

В Диссертационный совет Д212.210.01
ФГБОУ ВО «Рыбинский
государственный авиационный
технический университет
имени П.А. Соловьева»
Ученому секретарю
д.т.н., профессору Надеждину И.В.
152934, г. Рыбинск, ул. Пушкина, д.53.

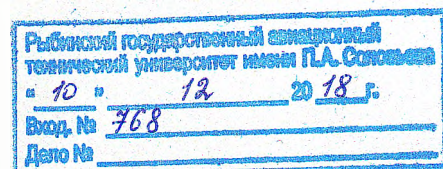
ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Гашева Евгения Анатольевича «Повышение эффективности доводки и полирования пластин интегральной оптики», представляемой на соискание ученой степени кандидата технических наук в диссертационный совет Д212.210.01 по специальности 05.02.07 – «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки».

Актуальность темы диссертации

Источник излучения, оптоволоконная катушка, фотоприёмник, а также интегрально-оптическая схема, на основе монокристалла ниобата лития, являются основой в производстве отечественных высокоточных волоконно-оптических гироскопических приборов, применяемых в гражданской и военной авиации, а также морской технике. До сих пор в основном применялись дорогостоящие механические гироскопические приборы. В отличие от механических, волоконно-оптические гироскопы имеют структуру статического типа, обладающую рядом достоинств: отсутствием подвижных деталей, устойчивостью к ускорению, простотой конструкции, коротким временем запуска, низкой потребляемой мощностью, высокой надежностью. По сравнению с механическими, оптический гироскоп имеет практически мгновенную готовность к работе. Таким образом, гироскоп может включаться и выключаться мгновенно, что приводит к гораздо более низкому энергопотреблению и более стабильной и эффективной работе.

Пластины из ниобата лития является ключевым элементом интегрально-оптической схемы, лежащей в основе волоконно-оптического гироскопа. Путь создания изделий интегральной оптики состоит из



множества технологических операций: от контроля исходных материалов, до проверки параметров готовой продукции. В технологическом процессе механической обработки рабочих поверхностей пластин из монокристалла ниобата лития наибольшую трудоемкость имеют финишные операции. В результате механического воздействия абразивного или алмазного инструмента, на рабочих поверхностях пластин образуются сколы, риски и трещины. Кроме того, в поверхностном слое также возникают, невидимые невооруженным глазом, дефекты в виде пересекающейся сетки микротрещин. Данные изъяны поверхности в значительной степени ухудшают оптические свойства пластины из монокристалла ниобата лития и для эффективной работы должны быть устранены. Кроме того, стабильное обеспечение требований, предъявляемых к обработанной поверхности по параметру шероховатости $Ra = 0,003$ мкм, является сложной производственной задачей. В настоящее время, на производстве данное требование обеспечивается с помощью операции многократной ручной доводки и полирования. Результат операций ручной доводки и полирования полностью зависит от квалификации исполнителя. Производительность данной технологии - 2,3 пластины в смену.

Несомненно, тема работы Гашева Е. А., направленная на повышение эффективности финишной обработки поверхностей торцов пластин монокристалла ниобата лития методами механизации доводки и полирования, является актуальной задачей, как с практической, так и с научной точек зрения.

Основные составляющие научной новизны

- закономерности влияния кинематики движения инструмента на геометрическую точность обрабатываемых поверхностей, показавшие предпочтительность круговых траекторий относительного движения притира и деталей;

- экстремальный характер зависимости, позволяющей прогнозировать износ инструмента относительно геометрических размеров рабочей поверхности притира и детали, их взаимного расположения, а также траектории и скорости их движений, что позволило уменьшить величину износа инструмента в 13 раз и повысить точность геометрической формы торцов пластин в процессе абразивной доводки;

- закономерности изменения глубины разрушенного слоя, в зависимости от высотных параметров рельефного слоя (R_{max}), для

достижения шероховатости поверхности торцов пластин монокристалла ниобата лития по параметру Ra 0,003 мкм, свободной от механических повреждений.

Практическая ценность и внедрение результатов работы

1. На основании проведённых исследований создан комплекс оборудования, состоящий из модернизированных станков с вращательной кинематикой рабочего движения притира, оснастки, инструмента, а также выданы рекомендации по его использованию для серийной доводки и полирования торцов пластин, с обеспечением требуемых параметров качества поверхности.

