4. Экспериментально подтверждено, что сообщение образцу циркуляционного движения позволяет в сравнении с обработкой по традиционной схеме повысить интенсивность ее распиливания и качество обработанной поверхности. Установлено, что степень его положительного влияния на эти технологические показатели операции возрастает с увеличением f , Z и $P_{ст}$, а также с повышением твердости материала образца. Так, для образцов из исследуемых материалов – стекла, нефрита, яшмы, корунда (4, 6, 7 и 9 единиц по шкале Мооса соответственно) – отношение значений интенсивности распиливания с возбуждением колебательной системы ($f = 4$ Гц, $Z = 3$ мм, $P_{ст} = 3,2$ Н) и в обычных условиях распиливания ($P_{ст} = 3,2$ Н) составило 1,21–3,60. При этом значение параметра R_d шероховатости распиленной поверхности образцов по сравнению с обработкой в обычных условиях снизилось в 1,61–3,63 раза. Показано, что ширина пропила на образце при врезании в него диска при частоте f , не превышающей 2,8 Гц, не отличается от ее значения, соответствующего обычным условиям обработки, а при больших значениях f (от 2,8 до 4 Гц) она увеличивается на 1,5–3 % [2, 10, 12, 16, 25].

5. В результате исследования режимов возбуждения колебательной системы на повышение производительности выполнения операции и качества поверхности площадок распиленных полуфабрикатов, с учетом про-

стоты и удобства их регулирования на производственном участке, установлены рациональные значения технологических параметров выполнения операции распиливания на модернизированной распиловочной секции станка ШП-2, учитывающие условия выполнения ее отдельных переходов и обеспечивающие по сравнению с обработкой в обычных условиях наибольшее повышение интенсивности распиливания хрупких неметаллических материалов (от 1,25 до 2,28 раза в зависимости от их твердости) и снижение шероховатости поверхности площадок распиленных полуфабрикатов в 1,10–2,43 раза. В частности, при постоянных значениях $n_d = 7500 \text{ мин}^{-1}$, $Z = 2,5\text{--}3,0 \text{ мм}$, $A = 3,5 \text{ мм}$ на переходе «врезание» $f = 0$, $P_{\text{ст}} = 0,6 \text{ Н}$, на переходе «основное распиливание» $f = 3,6 \text{ Гц}$, $P_{\text{ст}} = 1,1 \text{ Н}$ и на переходе «окончание распиливания» $f = 1,7 \text{ Гц}$, $P_{\text{ст}} = 0,6 \text{ Н}$ [16, 19, 21].

Рекомендации по практическому использованию результатов

1. Разработанная технология БНТУ.01300.00004 и созданное оборудование АТЮФ.442151.0005 для распиливания хрупких неметаллических материалов с циркуляционным движением заготовки могут быть использованы в ювелирном производстве при разделении заготовок из драгоценных камней и кристаллов; в оптическом и оптико-электронном приборостроении при разделении природных и выращенных кристаллов.

2. Предложенный способ (патенты на изобретение «Устройство для распиливания кристаллов алмаза» 17134 и 17358) [27, 28] и разработанная для его реализации колебательная система могут быть использованы с целью повышения технологических показателей других способов распиливания хрупких неметаллических материалов, в которых применяется гравитационная подача заготовки, в частности это распиливание с помощью штрипс или тонкой проволоки.

3. Результаты исследований по распиливанию хрупких неметаллических материалов с использованием управляемого циркуляционного движения заготовки внедрены в учебный процесс подготовки инженеров-технологов по специальности 1-52 02 01 «Технология и оборудование ювелирного производства».

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ

Статьи в рецензируемых научных изданиях

1. Киселев, М. Г. Установка для распиливания монокристаллов алмаза при сообщении заготовке периодического циркуляционного движения / М. Г. Киселев, А. В. Дроздов, Д. А. Ямная // Вестн. Гомел. гос. техн. ун-та. – 2011. – № 2. – С. 3–9.

2. Киселев, М. Г. Повышение интенсивности и качества распиливания твердых и сверхтвердых материалов путем сообщения заготовке двухмерного циркуляционного движения / М. Г. Киселев, А. В. Дроздов, Д. А. Ямная // Вестн. Белорус. нац. техн. ун-та. – 2011. – № 5. – С. 36–40.

