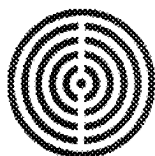


ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

ОГЛАВЛЕНИЕ

	ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ	6
Подобрянский А.В.	Применение алмазного инструмента для обработки неметаллических материалов	7
Новиков Н.В. Филатов Ю.Д.	Современные пути развития теории формообразования прецизионных оптических поверхностей	9
Бальков А.В.	Инновационные технологии алмазной обработки деталей из неметаллических материалов	11
Пащенко Е.А.	Перспективные алмазосодержащие композиты на основе полифениленов, структурированных нанодисперсными частицами металлов и оксидов	14
Томаль В.С. Касинский Н.К. Дорошкевич А.Г.	Автоматизированное заготовительное оборудование для оптических цехов	16
Девин Л.Н. Рычев С.В.	Алмазные монокристаллические резцы для обработки металлооптических поверхностей	18
Гречишников В.А. Романов В.Б.	Конструкции фрез, оснащенных СТМ, для обработки мелкогабаритных деталей	20
Захаревич Е.М. Лапшин В.В. Грубый С.В.	Технология заточки и исследование качества прецизионных резцов из СТМ	22
	СЕКЦИЯ 1	
	АЛМАЗНЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПРЕЦИЗИОННОЙ ОБРАБОТКИ ОПТИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ	24
Патрикеев В.Е. Веселов А.А. Абдулкадыров М.А.	Прецизионная алмазная обработка структур облегченных астрономических и космических зеркал, корпусов лазерных гироскопов	25



Маслов В.П.

Имитационная модель поверхностного слоя оптических стекол, нарушенных механической обработкой 27

Сохань С.В.

Способы управления формообразованием прецизионных сферических поверхностей деталей из сапфира 28

Арутюнян В.В.
Шевцов С.Е.

Формообразование оптических поверхностей методом алмазного микроточения на материалах, применяемых в ИК-диапазоне спектра 30

Ведутенко В.В.

Оборудование Shimadzu для определения физико-химических свойств материалов 31

Айзенштат С.Д.
Кондратенко В.С.
Кобыш Н.И.
Кобыш А.Н.

Эффективный связанный алмазно-абразивный инструмент для оптической обработки материалов 33

Яковлев О.Б.
Кручинин Д.Ю.
Ломакова М.А.

Магнитореологическая доводка деталей из кристаллических оптических материалов 35

Агачев А.Р.
Горшков В.А.
Ларионов Н.П.
Лукин А.В.
Мельников А.Н.
Ураскин А.М.

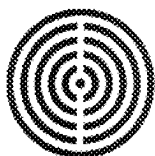
Формообразование асферической металлооптики с высокой лучевой стойкостью на основе использования алмазного микроточения 36

Гусев В.В.
Калафатова Л.П.
Олейник С.Ю.

Исследование формирования волнистости поверхности при алмазном шлифовании тонкостенных сложнопрофильных оболочек вращения из ситаллов 37

Петров С.Н.

Алмазная обработка сферических металлических зеркал на автоматизированном оборудовании фирмы «OptoTech» 39



Томаль В.С.
Касинский Н.К.
Дорошкевич А.Г.
Ратомский В.В.
Гончаров Ю.П.

Хохленков Л.Н.
Качан В.В.

Кривоногов С.И.
Будников А.Т.
Вовк Е.А.
Канищев В.Н.

Филатов А.Ю.
Сидорко В.И.

Томаль В.С.
Козерук А.С.
Сафонов В.В.

Горохов В.С.

Рогов В.В.

Ломакин Ю.В.

Герасимов С.А.

Прецизионная алмазная обработка оптических деталей со сложной геометрией поверхности 41

Освоение производства асферической оптики на станках с ЧПУ 43

Изготовление широкоапертурных элементов из сапфира 45

Исследование закономерностей образования налета на обрабатываемой поверхности при полировании оптического стекла 47

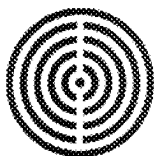
Станок для одновременного двустороннего шлифования и полирования линз с тонким центром 49

Ультрапрецизионные технологии алмазной обработки 51

Физико-химия в процессах формирования прецизионных поверхностей деталей электронной техники и оптических систем из сапфира ($\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$) при трибохимическом полировании 53

Направления развития оптических технологий для формообразования прецизионных поверхностей оптических деталей алмазными инструментами в «жестких осях» 55

Алмазный инструмент для механической обработки неметаллических материалов 58



Сухонос С.И.
Балыков А.В.

Петасюк Г.А.
Шамраева В.С.
Петасюк О.У.

Михайлов В.В.
Чекаль В.Н.
Чудаков Ю.И.
Чухнин А.Я.

Найденко А.Г.
Девин Л.Н.
Осадчий А.А.

Ляпусов С.Г.
Кузин В.В.

Ляпусов С.Г.

Осипов П.П.
Индукаев К.В.
Ляпусов С.Г.

Григорьев В.И.

Михалькевич А.А.

Балкаров Т.С.

СЕКЦИЯ 2

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ВЫСОКОТОЧНОЙ АЛМАЗНОЙ ОБРАБОТКИ МЕХАНИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ 59

Новый алмазно-абразивный инструмент «МонАлит» 60

**Исследование взаимосвязи количества режущих кро-
мок и угла их заострения с абразивной способностью
алмазных микропорошков 64**

**Простой и эффективный метод расчета коррекции
формы малоразмерным инструментом 66**

**Оценка неоднородности поверхностного слоя алюми-
ниевых зеркал после алмазного микроточения мето-
дом вихревых токов 68**

**Качество доводки плоских поверхностей деталей из
высокоплотной керамики 70**

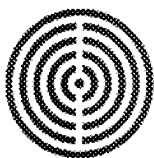
**Современные тенденции использования технологий
алмазного точения 72**

**Сверхпрецизионный станок для производства опти-
ческих элементов с глубокой асферикой координат-
ным алмазным точением «Асферика» 74**

**Системы ЧПУ «Микрос» для ультрапрецизионных
станков алмазной обработки 77**

**Модернизация механообрабатывающего производства
- одна из составляющих развития оптического прибо-
ростроения 79**

**Алмазный инструмент для машиностроения и прибо-
ростроения 82**



Скворцова М.А.

**Метрологический контроль и особенности измерения
особоточных поверхностей и параметров ультрапре-
цизионных деталей**

84

Дорошина Ю.П.
Митрофанова Ю.С.
Горохова О.С.

**Оптимизация конструкций, технологий изготовления,
сборки и юстировки зеркал для изделий специального
назначения**

86

Гречишников В.А.
Тарасов А.В.

**Разработка автоматизированной системы комплекс-
ного проектирования инструментов, оснащенных ре-
жущими элементами из СТМ и твердого сплава**

88

Кирин И.А.

**Сравнительный анализ прецизионного токарно-фре-
зерного оборудования**

89

Поперенко Л.В.
Шайкевич И.А.
Мельниченко Л.Ю.

**Спектроэллипсометрические свойства изготовленных
алмазным точением алюминиевых зеркал**

91

Пленарные доклады

ПРИМЕНЕНИЕ АЛМАЗНОГО ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ОБРАБОТКИ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

ПОДОБРЯНСКИЙ А.В.

ОАО «НПО «Оптика», г. Москва

E-mail: optika@prooptica.ru

Годовой объем мирового рынка алмазных инструментов, по оценкам экспертов, оценивается в денежном выражении суммой в 4-5 млрд. долларов.

По данным зарубежных источников выпуск промышленных синтетических алмазов составил более 3 млрд. карат, из которых 78% произведено в Китае. Китай же является и самым крупным потребителем технических алмазов: более 1 млрд. карат в год. Занимающие 2-ое по потреблению США используют всего 500 млн. карат. Россия, точнее СССР, в 1990 г. синтезировала около 245 млн. карат алмазных порошков и выпустили алмазный инструмент, содержащий более 215 млн. карат алмаза, в том числе около 16 млн. карат природных алмазов. Более 45 млн. карат синтетических порошков продавалось на экспорт, использовалось в свободном состоянии и для изготовления специальных инструментов на предприятиях - потребителях.