2. Разработаны технологические рекомендации по рациональным режимам обработки, позволяющие обеспечивать параметры шероховатости (Ra = 0,003 мкм) и отклонение от плоскостности (менее 1 мкм), при этом сохранить поверхность, свободную от механических повреждений.

3. Разработан способ и получен патент на операцию доводки деталей микроударным методом на нешаржируемом инструменте из оптического стекла, с применением микропорошка зернистостью 3–7 мкм, с добавлением СОЖ, повышающий производительность и качество обработанной поверхности.

4. Результаты работы внедрены на предприятии УВОК ПАО «ПНППК», г. Пермь. Программа выпуска пластин монокристалла ниобата лития увеличена в 12 раз.

Основные положения работы представлялись и обсуждались на международных и всероссийских конференциях: «Аэрокосмическая техника, высокие технологии и инновации». (Пермь, 2009г.). X-я международная научно-практическая конференция «Нанотехнологии в промышленности» (Казань, 2009 г.). Международный форум «Инженеры будущего» (Иркутск, 2011). Международная научно-практическая конференция «Инновационные технологии в машиностроении», (Пермь, 2012 г.). V Всероссийская научно-практическая конференция "Современные наукоемкие инновационные технологии" (Самара, 2012 г.). Всероссийская научно-практическая конференция «Актуальные проблемы машиностроения» (Самара, 2012 г.). V Всероссийская научно-техническая конференция «Современные тенденции в технологиях металлообработки и конструкциях металлообрабатывающих машин и комплектующих изделий» (Уфа, 2015 г.)

Общая характеристика структуры и содержания диссертации

Диссертационная работа состоит из введения, 5 глав, составляет 151 страницу, включает 66 рисунков, 20 таблиц и списка литературы из 86 наименований. Библиографический список достаточно полно отражает состояние вопроса, рассмотренного в диссертации. По объему и содержанию автореферат и диссертация отвечают требованиям к оформлению кандидатских диссертаций.

В первой главе диссертации рассмотрена физическая сущность процессов доводки и полирования хрупких оптических материалов. При исследовании доводки и полирования прецизионных поверхностей деталей диссертантом проанализированы работы таких ученых как В. М. Винокурова, Ф. Престона, Н. Н. Качалова, И. Е. Александрова, А. Л. Ардамацкого, А. С. Артёмова, Н. П. Липатовой, П. Н. Орлова, Л. С. Цеснека, Р. Г. Кудоярова, В. П. Некрасова и др. Исследователями отмечается, что механизмы абразивного разрушения хрупких оптических материалов, в значительной степени, отличаются от механизмов разрушения пластических материалов. Кроме того, существуют различия в используемых абразивных материалах и способах их применения. Установлено, что при обработке кристаллических материалов возникают микротрещины, которые проникают на некоторую глубину от поверхности и формируют разрушенный подповерхностный слой. Задачей операции полирования является снижение шероховатости, удаление разрушенного слоя и получение поверхности без механических повреждений. К сожалению, в работах исследователей нет информации об особенностях абразивной обработки и глубине разрушенного слоя современных монокристаллических материалов. Задача усложняется при финишной обработке поверхностей малой площади по отношению к площади притира, что приводит к образованию локального износа и негативно сказывается на качестве обработанной поверхности. Поэтому, обеспечение равномерного распределения следов обработки, в зависимости от соотношения размеров обрабатываемой поверхности и инструмента, а также кинематики их относительного движения, является актуальной научной проблемой.

В целом, литературный обзор, представленный диссертантом, можно охарактеризовать, как достаточно полный и четко обозначающий цель работы и задачи, связанные с повышением производительности и

обеспечением показателей качества финишной обработки торцов пластин из монокристалла ниобата лития.

Во второй главе рассматривается влияние кинематики движения инструмента на качественные и количественные показатели процесса доводки торцов пластин. Исследования показали, что для доводки и полирования таких хрупких материалов, как монокристалл ниобат лития, целесообразно использовать станки с вращательным рабочим движением инструмента. Станки с колебательной или поступательной кинематикой инструмента, по причине высокой частоты смены направления вектора скорости и ускорения, не рекомендуются для выполнения финишных операций при обработке данного материала.