3. Киселев, М. Г. Исследование временных и частотных параметров контактного взаимодействия заготовки с распиловочным диском при сообщении ей двухмерного периодического циркуляционного движения / М. Г. Киселев, А. В. Дроздов, Д. А. Ямная // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. В, Промышленность. Приклад. науки. – 2012. – № 3. – С. 102–108.

4. Киселев, М. Г. Методики определения пространственно-временных параметров контактного взаимодействия колеблющейся заготовки с распиловочным диском / М. Г. Киселев, А. В. Дроздов, Д. А. Ямная // Метрология и приборостроение. – 2012. – № 2. – С. 26–29.

5. Киселев, М. Г. Методики и средства определения пространственных и временных параметров двухмерного циркуляционного движения заготовки при ее взаимодействии с распиловочным диском / М. Г. Киселев, А. В. Дроздов, Д. А. Ямная // Приборы и методы измерений. – 2012. – № 1. – С. 87–91.

6. Киселев, М. Г. Определение закономерностей силового нагружения упругого элемента распиловочной секции / М. Г. Киселев, А. В. Дроздов, Д. А. Ямная // Наука и техника. – 2012. – № 5. – С. 28–32.

7. Киселев, М. Г. Влияние условий возбуждения стрелы распиловочной секции на параметры колебательного движения заготовки / М. Г. Киселев, А. В. Дроздов, Д. А. Ямная // Материалы, технологии, инструмент. – 2013. – Т. 18, № 1. – С. 78–85.

8. Киселев, М. Г. Методика и аппаратные средства определения частоты свободных колебаний стрелы модернизированной распиловочной секции / М. Г. Киселев, А. В. Дроздов, Д. А. Ямная // Приборы и методы измерений. – 2013. – № 1. – С. 126–131.

9. Киселев, М. Г. Математическое описание двухмерного периодического циркуляционного движения заготовки при обработке на модернизированной распиловочной секции / М. Г. Киселев, А. В. Дроздов, Д. А. Ямная // Наука и техника. – 2013. – № 4. – С. 37–43.

10. Киселев, М. Г. Экспериментальная оценка эффективности сообщения периодического циркуляционного движения распиливаемой заготовки на интенсивность и качество выполнения операции / М. Г. Киселев, А. В. Дроздов, Д. А. Ямная // Современные методы и технологии создания и обработки материалов : сб. науч. тр. : в 3 кн. / Физ.-техн. ин-т НАН Беларуси ; редкол.: С. А. Астапчик (гл. ред.) [и др.]. – Минск, 2013. – Кн. 2 : Технологии и оборудование механической и физико-технической обработки. – С. 579–589.

11. Киселев, М. Г. Влияние сообщаемого заготовке двухмерного колебательного движения на силовые и временные параметры ее контактного взаимодействия с распиловочным диском / М. Г. Киселев, А. В. Дроздов, Д. А. Ямная // Наука и техника. – 2014. – № 1. – С. 19–25.

12. Экспериментальная оценка влияния параметров двухмерного циркуляционного движения заготовки на интенсивность ее распиливания и качество обработанных поверхностей / М. Г. Киселев, А. В. Дроздов, С. Г. Монич, Д. А. Ямная // Наука и техника. – 2014. – № 4. – С. 57–64.

13. Математическое описание траектории движения заготовки в процессе ее распиливания с использованием виброударной колебательной системы / М. Г. Киселев, А. В. Дроздов, В. Л. Габец, Д. А. Ямная // Механика машин, механизмов и материалов. – 2014. – № 2. – С. 64–69.

14. Теоретическая оценка влияния параметров циркуляционного движения заготовки на интенсивность ее распиливания / М. Г. Киселев, А. В. Дроздов, В. Л. Габец, Д. А. Ямная // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. В, Промышленность. Приклад. науки. – 2014. – № 11. – С. 37–43.

15. Теоретическая оценка влияния параметров циркуляционного движения кристалла в процессе его распиливания на условия формирования микрорельефа обработанных поверхностей / М. Г. Киселев, А. В. Дроздов, В. Л. Габец, Д. А. Ямная // Вестн. Гомел. гос. техн. ун-та. – 2014. – № 2. – С. 8–17.