В настоящее время производство алмазных порошков в России имеет годовой объем около 80 млн. карат и не является сбалансированным с потребностями внутреннего рынка. Основную долю (до 95 %) составляют высокоабразивные низкопрочные порошки марок АС2 - АС6, которые, в основном, используются для изготовления абразивного инструмента на органических связках. Такой инструмент пригоден лишь для определенных целей, например, заточки твердого сплава и не является универсальным.

Практически все алмазные порошки марок АС32 - АС200 для изготовления отечественного инструмента закупаются по импорту. Да и сам инструмент на 90% - импортный.

Резкое падение объемов промышленного производства в РФ, начавшееся в 1991 г., привело к снижению потребности и, соответственно, снижению производства алмазного инструмента. Наиболее низкие объемы производства были в 1998 г. В 2002 г. производство алмазного инструмента к уровню 1990 г. составило 18,9 %.

В самой России изготавливается по данным 2000 г. инструмент с общим содержанием алмаза 13,1 млн. карат. Годовой темп роста в данной области производства составил 10%.

Крупные оптические предприятия традиционно имели собственные производства алмазного инструмента, изготавливающие до 50 - 70 % потребности предприятия в алмазном инструменте. Пока такие потребности составляли на некоторых заводах до 500 тыс. карат в год, существование таких производств, на которых было занято до 10 - 15 человек, было экономически оправданным.

Положение в корне изменилось с начала 90-х годов, когда объемы производства оптики упали в 5 - 10 раз с соответствующим снижением потребности в алмазном инструменте. Держать даже 2 - 3 человек, выпускающих в год инструмент с содержанием алмаза 4 - 8 тыс. карат, рыночная стоимость которого составляет 10 - 15 тыс. евро - больше дань традиции, чем целесообразности. Поэтому такие производства со временем должны исчезнуть.

Годовую потребность оптических предприятий в алмазном инструменте разного вида для обработки стекла можно в среднем оценить в 165 500 карат.

Отечественные производители, как правило, поставляют не готовые к работе инструменты, а полуфабрикаты: кольца, коронки сверл, алмазные грибы и чашки.

Конкурентным преимуществом зарубежных фирм - производителей инструмента является то, что они поставляют инструмент полностью готовый к установке на станок и работе. Особенно это важно для современных прецизионных и скоростных станков, где требования к точности посадочных мест инструмента достигают 6-го качества, по балансировке - соответствуют или превышают требования 1-ого класса.

В связи с нерентабельностью производства алмазного инструмента собственными силами, из-за малых объемов и большой номенклатуры оптические предприятия должны стремиться переходить на покупной инструмент.

Отмиранию собственного производства противодействует то, что предприятия, изготавливающие алмазный инструмент, не заинтересованы в выпуске многономенклатурной мелкосерийной продукции по заказам отдельных оптических производств, либо вынуждены перекладывать себестоимость оснастки на выпуск небольшой партии инструмента, что значительно удорожает его. Только централизованное снабжение всех предприятий отрасли через фирму, изготавливающую алмазный инструмент или занимающейся его дистрибуцией, позволит увеличить серийность, оптимизировать цены.

В последнее время создано новое поколение прецизионного автоматизированного оптического оборудования для обработки сферических, асферических и поверхностей свободной формы.

Ведущие фирмы в области оптической технологии и станочного оборудования ("SatisLoh", "OptoTech", "Schneider" ФРГ) разработали и поставляют на мировой рынок специализированные оптические станки с ЧПУ и обрабатывающие центры, обеспечивающие в обязательном порядке операцию тонкого шлифования кольцевым алмазным инструментом и концентрацию нескольких переходов шлифования и операций.

В РФ в настоящее время аналогичное прецизионное оборудование не производится. Рядом оптических предприятий (ОАО «Красногорский завод им. С.А.Зверева», ОАО "ПО "УОМЗ", ОАО "ВОМЗ", ФГУП "ЦКБ "Точприбор", ОАО "НПЗ", ОАО "ЛЗОС" и др.) такое оборудование закуплено за рубежом и эксплуатируется. Инструмент для обработки на таких станках поставляется фирмами - производителями оборудования ("SatisLoh", "OptoTech", "Schneider" ФРГ) в комплекте со станками.

Такой инструмент производится фирмами "WINTER" (ФРГ), "Sanwa Seimitsu Kogyo Co. LTD" (Япония). Японская фирма поставляет на рынки южноазиатских стран инструмент диаметром 6 - 60 мм на металлической связке с зернистостью алмаза 80/63 для шлифования в 1 переход. На российском рынке продукция фирмы не представлена.

В РФ аналогичный инструмент специализированными предприятиями не выпускаются.

Алмазный инструмент для операций распиливания заготовок, центрирования, фрезерования фасонных и комбинированных поверхностей придется приобретать на отечественных инструментальных предприятиях или по импорту, что делается и сейчас.

Потребность в инструменте для сферофрезерования, фрезерования плоскостей, ручного факетирования предприятия до настоящего времени в значительной степени закрывают за счет собственного производства. В связи с падением объемов такое производство становится нерентабельным, и потребность придется закрывать за счет организации централизованного производства такого инструмента.

Алмазные элементы для тонкого алмазного шлифования и цельные сферические шлифовальники освоены в производстве ОАО "НПО "Оптика". От производства, очень небольшого, на оптических предприятиях можно отказаться, и необходимо дополнять производство ОАО "НПО "Оптика" соответствующей номенклатурой.

СОВРЕМЕННЫЕ ПУТИ РАЗВИТИЯ ТЕОРИИ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ПРЕЦИЗИОННЫХ ОПТИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

НОВИКОВ Н.В., ФИЛАТОВ Ю.Д.

Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины, г. Киев, Украина

E-mail: almaz@ism.kiev.ua, filatov@ism.kiev.ua

Оптические детали из стекла, оптических и полупроводниковых кристаллов, оптической керамики и других неметаллических материалов в современном производстве изготавливаются методами алмазно-абразивной обработки. Операции шлифования, тонкого алмазного шлифования (ТАШ) и супертонкого алмазного шлифования (СТАШ) осуществляются при помощи функционально ориентированных алмазных инструментов со специальной характеристикой и конструкцией рабочего слоя, а заключительная операция полирования, в общем случае, осуществляется в один или два перехода: полирование при помощи инструмента со связанным полировальным порошком типа Аквапол и химико-механическое полирование (СМП) при помощи нанопорошков в свободном состоянии.

По мнению проф. Цеснека Л.С. проблема формообразования прецизионных оптических поверхностей подразумевает решение, по крайней мере, трех основных задач: изучение механизма съема обрабатываемого материала (интенсивность изнашивания), исследование механизма образования макропрофиля (точность формообразования) и микропрофиля (шероховатость) обработанных поверхностей.

Результаты исследований механизма съема обрабатываемого материала в процессе алмазно-абразивной обработки оптических поверхностей за последние десятилетия позволили объяснить целый ряд теоретических и экспериментальных закономерностей процесса их прецизионного формообразования. Состояние проблемы контактного взаимодействия инструмента и обрабатываемой детали при полировании оптических поверхностей (ОП) характеризуется решением вопросов, связанных с изучением механизмов диспергирования частиц шлама и их распределения по размерам, исследованием закономерностей формообразования прецизионных поверхностей и управлением точностью их формы за счет оптимизации кинематических и режимных параметров процесса и выбора функционально-ориентированных конструкций и характеристик рабочего слоя инструмента, разработкой методов расчета интенсивности съема обрабатываемого материала и компьютерного моделирования микро- и макрорельефа взаимодействующих поверхностей детали и инструмента.