Полученная во второй главе, математическая зависимость величины локального износа инструмента имеет экстремальный характер. Автором установлено, что наименьшая величина износа притира достигается при расположении деталей в приспособлении на радиусе $r=30$ мм и возрастает в 13 раз, при увеличении этого значения до предельной величины 44,5 мм. При увеличении частоты n более чем в 3,5 раза, глубина локальной выработки увеличивается на 2-3%.

Для решения задачи равномерного распределения следов обработки по поверхности притира, представлено разработанное автором программное обеспечение. Программное обеспечение позволило прогнозировать износ инструмента, в зависимости от наладочных (размеры приспособления и притира, смещение осей их вращения), кинематических (траектория и скорость относительного перемещения), а также технологических (материал детали и инструмента, зернистость, концентрация, тип связки рабочее давление) параметров доводки.

Представлено спроектированное и изготовленное универсальное приспособление, для реализации механизированных операций доводки и полирования торцов пластин пакетом по 5 штук. Благодаря самоустановке приспособления с деталями на поверхности инструмента была решена проблема «завала краёв». Показано, что с помощью приспособления удалось добиться стабильного обеспечения допуска геометрической формы не более 1 мкм, что в 3 раза точнее по сравнению с ручной обработкой, а также увеличить программу выпуска готовых деталей в 12 раз.

В третьей главе приведены методики экспериментальных исследований, представлено описание стандартного, а также

спроектированного и изготовленного автором инструмента, перечень используемых абразивных материалов, полировальников. Автором разработано оригинальное приспособление для измерения величины линейного съёма, позволяющее оперативно и с минимальным измерительным усилием проводить измерения с высокой точностью. Представлена методика измерения глубины разрушенного приповерхностного слоя с помощью электронного сканирующего микроскопа.

Четвёртая глава посвящена исследованию процесса доводки торцов пластин из ниобата лития. Соискателем установлено, что с увеличением давления и скорости резания производительность съёма возрастает линейно. Шероховатость обработанной поверхности изменяется незначительно. Допустимые значения давления зависят от вида, зернистости абразива и концентрации суспензии. При использовании суспензии 24А М14, концентрации 1/5 допустимое давление не более 40 кПа, а при зернистости 24А М7 и 24А М3 той же концентрации, давление может быть увеличено до 80 кПа. Увеличение зернистости абразива крупнее М14 мкм не целесообразно, по причине резкого увеличения вероятности возникновения сколов и глубоких рисок на обрабатываемой поверхности. Определён максимальный допустимый предел частоты вращения притира – 120 об/мин.

Автором показана возможность применения метода доводки связанным абразивом, обладающим рядом существенных преимуществ. Определены закономерности изменения производительности обработки и шероховатости поверхности от давления и скорости резания, при обработке на алмазных притирах АСН10/7–В3-01–2.

В качестве важного практического результата следует отметить, что автором установлена пропорциональность величины разрушенного слоя F после доводки и величины рельефного слоя h , определяемого путём измерения шероховатости по параметру R_{max} . Для монокристалла ниобата лития определено соотношение: $F=12 \cdot R_{max}$.

Пятая глава посвящена исследованию операции полирования торцов пластин из монокристалла ниобата лития, которое является финишной операцией в технологическом процессе механической обработки. Автором доказана эффективность процесса полирования с применением нетканых полировальников Microlap Remet и VelTex Buehler и искусственной кожи СК-8, для которых определён нижний предел зернистости алмазной

полировальной суспензии, равный $1/0,5$ мкм. В главе приведены рациональные рекомендации по режимам полирования: частота вращения полировальника 180-220 об/мин и давление 80-100 кПа, при которых стабильно обеспечивается требуемое качество и высокая производительность обработки. При этом, обработка с использованием предлагаемой технологической оснастки, по сравнению с ручным полированием, позволяет повысить точность геометрической формы в 3 раза, а производительность полирования в 12 раз.