16. Киселев, М. Г. Влияние циркуляционного движения заготовки на интенсивность ее распиливания и качество обработанной поверхности / М. Г. Киселев, А. В. Дроздов, Д. А. Ямная // Материалы. Технологии. Инструменты. – 2015. – Т. 20, № 4. – С. 16–24.

Материалы конференций

17. Киселев, М. Г. Обоснование возможности обеспечения циркуляционного колебания заготовки в процессе ее механического распиливания / М. Г. Киселев, А. В. Дроздов, Д. А. Ямная // Международный симпозиум «Перспективные материалы и технологии», 24–26 мая 2011 года : сб. ст. / Витеб. гос. технол. ун-т. – Витебск, 2011. – С. 41–43.

18. Киселев, М. Г. Установка для исследования процесса распиливания монокристаллов алмаза при сообщении заготовке вынужденных колебаний / М. Г. Киселев, А. В. Дроздов, Д. А. Ямная // Приборостроение – 2010 : материалы 3-й Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 10–12 нояб. 2010 г. / Белорус. нац. техн. ун-т ; редкол.: О. К. Гусев (пред.) [и др.]. – Минск, 2010. – С. 230–231.

19. Ямная, Д. А. Экспериментальная оценка влияния сообщаемого заготовке периодического циркуляционного движения на интенсивность ее распиливания / Д. А. Ямная, А. В. Дроздов // Исследования и разработки в области машиностроения, энергетики и управления : материалы XI Междунар. науч.-техн. конф. студентов, магистрантов и аспирантов, Гомель, 28–29 апр. 2011 г. / Гом. гос. техн. ун-т. – Гомель, 2011. – С. 100–103.

20. Yamnaya, D. The technological scheme of firm and superfirm materials workpieces sawing by transferring periodic circular movement to a workpiece / D. Yamnaya, M. Kiselyov // 7th International conference “New electrical and electronic technologies and their industrial implementation” Zakopane, Poland, 28 June – 1 July, 2011 / Lublin Univ. of Technology ; ed. T. N. Koltunowicz. – Lublin, 2011. – P. 69.

21. Ямная, Д. А. Экспериментальные исследования эффективности придания двухмерного циркуляционного движения заготовке в процессе распиливания твердых и сверхтвердых материалов / Д. А. Ямная, М. Г. Киселев, А. В. Дроздов // Современные методы и технологии создания и обработки материалов : VI Междунар. науч.-техн. конф., 14–16 сент. 2011 г. : сб. материалов : в 3 кн. / Физ.-техн. ин-т НАН Беларуси ; редкол.: С. А. Астапчик (гл. ред.) [и др.]. – Минск, 2011. – Кн. 2 : Высокоэнергетические технологии получения и обработки материалов. Технологии и оборудование инженерии поверхностей. – С. 413–421.

22. Методика и оборудование для измерения момента сил сопротивления, действующего в процессе распиливания твердых и сверхтвердых материалов / М. Г. Киселев, А. В. Дроздов, А. А. Новиков, Д. А. Ямная // Приборостроение – 2011 : материалы 4-й Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 16–18 нояб. 2011 г. / Белорус. нац. техн. ун-т ; редкол.: О. К. Гусев (пред.) [и др.]. – Минск, 2011. – С. 319–320.

23. Киселев, М. Г. Влияние параметров двухмерного циркуляционного движения распиливаемой заготовки по эллипсообразной траектории на качество обработанной поверхности / М. Г. Киселев, А. В. Дроздов, Д. А. Ямная // Приборостроение – 2011 : материалы 4-й Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 16–18 нояб. 2011 г. / Белорус. нац. техн. ун-т ; редкол.: О. К. Гусев (пред.) [и др.]. – Минск, 2011. – С. 321–322.

24. Киселев, М. Г. Особенности силового воздействия режущего инструмента на заготовку, перемещающейся при распиливании по двумер-

ной траектории / М. Г. Киселев, А. В. Дроздов, Д. А. Ямная // Приборостроение – 2012 : материалы 5-й Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 21–23 нояб. 2012 г. / Белорус. нац. техн. ун-т ; редкол.: О. К. Гусев (пред.) [и др.]. – Минск, 2012. – С. 295–296.