В настоящее время изучено влияние технологических и конструктивных параметров, физико-химических свойств детали, инструмента и смазывающе-охлаждающей технологической среды на эффективность и качество обработки ОП при полировании. Проблема повышения точности формообразования прецизионных поверхностей при финишной обработке за счет управления кинематическими и режимными параметрами процесса обработки и выбора функционально-ориентированных конструкции и характеристики рабочего слоя инструмента традиционно решалась на основе экспериментально-расчетных методов применительно к конкретным деталям. Существовавшие методики расчета интенсивности съема обрабатываемого материала при шлифовании и полировании, как

правило, базировались на уравнении Престона (Preston, 1927 г.) и применялись при допущениях и приближениях, правомерных лишь для определенных условий обработки.

Одним из главных достижений в развитии теории формообразования ОП, на сегодняшний день, является разработка кластерной модели съема обрабатываемого материала при полировании неметаллических материалов (Филатов Ю.Д., Рогов В.В., 1991 г.) и физико-статистической модели образования и удаления с обрабатываемой поверхности частиц шлама и износа инструмента в процессе финишной алмазно-абразивной обработки (Филатов Ю.Д., Сидорко В.И., 2005 г.). На основе указанных моделей, не прибегая к линейному закону Престона, удалось рассчитать производительность полирования неметаллических материалов и интенсивность износа инструмента со связанным полировальным порошком, а также реализовать возможность определения формы обработанной поверхности и ее эволюции в процессе обработки.

При исследовании закономерностей взаимодействия частиц шлама в зоне контакта инструмента и обрабатываемой поверхности на основе физико-статистической модели образования и удаления частиц шлама в процессе шлифования и классической теории рассеяния частиц изучены особенности механизма формирования микрорельефа обрабатываемой поверхности при шлифовании (Новиков Н.В., Сидорко В.И., Филатов Ю.Д., 2008 г.). Установлено, что в результате хрупкого разрушения поверхностного слоя в точках пересечения царапин, наносимых отдельными алмазными зернами, формируется поверхность с равновесной шероховатостью и образуются частицы шлама. Затем микрорельеф поверхности изменяется вследствие износа наибольших выступов шероховатой поверхности за счет эрозионного действия потока частиц шлама, а шероховатость поверхности, особенно в центральной зоне, может значительно уменьшиться (по параметру Ra до 1,5 раза).

При исследовании закономерностей взаимодействия частиц шлама и частиц износа инструмента в процессе полирования на основе физико-статистической модели и квантовой теории рассеяния наночастиц изучены закономерности формирования микропрофиля полированной поверхности (Филатов Ю.Д., Филатов А.Ю., Monteil G., 2011 г.) и показано, что функция микропрофиля полированной поверхности зависит от вероятности попадания частицы износа на обрабатываемую поверхность, которая определяется полным сечением рассеяния частиц износа и величиной наиболее вероятного размера частиц шлама.

Дальнейшее развитие теории формообразования прецизионных оптических поверхностей, повидимому, будет осуществляться путем ее распространения на более широкую гамму обрабатываемых материалов, обобщения на все переходы шлифования и полирования, а также рассмотрения и учета механо-химических и механо-электрических явлений, которые непременно происходят в процессе финишной обработки.

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ АЛМАЗНОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ ИЗ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

БАЛЫКОВ А.В.

ООО «РусАтлант», г. Москва

E-mail: balykov08@mail.ru

Перед холдингами ОАО «Швабе», «Авионика» государственной корпорации «Ростехнологии» стоит задача по повышению технического уровня магнито-, опто-, акусто-электронных компонентов, обновляемых на основе новых конструкционных неметаллических материалов и существенному расширению объемов их производства. Эта область высоких технологий развивается чрезвычайно быстро и включает оптико-электронное приборостроение и лазерную технику, во многом определяющих функциональность и качество навигационного оборудования.

В первую очередь это относится к технологии механической обработки лазерных гироскопов, микросхем, линий задержек, резонаторов, фильтров, датчиков давления, вибрации, ускорения и др. В качестве конструкционных материалов для их изготовления находят широкое применение хрупкие неметаллические материалы: ситаллы, различные марки стекол, поликор, пьезокерамика, кварц, ферриты, лейкосапфир, лангаты и пр. Эти материалы отличаются высокой твердостью, прочностью, повышенной хрупкостью и рядом уникальных электрофизических свойств.

Алмазная обработка является одним из наиболее эффективных методов формообразования деталей из хрупких твердых неметаллических материалов.

Процессы механической обработки деталей из неметаллических материалов: резка, сверление и зенкерование отверстий, глубинное шлифование по целому, координатное и профильное шлифование кромки и факета, гравирование, нарезание резьбы - проходят в самых экстремальных условиях, в которых традиционные алмазные инструменты, изготавливаемые гальваническим закреплением алмазных зёрен и методом порошковой металлургии, не решают поставленных задач. Например, сверление отверстий $\varnothing 2,5$ мм, длиной 100 мм в корпусах из ситаллов лазерных гироскопов показало, что гальванического сверла не хватает даже на одно отверстие, что отрицательно сказывается на качестве получаемого изделия.

Отсутствие необходимых алмазных инструментов на отечественном и зарубежном рынке создают проблемы обработки новых материалов, становятся существенным препятствием к их внедрению.

Решение этой проблемы возможно за счет создания новых технологий изготовления алмазного инструмента. Российская фирма "РусАтлант" создала уникальную серийную запатентованную технологию изготовления алмазно-абразивного высокопроизводительного и износостойкого инструмента нового поколения "МонАлит", имеющего оптимальное соотношение «цена-ресурс». Это стало возможным в результате теоретического и экспериментального изучения процессов, одновременно протекающих на контакте алмазного инструмента и материала детали[1]

Очевидным является то, что сила резания, возникающая в зоне контакта алмазного зерна с обрабатываемым материалом, создает напряжения в материале, зерне и связке. В результате исследований [2] выявлены закономерности диспергирования поверхности обрабатываемого материала и изнашивания режущей поверхности алмазных кругов, и

установлены связи между их физико-механическими свойствами и силой резания. При этом, для обеспечения диспергирования поверхности детали и повышения износостойкости алмазного инструмента напряжения, создаваемые под действием этой силы алмазными рабочими зёрнами в обрабатываемом материале, должны превышать предел прочности хрупкого разрушения материала. Это соотношение с учетом сил резания и площадей контакта может быть записано в следующем виде:

$$\sigma_{\partial} \geq \sigma_p \rightarrow \sigma_{\partial} \cdot F_k \geq \sigma_p \cdot F_k \rightarrow P_{y\partial} \geq P_{yp} ,$$

где σ_p - предел прочности хрупкого разрушения материала;

σ_{∂} - напряжения, создаваемые на материале и зерне;

$P_{y\partial}$ - действующая сила резания;

P_{yp} - критическая сила резания, соответствующая порогу разрушения материала.

С применением методов теории подобия и анализа размерностей процесса разработана методика [2] выбора режимов алмазного сверления отверстий в деталях из хрупких неметаллических материалов

Было установлено, что при шлифовании алмазными кругами "МонАлиТ" величина нарушенного слоя [3] кварцевых пластин в среднем в 2 раза меньше, чем при шлифовании суспензиями на основе алмаза или карбида кремния той же зернистости, при значительно меньшей шероховатости поверхности пластин, обработанных кругами.

В настоящее время инструменты "МонАлиТ" поставляются на многие предприятия, в частности на "ЛЗОС" г. Лыкарино, ОАО «НИИ НПО им. М.Ф. Стельмаха», "Полюс" г. Москва, "РПЗ" г. Раменское, "Электроприбор" г. Тамбов, "Темп-Авиа" г. Арзамас и др.