Автором установлено, что завершение процесса полирования определяется не достижением требуемой шероховатости (Ra 0,003 мкм), а в результате полного удаления разрушенного слоя, после операции доводки. При этом, для расчёта минимального времени полирования, необходимого для удаления разрушенного слоя в условиях производства, автор рекомендует использование выражений: $F = 12 \cdot R_{max}$, мкм; $T_{\text{цикл. пол.}} = F / Q_{\text{пол.}}$, мин., что позволяет повысить эффективность обработки за счёт сокращения времени операции полирования, уменьшения количества брака, вызванного непрополировкой, а также сократить расход абразивных материалов.

Результаты работы внедрены на предприятии УВОК ПАО «ГНППК». Создан комплекс оборудования, состоящий из модернизированных станков с вращательной кинематикой рабочего движения притира, разработанной и изготовленной и изготовленной оснасткой и инструментом. Представлены технологические рекомендации для серийной доводки и полирования торцов пластин монокристалла ниобата лития, с обеспечением требуемых параметров качества поверхности.

Достоверность полученных результатов

В работе, автором, после каждой главы, сделаны обоснованные выводы. Обоснованность и достоверность полученных результатов обеспечивается использованием теории абразивной обработки, теории математического моделирования, теории абразивного изнашивания, теории механизмов и машин.

Достоверность результатов исследований подтверждается, путем многократного повторения экспериментов, а также удовлетворительным схождением результатов, полученных теоретическим путем, с результатами, которые были получены в ходе проведения практических экспериментов.

По теме диссертационной работы опубликованы 15 научных работ, в том числе 8 работ в изданиях рекомендованных ВАК РФ, индексируемых в международных базах цитирования WoS и Scopus.

Замечания по диссертации

Оценивая диссертационную работу Гашева Е. А., считаю необходимым сделать следующие замечания:

1. Автор отмечает ряд существенных преимуществ процесса доводки, с использованием инструмента со связанным абразивом. Не ясно, как учитывается изменение характеристик притиров, в связи с периодическим «засаливанием» или самозатачиванием? Каким именно способом осуществляется восстановление их режущей способности.

2. В диссертации не приведены сравнительные исследования различных СОТС. Автор ограничивается рассмотрением в качестве СОТС, лишь деионизированной или фильтрованной воды.

3. Во второй главе, на стр. 71, автор приводит сведения об износостойкости притиров из различных марок оптического стекла (К8 и ЛК5). Также отмечается рост производительности обработки 16-18% на стекле марки К8 по сравнению с ЛК5. Чем объясняется подобный прирост производительности?

4. В 3 главе на стр. 77 в таблице 3.1 приведены интервалы изменения подачи суспензии ТН и ТЛ. В заключении, автор не приводит рекомендаций по выбору значений этих параметров, хотя количество абразивной суспензии оказывает значительное влияние на параметры обработки.

5. Разработанное автором приспособление обладает важнейшим, для обеспечения точности геометрической формы, свойством «самоустановки» на поверхности инструмента. Однако, соискатель подробно не раскрывает механизм «самоустановки», ограничиваясь лишь условием кратности трем, количества одновременно обрабатываемых пакетов.

Заключение

Приведенные замечания не снижают научный уровень и практическую ценность рецензируемой диссертации. Диссертация написана грамотным техническим языком, характерным для научно-технических и практико-ориентированных работ. Автореферат и опубликованные статьи, в полной мере, отражают содержание диссертации. Актуальность темы, степень

обоснованности выводов и научных положений работы, достоверность и новизна результатов позволяют заключить, что диссертация Гашева Евгения Анатольевича «Повышение эффективности доводки и полирования пластин интегральной оптики», представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой содержится решение проблемы, имеющей важное значение для приборостроения в области производства волоконно-оптических гироскопов. Диссертация соответствует требованиям п.9 «Положения о присуждении ученых степеней» (Постановление Правительства РФ N 842 от 24 сентября 2013 г.), предъявляемым ВАК Министерства образования и науки РФ к кандидатским диссертациям, а её автор Гашев Евгений Анатольевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.07 – «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки».

Ведущий специалист
ПАО «ОДК-Сатурн»,
кандидат технических наук

Цветков Егор Викторович

Подпись
Цветкова Егора Викторовича
удостоверяю:
директор по персоналу
ПАО «ОДК-Сатурн»



Барвинок Дмитрий Викторович

10.12.18