25. Влияние параметров двухмерного циркуляционного движения заготовки на интенсивность ее распиливания и качество обработанных поверхностей / М. Г. Киселев, А. В. Дроздов, С. Г. Мониц, Д. А. Ямная // Приборостроение – 2014 : материалы 7-й Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 19–21 нояб. 2014 г. / Белорус. нац. техн. ун-т ; редкол.: О. К. Гусев (пред.) [и др.]. – Минск, 2014. – С. 315–317.

26. Киселев, М. Г. Теоретическое исследование особенностей взаимодействия поверхностей режущего инструмента и распиливаемой заготовки при ее циркуляционном движении / М. Г. Киселев, А. В. Дроздов, Д. А. Ямная // Приборостроение – 2014 : материалы 7-й Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 19–21 нояб. 2014 г. / Белорус. нац. техн. ун-т ; редкол.: О. К. Гусев (пред.) [и др.]. – Минск, 2014. – С. 317–319.

Патенты

27. Установка для обработки кристаллов алмаза : пат. ВУ 17134 / М. Г. Киселев, А. В. Дроздов, А. А. Новиков, Д. А. Ямная. – Опубл. 30.06.2013.

28. Установка для обработки кристаллов алмаза : пат. ВУ 17358 / М. Г. Киселев, А. В. Дроздов, А. А. Новиков, Д. А. Ямная. – Опубл. 30.08.2013.

РЭЗІЮМЭ

Ямная Дар'я Андрэёна

Тэхналогія механічнага распілоўвання далікатных неметалічных матэрыялаў з цыркуляцыйным рухам нарыхтоўкі

Ключавыя словы: далікатныя неметалічныя матэрыялы, механічнае распілоўванне, распіловачная секцыя, вымушаныя ваганні, цыркуляцыйны рух, рэжымы апрацоўкі, тэхналогія распілоўвання.

Мэта работы: распрацоўка тэхналогіі распілоўвання далікатных неметалічных матэрыялаў з цыркуляцыйным рухам нарыхтоўкі, якая забяспечвае павышэнне прадукцыйнасці выканання аперацыі і якасці паверхні пляцовак распілаваных паўфабрыкатаў.

Метады даследавання: фундаментальныя палажэнні тэорый ваганняў, удару, далікатнага разбурэння матэрыялаў, тэхналогіі распілоўвання далікатных неметалічных матэрыялаў, матэматычны апарат мадэлявання, метады колькаснага аналізу, статыстычныя метады апрацоўкі эксперыментальных дадзеных, пакет праграм MathCAD.

Атрыманыя вынікі і іх навізна: тэарэтычна абгрунтавана і эксперыментальна пацверджана, што пры паведамленні вузлу хістання стралы распіловачнай секцыі вымушаных ваганняў, накіраваных уздоўж гарызантальнай восі, можна забяспечыць цыркуляцыйны рух нарыхтоўкі; эксперыментальна пацверджана, што паведамленне ўзору цыркуляцыйнага руху дазваляе ў параўнанні з апрацоўкай па традыцыйнай схеме павысіць інтэнсіўнасць яе распілоўвання і якасць апрацаванай паверхні; устаноўлена, што ступень яго станючага ўплыву на гэтыя тэхналагічныя паказчыкі аперацыі ўзрастае з павелічэннем частаты вымушаных ваганняў, статычнага намагання прысцкання нарыхтоўкі да дыска, зазору паміж стралой і верхнім абмежавальнікам, а таксама з павышэннем цвёрдасці матэрыялу ўзору; устаноўлены рацыянальныя значэнні тэхналагічных параметраў выканання аперацыі на мадэрнізаванай распіловачнай секцыі станка ШП-2.

Рэкамендацыі па выкарыстанні: распрацаваны і ўкаранены ў вытворчасць абсталяванне і тэхналогія для распілоўвання далікатных неметалічных матэрыялаў з цыркуляцыйным рухам нарыхтоўкі, прапанаваны спосаб распілоўвання і распрацаваная для яго рэалізацыі вагальная сістэма моцна быць выкарыстаны з мэтай павышэння тэхналагічных паказчыкаў іншых спосабаў распілоўвання далікатных неметалічных матэрыялаў, у якіх ужываецца гравітацыйная падача нарыхтоўкі.