На ОАО «НПО им. М.Ф. Стельмаха», «Полюс» проводятся совместные работы по внедрению новых инструментов "МонАлиТ", разработанных и изготавливаемых ООО "РусАтлант", Успешно работают высокостойкие алмазные сверла и фрезы $\varnothing 1,3$; $\varnothing 2,55$; $\varnothing 3,9$ и др. при обработке глубоких отверстий в корпусах из ситалла. Разработка новых конструкции кольцевых алмазных сверл диаметром 1,3-3,6 мм позволила обрабатывать отверстия в гироскопе из ситалла на глубину 120 мм. Применение нового инструмента обеспечило повышение стойкости инструмента в 8-15 раз, производительности обработки в 2-3 раза, при обеспечении качества получаемых изделий.

Одним из важнейших элементов современных скоростных ракет, управляемых методом радиолокационного наведения на цель, является головной радиопрозрачный антенный обтекатель, имеющий форму сложнопрофильной оболочки вращения двойной кривизны. При механической обработке обтекателя на ФГУП "Обнинское научно-производственное предприятие "Технология", возникал ряд проблем. Были разработаны специальные алмазные круги и головки "МонАлиТ" 6 типов, освоено их серийное производство, проведены совместные исследования по определению максимально-допустимых сил резания с учётом режимов шлифования для разных зон работы инструмента при шлифовании керамических сложнопрофильных оболочек без разрушения. Повышена производительность обработки в 5,5 раз.

Уникальный инструмент "МонАлиТ" нашёл применение в медицине для шлифования и доводки основных элементов искусственных клапанов сердца из углеситалла. На предприятии ЗАО НПП "Мединж" г. Пенза, начиная с 2011 года, применяются новые специальные алмазные прецизионные инструменты "МонАлиТ", разработанные и изготавливаемые ООО "РусАтлант". Применение нового инструмента "МонАлиТ"

по сравнению с ранее применявшимся инструментом в среднем обеспечило повышение стойкости в 14 раз, производительности обработки в 3-4 раз, при высоком качестве выпускаемых изделий и обеспечило высокую надёжность работы клапана сердца.

На ООО "Александр" г. Рязань при обработке деталей из кварца, стекла, лейкоаппарата применяются специальные фрезы: от $\Phi 20 \times 95$ до $\Phi 71 \times 95$; специальные подковообразные сверла: $\varnothing 7,38$; специальные сверла с планетарно расположенным отверстием: $\varnothing 10,0 \times \varnothing 2,6$; сверла-вставки: $\varnothing 1,42$, $\varnothing 1,74$, зенковки: $\varnothing 3,9$, $\varnothing 7,90$, $\varnothing 14,2 \times \varnothing 4,8$ мм и др. Разработка новых конструкций и характеристик кольцевых алмазных фрез "Моналит" на переходах грубого и тонкого шлифования линз позволила высокопроизводительно проводить их обработку без видимого износа режущих кромок фрез. Внедрение нового инструмента "МонАлиТ" по сравнению с ранее применявшимся инструментом в среднем обеспечило повышение стойкости в 10 раз, производительности обработки в 2,5 раза, при высоком качестве выпускаемых изделий.

Наиболее успешно комплексно внедрены новые инструменты "МонАлиТ" из алмазов и эльбора при обработке деталей из неметаллических и металлических материалов в основном и инструментальном производствах на «Раменском приборостроительном заводе», где предприятие «Рус-Атлант» проводит работы, начиная с 2009 года.

Для обработки деталей из ситалла типа корпус, моноблок, пластина, призма, подложка разработаны алмазные уникальные головки: цилиндрические - $\varnothing 0,8$, $\varnothing 0,9$ мм; сферические $\varnothing 2,0$ мм; прецизионные тонкостенные сверла с подачей СОТС во внутреннюю полость: от $\varnothing 1,3$ до $\varnothing 50 \times 45,7$ мм; сверла: $\varnothing 6,49$; специальные сверла с планетарно расположенным отверстием: $\varnothing 17,95 \times \varnothing 2,8$ мм; зенковки: $\varnothing 2,45$, $\varnothing 3,9$, $\varnothing 7,9$ и др. Все эти специальные алмазные инструменты применяются при формообразовании отверстий и других геометрических форм в деталях лазерных гироскопов из ситалла. Всего для нужд «РПЗ» освоено производство около 60 позиций оригинального алмазного инструмента. Применение нового инструмента по сравнению с гальваническим инструментом в среднем обеспечило повышение стойкости в 8 раз, производительности обработки в 2 раза.

Разработаны и внедрены в инструментальном производстве «РПЗ» кромкостойкие уникальные резьбошлифовальные головки из эльбора "МонАлиТ" для внутреннего планетарного шлифования по целому резьбовых колец из закаленных сталей ШХ-15 диаметром от 8 мм с различными шагами. Производственные испытания на станке с ЧПУ «Ultramat CNC 650» фирмы «Jones & Shipman» (Англия), показали следующее:

- повышение стойкости инструмента в 6-12 раз;
- повышение производительности обработки в 12 раз.
- отклонение точности обработки профиля калибров-колец по среднему диаметру - 12 мкм.

В настоящее время на "РПЗ" все процессы механической обработки деталей лазерных гироскопов из ситалла переведены на обработку алмазным инструментом "МонАлиТ". Планируется широко внедрить алмазно-эльборовые круги в основном и инструментальном производствах на других предприятиях.

Список литературы:

1. Балыков А.В. Алмазное сверление отверстий в деталях из хрупких неметаллических материалов. // М.: Наука и технология, 2003, с. 187
2. Патент на изобретение "Способ обработки отверстий в деталях из хрупких неметаллических материалов", № 2384404 от 20 марта 2010 г.
3. Балыков А.В., Липатова А.Б. Выбор режимов и технологических условий алмазного шлифования пластин из хрупких неметаллических материалов. М.: "Технология металлов", № 1, 2011, с. 31-42.

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ АЛМАЗСОДЕРЖАЩИЕ КОМПОЗИТЫ НА ОСНОВЕ ПОЛИФЕНИЛЕНОВ, СТРУКТУРИРОВАННЫХ НАНОДИСПЕРСНЫМИ ЧАСТИЦАМИ МЕТАЛЛОВ И ОКСИДОВ

ПАЩЕНКО Е.А.

Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины, г. Киев, Украина

E-mail: lab6_1@ism.kiev.ua

Разработка нового поколения алмазосодержащих инструментальных композитов требует получения материалов с необычными взаимосвязями между структурой и свойствами. Композиционные материалы на основе полифениленов, содержащие ультрадисперсные частицы металлов, сформированные непосредственно в процессе синтеза и отверждения олигомера, проявляют сильно выраженную нелинейность отклика на внешнее термомеханическое воздействие. Такая нелинейность проявляется как способность к адаптивному поведению в процессе абразивного резания.

Подобное поведение можно определить как способность абразивного композита к самопроизвольному, обратимому, многократному изменению структуры и свойств в соответствии с условиями контактной зоны. Последние могут меняться как заданным образом (изменение режима обработки), так и случайным (например, разброс мгновенных значений силовых параметров по площади контакта инструментального и обрабатываемого материала).

Ключевым положением в синтезе материалов, способных к структурной самоадаптации в зоне трения и абразивного резания, является возможность формирования элементов строения композита, которые обладали бы свойствами молекулярного реле. Имеется в виду способность к обратимому переключению двух или нескольких структурных состояний под действием меняющихся внешних условий с соответствующим изменением микро- и макроскопических механических свойств материала. Такие структурные элементы можно реализовать в композитах на основе полифениленов, насыщенных ультрадисперсными частицами. При этом они будут представлять собой или участки полимерных сеток в объеме отвержденных связующих, или сегменты полимера, непосредственно связанные с поверхностью наполнителя. Второй вариант позволяет реализовать больший диапазон изменения жесткости композита в процессе его структурной самоадаптации.

Элементы структуры композита со свойствами молекулярного реле представляют собой участки поверхности частиц наполнителя, которые являются местом химической прививки к поверхности реакционноспособных групп полимера.

При получении композиционного материала горячим прессованием при обычных для полимерных связок давлениях (10-100 МПа) происходит увеличение концентрации функциональных групп полимера, связанных с частицами наполнителя. Последние при этом, по данным ИК-спектроскопии, находятся на поверхности в состоянии физической адсорбции. При высоких нагрузках, приложенных либо в статической либо в динамической (воздействие ультразвука) форме, происходит переключение "молекулярного реле". Макроскопические образцы материала в трех упомянутых состояниях могут быть стабилизированы закалкой и исследованы, например, акустическим методом.

Переключение из мягкого состояния в жесткое сопровождается установлением прочных химических связей полимерной составляющей композита с поверхностью наполнителя за счет переноса электронов от атомов металла на привитую функциональную группу, что вызывает значительное увеличение жесткости структуры. В реальных условиях работы абразивного композита это может происходить на отдельных участках поверхностного слоя инструмента, с постепенным увеличением количества и площади таких участков по мере увеличения нагрузки, необходимой для большего съема обрабатываемого материала.

Жесткий материал, в котором значительная доля поверхности частиц наполнителя связана с полимерным связующим прочными химическими связями, нестабилен в виде массивных образцов и непригоден для практического использования вследствие высокого уровня внутренних напряжений. Материал с такой структурой также нестабилен и при полной разгрузке легко возвращается к исходной структуре.

Взаимные переходы между тремя возможными структурами композита происходят также и в динамических условиях. Наложение ультразвуковых колебаний переменной мощности позволяет моделировать те реальные условия, в которых абразивный композит находится в рабочей зоне. Увеличение мощности ультразвука выступает в качестве фактора, инициирующего переключение молекулярного реле и, соответственно, обратимое изменение жесткости композита.

Универсальный подход к формированию на поверхности частиц наполнителя адсорбционно-активных центров с необходимым набором свойств обеспечивается при использовании для синтеза олигомеров таких реакционных систем, которые позволяют формировать в структуре композита ультрадисперсные частицы металлов с различными стехиометрическим содержанием кислорода. Дополнительно могут использоваться ультрадисперсные наполнители, такие как SiC, TiC.

Явное преимущество инструмента на основе адаптивных композитов проявляется при алмазном шлифовании твердых сплавов. Накопленный нами опыт использования абразивных композитов, способных к адаптивному поведению в контактной зоне, свидетельствует, что они позволяют повышать съём обрабатываемого материала, сохраняя при этом более высокую стойкость, чем серийный инструмент.

При этом повышение производительности абразивной обработки сочетается с благоприятным воздействием на состояние обработанных поверхностей, включая их микрогеометрические параметры.

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ЗАГОТОВИТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ОПТИЧЕСКИХ ЦЕХОВ

ТОМАЛЬ В.С., КАСИНСКИЙ Н.К., ДОРОШКЕВИЧ А.Г.

РУП «Оптическое станкостроение и вакуумная техника», г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: os_vt@mail.belpak.by

В настоящее время массовое и серийное производство на оптических предприятиях России и Беларуси практически отсутствует. В связи с этим стекловаренным заводам стало экономически невыгодно поставлять мелкими партиями прессованные заготовки из стекломассы и они переходят на поставку оптического стекла в виде фрезерованных плиток установленного размера. Оптические цеха вынуждены самостоятельно осуществлять алмазную обработку этих плиток для получения заготовок под конкретные размеры оптических деталей.

При отсутствии специального оборудования эти вспомогательные операции по трудоёмкости становятся соизмеримы с основными (шлифовкой, полировкой, центрировкой и т. д.), что повышает трудоёмкость в оптическом цехе, а, следовательно, и себестоимость продукции.

Для решения возникшей проблемы РУП "Оптическое станкостроение и вакуумная техника" был разработан комплекс автоматизированного заготовительного оборудования для получения требуемых заготовок из поставляемых плиток. Комплекс включает в себя следующие станки:

- распиловочный станок модели АЗР-100;
- круглошлифовальный станок модели АЗК-100;
- круглошлифовальный станок модели КШС-35;
- штрипсовый станок модели АЗШ-100.

Система управления станками выполнена на базе промышленного программируемого контроллера CJIW корпорации "Omron" (Япония). Работа всех устройств контроллера управляется процессором в соответствии с алгоритмом, определяемым программой, хранящейся в энергонезависимой памяти. Система управления обеспечивает работу станков в следующих режимах: автоматический, ручной, режим обнуления.

Данная система управления позволяет с микронной точностью осуществлять перемещение рабочих органов станка, плавно и в широком диапазоне регулировать частоты вращения шпинделей инструмента и изделия.

Станок распиловочный предназначен для распиливания оптических заготовок (брусков, штабиков, пластин, цилиндрических заготовок, кускового стекла) на мерные заготовки дисковыми алмазно-отрезными кругами. Диаметры алмазно-отрезных кругов по ГОСТ 10110-87 от 125 до 250 мм, ширина реза от 1 до 3 мм. Размеры распиливаемых заготовок: длина от 50 до 200 мм, высота от 5 до 70 мм.

Использование пневмотисков для крепления обрабатываемого стекла и перемещение рабочего стола в двух направлениях по оси "Х" и "У" позволяет в автоматическом режиме осуществлять его распил на требуемое количество заготовок.

Круглошлифовальный станок модели АЗК-100 предназначен для кругления прямоугольных заготовок с квадратным сечением, полученных на станке модели АЗР-100,

чашечным алмазным инструментом по ГОСТ 16172-90, диаметром 100 мм и шириной алмазного кольца 10 мм. Размеры обрабатываемых заготовок: сторона диагонали квадрата заготовки до 140 мм, длина заготовки до 200 мм. Диаметр округленной заготовки от 15 до 100 мм. Точность обработанного диаметра $\pm 0,03$ мм.

Оптическая заготовка при обработке располагается вертикально. Смещение оси обрабатываемой заготовки относительно горизонтальной оси инструмента обеспечивает рабочий контакт алмазоносного слоя с обрабатываемым стеклом порядка 38-40 мм. Это значительно больше, чем при круглении алмазным кругом прямого профиля на серийных металлообрабатывающих шлифовочных станках. За счёт этого достигается высокая производительность обработки. При обработке чашечным инструментом износ его рабочей части происходит равномерно по всей поверхности, поэтому не требуется его правка. При обработке кругами прямого профиля изнашивается передняя рабочая кромка, поэтому требуется периодическая правка инструмента, в процессе которой происходит значительный бесполезный расход алмазного порошка.

Круглошлифовальный станок модели КШС-35 предназначен для кругления прямоугольных заготовок с квадратным сечением чашечным алмазным инструментом по ГОСТ 16172-90 диаметром 100 мм и шириной алмазного кольца 10 мм. Размеры обрабатываемых заготовок: сторона диагонали квадрата до 48 мм, длина заготовки до 200 мм, точность обработанного диаметра $\pm 0,05$ мм.

В отличие от станка модели АЗК-100 в рассматриваемом станке заготовка при обработке устанавливается горизонтально. Высокая производительность при круглении достигается за счёт смещения по вертикали горизонтальной оси шпинделя инструмента, расположенного перпендикулярно оси обрабатываемой заготовки на 40 мм, а также за счёт угла наклона режущей кромки инструмента к оси обрабатываемой заготовки на величину от 0,5 до 5°. Смещение оси шпинделя позволяет получить контакт режущей кромки инструмента с заготовкой порядка 38-39 мм, а угол наклона обеспечивает равномерную нагрузку при обработке на все зерна, расположенные по режущей кромки инструмента. Такая конструкция позволяет за один проход снимать припуск с заготовки в 5-6 раз больше, чем при обработке алмазным кругом прямого профиля на металлорежущих шлифовальных станках.