Галіна ўжывання: аптычнае і оптыка-электроннае прыборабудаванне, ювелірная вытворчасць.

РЕЗЮМЕ

Ямная Дарья Андреевна

Технология механического распиливания хрупких неметаллических материалов с циркуляционным движением заготовки

Ключевые слова: хрупкие неметаллические материалы, механическое распиливание, распиловочная секция, вынужденные колебания, циркуляционное движение, режимы обработки, технология распиливания.

Цель работы: разработка технологии распиливания хрупких неметаллических материалов с циркуляционным движением заготовки, обеспечивающей повышение производительности выполнения операции и качества поверхности площадок распиленных полуфабрикатов.

Методы исследования: фундаментальные положения теорий колебаний, удара, хрупкого разрушения материалов, технологии распиливания хрупких неметаллических материалов, математический аппарат моделирования, методы численного анализа, статистические методы обработки экспериментальных данных, пакет программ MathCAD.

Полученные результаты и их новизна: теоретически обосновано и экспериментально подтверждено, что при сообщении узлу качания стрелы распиловочной секции вынужденных колебаний, направленных вдоль горизонтальной оси, можно обеспечить циркуляционное движение заготовки; экспериментально подтверждено, что сообщение образцу циркуляционного движения позволяет в сравнении с обработкой по традиционной схеме повысить интенсивность ее распиливания и качество обработанной поверхности; установлено, что степень его положительного влияния на эти технологические показатели операции возрастает с увеличением частоты вынужденных колебаний, статического усилия прижатия заготовки к диску, зазора между стрелой и верхним ограничителем, а также с повышением твердости материала образца; установлены рациональные значения технологических параметров выполнения операции на модернизированной распиловочной секции станка ШП-2.

Рекомендации по использованию: разработаны и внедрены в производство оборудование и технология для распиливания хрупких неметаллических материалов с циркуляционным движением заготовки, предложенный способ распиливания и разработанная для его реализации колебательная система могут быть использованы с целью повышения технологических показателей других способов распиливания хрупких неметаллических материалов, в которых применяется гравитационная подача заготовки.

Область применения: оптическое и оптико-электронное приборостроение, ювелирное производство.

SUMMARY

Yamnaya, Darya Andreyevna

Technology of mechanical sawing of brittle non-metallic materials with circulating movement of the workpiece

Key words: brittle non-metallic materials, mechanical sawing, sawing section, forced oscillations, circular motion, modes of processing, technology of sawing.

The aim of the work: development of technology for sawing brittle non-metallic materials with circulating movement of the workpiece that provides improved productivity of the operation and improved quality of the ground surface of sawn semi-finished products.

Research methods: fundamentals of theories of vibrations, shock, brittle fracture of materials, technology of sawing brittle non-metallic materials; mathematical modeling, numerical analysis, statistical methods of experimental data processing, the MathCAD software package.

The results obtained and their novelty: it is theoretically substantiated and experimentally confirmed that when the forced oscillations directed along the horizontal axis is imparted to the oscillation node of the sawing section lever, it is possible to provide circular movement of the workpiece; it is experimentally confirmed that imparting circulating movement to the sample enables increasing the intensity of the sawing of the latter and improving the quality of the processed surface; it is determined that the degree of its positive effects on the technological parameters of operation is increased alongside with the frequency of forced vibrations, static clamping force of pressing the workpiece to the disc, the gap between the lever and the upper limiter as well as with the increase of the hardness of the sample material; the rational values of technological parameters of the operation on the modernized sawing section of the SHP-2 machine are established.

Recommendations for use: certain equipment and technology for sawing brittle non-metallic materials with circulating movement of the workpiece have been developed and implemented in production, the proposed method of sawing and the oscillatory system designed for its implementation can be used to improve the technological parameters of other methods of sawing brittle non-metallic materials, that make use of gravity feed of the workpiece.

Applications: optical and opto-electronic engineering, jewelry manufacturing.