Штрипсовый станок модели АЗШ-100 предназначен для распиливания брусков, пластин, цилиндрических заготовок из дорогостоящих оптических материалов набором ленточного инструмента (штрипсами) с подачей в зону резания абразивной суспензии. Абразивная суспензия приготавливается из индустриального масла и микропорошка карбида кремния зернистостью 28/20 мкм. Содержание микропорошка в абразивной суспензии 20-30 %. Распиливание заготовки осуществляется одновременно 25 штрипсами. Средняя скорость резания составляет 2,5-3 мм/час. Толщина штрипсовой ленты от 0,1 до 0,3 мм.

АЛМАЗНЫЕ МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ РЕЗЦЫ ДЛЯ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛООПТИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

ДЕВИН Л.Н., РЫЧЕВ С.В.

Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины, г. Киев, Украина

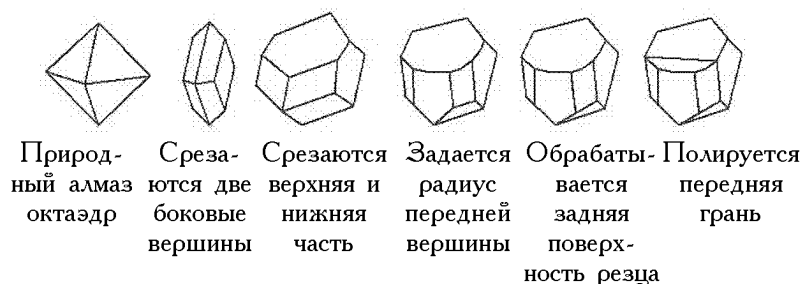
E-mail: ldevin@ism.kiev.ua

Современные металлооптические элементы характеризуются высокими требованиями по точности и качеству обработки. Поверхностный слой после алмазного микроточения имеет высокое качество и, в отличие от полированного, лучшее металлографическое состояние, а оптические поверхности - большой порог разрушения под действием лазерного излучения [1].

Рабочим инструментом при микроточении является резец, оснащенный монокристаллом природного алмаза массой 0.8 ... 2 карата. К резцам данного типа предъявляются повышенные требования по шероховатости граней резца и остроты лезвия (величина округления режущей кромки ρ не должна превышать 30...120 ангстрем). Другим важным фактором, который обеспечивает высокую стойкость резца, является кристаллографическая ориентация алмаза. На практике кристалл ориентируют так, чтобы "твердое" направление совпадало с направлением схода стружки, за которое принимают ось, перпендикулярную обрабатываемой поверхности. Это позволяет увеличить стойкость резца в 3 -5 раз [2].

В Украине разработка технологий по изготовлению резцов из природных алмазов для АМТ проводилась в Институте сверхтвердых материалов НАН Украины. Для изготовления инструмента используют природные кристаллы алмазов разных форм. Одна из применяемых форм - октаэдр, который представляет собой кристалл, с 6 вершинами, через которые проходят 3 кристаллографические оси {111}, он имеет 8 граней и 12 ребер [3]. Основные технологические операции, применяемые для обработки алмазного резца из октаэдра, приведены на рис. 1:

Алмазный резец из октаэдра



Готовый алмазный резец

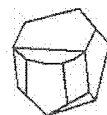


Рисунок 1.

Технологические операции изготовления алмазного
резца из октаэдрического кристалла

Специальные конструкции резцов с механическим креплением алмаза предназначены для обработки крупногабаритных поверхностей. Они отличаются использованием алмазов повышенного качества (из аттестованных кристаллов) [1]. Преимуществами механического метода закрепления кристалла является то, что после доводки режущей кромки, кристалл алмаза не подвержен нагреву, а также легкость удаления изношенной части для переточки. Конструкции алмазных резцов, в которых кристалл в корпусе крепится методом пайки, позволяют использовать более мелкие кристаллы. Однако недостатком такой конструкции является то, что закрытый паз не позволяет проводить доводку кристалла без перепайки [4].

Процесс алмазного микрооточения происходит путем снятия стружки с обрабатываемого материала толщиной 0.1 ... 4 мкм. В результате обработки можно получить зеркальную поверхность. При алмажном микрооточении плоской поверхности с шагом 100...160 мм отклонение от плоскостности составляет ≈ 0.1 мкм [5].

Таким образом, процесс алмазного микрооточения целесообразно выполнять режущим инструментом, оснащенным монокристаллом алмаза. Режущий инструмент играет важную роль в формировании высокого качества и формы металлооптической поверхности. Для увеличения стойкости резца важно выполнить правильную ориентацию кристалла. Также важно обеспечить минимально возможное значение радиуса закругления ρ и выбрать наиболее надежную технологию закрепления алмаза в корпусе резца.

Список литературы:

1. Модель процесса алмазного точения и технологические рекомендации по обработке поверхностей металлооптических элементов №07-08-92103 - С 2 - 5.
2. Дятлов Ю.А., Добровольский Г.Г. - Влияние режимов резания на стойкость алмазных резцов при микрооточении - Сверхтвердые материалы 1993, №3.
3. Гомеляко Е.В., Добровольский Г.Г., Саксеев П.Ю., Шевченко Д.А. - Математическая модель процесса алмазного микрооточения для оптимизации технологических параметров обработки. - Сб.научных трудов, ИСМ, Київ. - 2006, - "Сучасні процеси механічної обробки інструментами з НТМ та якість поверхні деталей машин" - С 45 - 56.
4. Несмелов А.Ф. Алмазные инструменты в промышленности - М.: "Машиностроение" 1964 - С 277.
5. Добровольский Г.Г. Введение в механику алмазного микрооточения. - К.: Сучасне машинобудування. - Журнал асоціації технологів - машинобудівників України - 3-4 (5-6)/2000. - С 37- 54.

КОНСТРУКЦИИ ФРЕЗ ОСНАЩЕННЫХ СТМ ДЛЯ ОБРАБОТКИ МЕЛКОРАЗМЕРНЫХ ДЕТАЛЕЙ

ГРЕЧИШНИКОВ В.А., РОМАНОВ В.Б.

Московский государственный технологический университет «Станкин», г. Москва

E-mail: bogdan_senik@mail.ru

В докладе представлены конструкции концевых фрез, оснащенных универсальными режущими элементами из СТМ для обработки пазов, уступов, расточки отверстий, для обработки наружных и внутренних мелкоразмерных резьб. Дисковые фрезы, оснащенные режущими элементами из СТМ, представлены конструкциями фрез с различными формами режущих пластин для токарной, фрезерной обработки и для нарезки резьбы. Дисковые фрезы, составные с напайными пластинами, рекомендуется применять для обработки на станках с уменьшенным числом оборотов по сравнению со станками, на которых применяются концевые фрезы, поскольку их диаметр в 5-10 раз больше диаметра концевых фрез.

Дисковые фрезы имеют от 2 до 4 зубьев и на станках с высокоскоростным шпинделем могут применяться для обработки деталей взамен операции шлифования. Дисковая фреза может иметь режущую кромку соответствующую форме однокромочного шлифовального круга, которые применяются для токарной обработки закаленных деталей сложного профиля. Фреза подобного типа может заменить дорогостоящие шлифовальные однокромочные круги и использоваться для фрезоточения имея более высокую стоимость и отсутствие абразивной пыли.

Фрезы концевые с напайными пластинками применяются на станках, имеющих обороты шпинделя свыше 20000 об/мин, предназначены для обработки деталей типа пресформ, штампов и других деталей сложной конфигурации на станке с ЧПУ концевой фрезой с СТМ - элементами напаянными на корпусе.

Фрезы концевые с механическим креплением многогранных пластин рекомендуется применять для обработки деталей сложной конфигурации с длительным циклом обработки, с учетом увеличения их суммарной стоимости.

Перспективными конструкциями являются составные фрезы с напайными режущими элементами из СТМ. В зависимости от выбранной формы режущего элемента фрезы могут выполнять операции резьбофрезерования, фрезоточения, обработку прямоугольных уступов. Операция фрезоточения заменяет операцию обработки на токарных станках деталей из материалов повышенной прочности однокромочными шлифовальными кругами.

Расположение режущего элемента влияет и на технологию, и на трудоемкость изготовления самой концевой фрезы. Например, если концевая фреза имеет две режущие кромки - заточка производится по этим двум режущим кромкам, а у концевой фрезы другого исполнения может быть одна режущая кромка, расположенная по торцу и трудоемкость заточки в два раза меньше. Следовательно, если данными фрезами выполняется одна и та же операция, предпочтение следует отдать фрезе с одной режущей кромкой.

Концевые фрезы с расположением радиусной кромки на периферии рекомендуется применять для расфрезерования отверстий, что позволяет свести к минимуму шероховатость обработанной поверхности.

Концевые составные фрезы с двумя режущими элементами имеют повышенные стойкость и производительность, и при поломке одной пластины могут работать как однозубые.

Торцовые фрезы с напайными пластинами СТМ рекомендуется применять для обработки плоских поверхностей, уступов и скосов. В отличие от других вариантов торцовых фрез, данные фрезы обладают повышенной жесткостью, из-за отсутствия крепежных элементов и могут быть рекомендованы для обработки на высоких скоростях резания для замены операции шлифования. Изменяя положение режущей пластины из СТМ при напайке, возможно изготовление фрез с главным углом в плане $\varphi = 90^\circ$; $\varphi = 60^\circ$; $\varphi = 45^\circ$.

ТЕХНОЛОГИЯ ЗАТОЧКИ И ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА ПРЕЦИЗИОННЫХ РЕЗЦОВ ИЗ СТМ

ЗАХАРЕВИЧ Е.М., ЛАПШИН В.В., ГРУБЫЙ С.В.

ОАО ВНИИИНСТРУМЕНТ

МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва

E-mail: Zaharev@gmail.com, Vasylap@mail.ru, Grusv@yandex.ru

Во ВНИИИНСТРУМЕНТ сформировано научно-производственное направление по разработке сверхточных станков и технологии обработки прецизионных деталей машин и приборов различного назначения. В рамках этого направления реализуется ряд крупных самостоятельных проектов, в частности по разработке гаммы прецизионного малоразмерного высокопроизводительного режущего инструмента из синтетических сверхтвёрдых материалов на основе наноструктурированного кубического нитрида бора. Прецизионные резцы из нитрида бора предназначены для обработки деталей из закалённой стали (топливно-регулирующей аппаратуры, гидравлических моторов и насосов, аэростатических подшипников и др.).

Проводятся технологические исследования, направленные на повышение качества заточки прецизионных резцов из природного алмаза, которые предназначены для сверхточной обработки различных деталей, имеющих зеркальные поверхности из цветных и драгоценных металлов, пластмасс, кристаллов кремния и германия, и других особо чистых материалов, не содержащих железа, никеля, и твёрдых включений.

Учитывая чрезвычайно высокие требования по точности и качеству поверхностей, обработанных на сверхточных станках, сформулированы требования к качеству режущих поверхностей лезвия для прецизионных резцов из СТМ: шероховатость передней, задней поверхностей и режущей кромки резца - не более $Rz\ 0,05\ \mu\text{m}$; радиус округления кромки должен составлять сотые доли микрометра; радиус закругления резца в плане должен определяться с высокой точностью для возможности коррекции формы детали управляющей программой.

В качестве затачиваемых резцов использованы резцы из природного алмаза и из плотноупакованного нитрида бора (Dense Boron Nitride - DBN). Во "ВНИИИНСТРУМЕНТ", совместно с МГТУ им. Баумана, проведены технологические исследования, направленные на отработку технологии заточки радиуса резца в плане и задней поверхности (для резцов из DBN), и заточку передней поверхности (для резцов из природного алмаза и DBN) на сверхточном заточном станке. Станок имеет следующие конструктивные особенности:

- аэростатические опоры в основных формообразующих узлах - каретке продольной и поперечной подачи, инструментальном шпинделе, поворотном столе;
- встроенные синхронные безвибрационные моторы в шпиндельном узле и поворотном столе;
- использован пневмогидравлический усилитель в качестве привода каретки;
- станина установлена на виброизолирующих опорах, которые обеспечивают её изоляцию от внешних колебаний на частотах свыше $5\ \text{Гц}$.

Разработан технологический процесс заточки радиуса прецизионного резца в плане, который состоит из следующих основных операций:

1. Совмещение центра радиуса предварительно заточенного резца с осью вращения поворотного стола через совмещение с перекрестием микроскопа.

2. Разворот шпинделя, с установленным шлифовальным кругом, на заданный задний угол резца и его фиксация в этом положении. Для заточки использован алмазный шлифовальный круг с размером зерна 14..20 мкм.

3. Обработка задней поверхности резца (закатка) с одновременным продольным движением подачи вдоль шлифовального круга.

Режимы обработки: частота вращения круга - 2000 об/мин; частота вращения поворотного стола - 2 об/мин. На этой операции снимается припуск 0,03..0,04 мм.

4. Доводка. На этой операции вместо алмазного круга установлен чугунный диск, который шаржируют алмазной пастой размером 2..3 мкм.

Разработанный технологический процесс заточки передней поверхности прецизионного резца состоит из следующих операций:

1. Установка резца в державку под требуемым передним углом при помощи угломера.

2. Заточка передней поверхности.

При заточке резец совершает продольные движения вдоль поверхности шлифовального круга. Режимы обработки: частота вращения круга - 2000 об/мин; скорость перемещения резца вдоль круга - 60 мм/мин.

3. Доводка передней поверхности чугунным диском, шаржированным алмазной пастой с размером зерна 2..3 мкм.

Контроль качества заточенных поверхностей осуществлен с помощью конфокального микроскопа μ Surf NanoFocus AG. Микроскоп имеет разрешение 1..2 нм вдоль оптической оси объектива. Использован принцип конфокальной фильтрации отражённых от образца лучей. Результаты сканирования поверхности передаются в компьютер, который формирует изображение и выводит его на экран монитора.

Шероховатость заточенных поверхностей соответствует 14 классу и результаты замеров составляют:

1. Алмазный резец, заточенный по передней поверхности: Rz 0,043 мкм, Ra 0,006 мкм.

2. Резец из DBN: передняя поверхность - Ra 0,003 мкм, Rz 0,022 мкм; задняя поверхность - Ra 0,08 мкм, Rz 0,048 мкм.

Заточенные резцы из СТМ использованы для обработки на сверхточных станках прецизионных поверхностей на деталях и образцах различных типо-размеров и назначения.

Секция 1

Алмазные инструменты и оборудование для прецизионной обработки оптических деталей

ПРЕЦИЗИОННАЯ АЛМАЗНАЯ ОБРАБОТКА СТРУКТУР ОБЛЕГЧЕННЫХ АСТРОНОМИЧЕСКИХ И КОСМИЧЕСКИХ ЗЕРКАЛ, КОРПУСОВ ЛАЗЕРНЫХ ГИРОСКОПОВ

ПАТРИКЕЕВ В.Е., ВЕСЕЛОВ А.А., АБДУЛКАДЫРОВ М.А.

ОАО ЛЗОС, г. Лыткарино, Московская область

E-mail: lastro@lzos.ru

В настоящее время широкое распространение получают оптические системы высокого разрешения и высокой точности.

Повышающиеся требования к этим системам обусловлены возросшими требованиями к аппаратам наземного, воздушного и космического базирования, которые предназначены для решения специальных задач, исследования космического пространства, обнаружения быстро перемещающихся объектов.

Практическая реализация этих систем связана с созданием крупногабаритных облегченных зеркальных элементов, изготовление которых осуществляется на основе процесса прецизионной алмазной обработки структур облегчения (изготовление каналов, отверстий, пазов, ячеек различной конфигурации, крепежных и др. элементов).

Не менее важной задачей, требующей прецизионной алмазной обработки, является изготовление путем фрезерования корпусов лазерных гироскопов, имеющих большое количество каналов, пазов и отверстий, взаимосвязанных между собой с точностью до нескольких микрон.

Материалом, как для крупногабаритных облегченных зеркальных элементов, так и для корпусов лазерных гироскопов является стеклокерамический материал «Астроситалл», позволяющий сохранить свойства изготовленных оптических элементов при значительных перепадах температур.

Решение этих задач возможно при наличии соответствующего оборудования и инструмента, позволяющего реализовать процесс прецизионной алмазной обработки.

В ОАО «ЛЗОС» для данных процессов используются станки как отечественного, так и импортного производства, позволяющие выполнять операции по сверлению и фрезерованию фигурных элементов в 3, 4 и 5 координатных осях с точностями соответствующими 7 - 8 качеству, что составляет порядка 20 - 30 мкм.

Процесс обработки включает сверление сквозных и глухих отверстий, зачистку дна изготовленных ячеек и глухих отверстий, черновую и чистовую обработку стенок карманов и ячеек, а так же изготовление пазов и специальных карманов типа "бутылка", "баянет", фасок на кромках и углах, включая фаски, не лежащие в одной плоскости.

В последнее время в ОАО «ЛЗОС» выполняется обработка сложных облегченных зеркал с круглой и некруглой формой внешнего периметра, со сферическими, осевыми и внеосевыми асферическими поверхностями.

Варианты конструкции структур облегчения зеркал выбираются исходя из моделирования зеркал и технологических возможностей изготовления.

Примерами возможностей изготовления разнообразных структур могут быть изготовленные зеркала с треугольной, шестиугольной, трапецевидной формой ячеек облегчения, с "бутылочной" и "баянетной" конфигурацией отверстий системы крепления.

Отдельной задачей, выполненной в ОАО «ЛЗОС», явилось изготовление на 5-ти координатном оборудовании корпуса лазерного гироскопа. Основу корпуса составляет замкнутый канальный контур, выполненный с высокой точностью по отношению к внешним граням, допустимые отклонения не превышают 20 мкм, а по отдельным размерам 5 - 10 мкм.

Значительной проблемой при технической реализации вышеуказанных технологий является отсутствие промышленного изготовления алмазного инструмента пригодного для прецизионной алмазной обработки.

При изготовлении структур облегчения крупногабаритных облегченных зеркальных элементов используется преимущественно алмазный инструмент, полученный методом прессования, сохраняющий свою работоспособность и целостность продолжительное время и позволяющий получать размеры с точностью по 7 - 8 квалитету.

При изготовлении корпуса лазерного гироскопа, основу которого составляет сверление отверстий малого диаметра ($\sim 1,5 - 3$ мм), используется преимущественно алмазный инструмент на гальванической связке, недостатком которого является быстрый и зачастую непредсказуемый износ способный свести на нет всю точность используемого оборудования.

Все виды облегчения изготовлены практически.

Корпус изготавливается практически за одну установку, вторая установка требуется для изготовления ряда технических отверстий со стороны шестой грани (рис. 1).

Изготовление данных зеркал стало возможным благодаря созданию целого комплекса контрольного и технологического оборудования, позволяющего получать оптические детали требуемой в настоящее время сложности и точности (рис. 2).



Рисунок 1. Корпус лазерного гироскопа

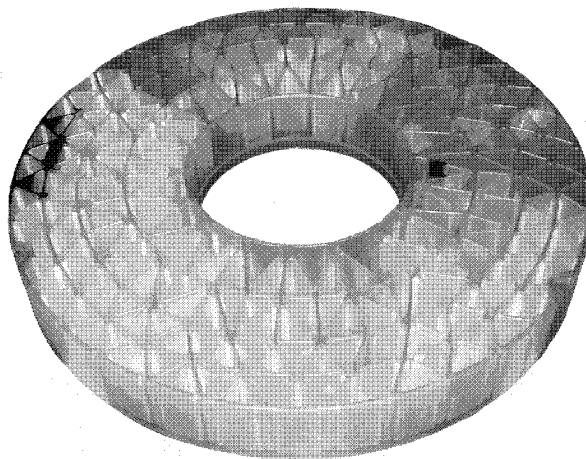


Рисунок 2. Облегченное зеркало диаметром 1230 мм. Облегчение 70%

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ОПТИЧЕСКИХ СТЕКОЛ, НАРУШЕННЫХ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКОЙ

МАСЛОВ В.П.

Институт физики полупроводников им. В.Е. Лашкарёва НАН Украины, г. Киев, Украина

E-mail: vladmaslov@mail.ru

При исследовании состояния поверхности оптических деталей методами эллипсометрии экспериментально установлено, что даже при тщательном полировании для каждой марки стекла существует минимальная остаточная эллиптичность $tg\rho_{min}$ нарушенного поверхностного слоя. Эта величина пропорциональна (рис. 1) как механическим свойствам стекол (микротвердость H , ГПа; оптический коэффициент напряжения B , Па⁻¹), так и их теплофизическим (температуропроводность a , м²/с; температура спекания T_{cn} , °С; температура отжига $T_{отж}$, °С). При этом, чем выше значение этих величин, тем меньше значение $tg\rho_{min}$.

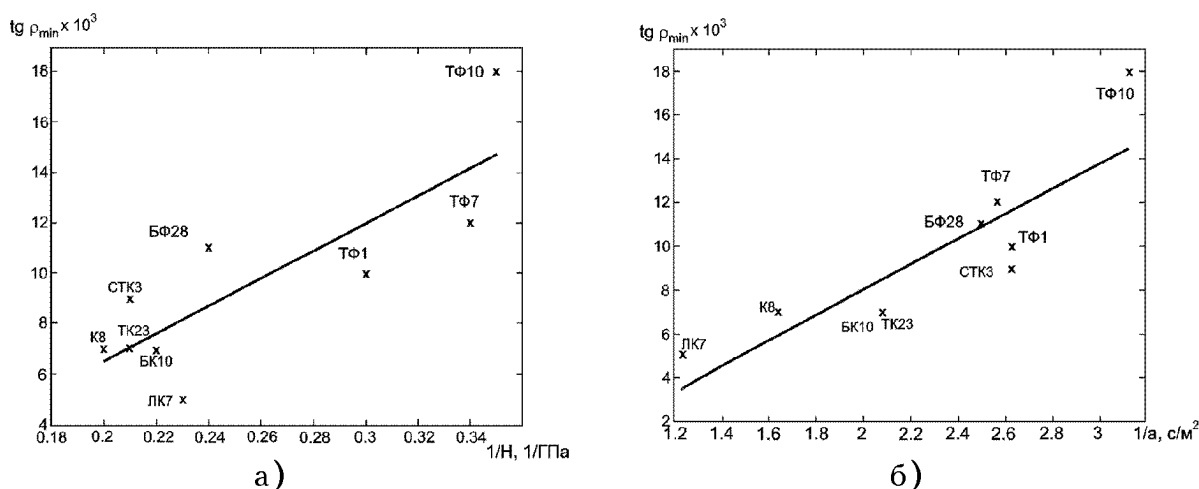


Рисунок 1. Зависимость минимальной эллиптичности полированной поверхности оптических стекол от обратной величины их микротвердости (а) и температуропроводности (б)

Можно предположить, что нарушенный механическим полированием слой является аналогом зоны нарушений и деформаций атомных связей, которые возникают у вершины хрупкой поверхностной трещины.

Величина $tg\rho_{min}$ может характеризовать величину радиуса r деформированной зоны вершины хрупкой поверхностной трещины, т.е.

$$r = k tg\rho_{min} = k 1/a \quad (1)$$

С учетом (1) и согласно работам Гриффитса и Инглиса прочность хрупких материалов можно описать формулой

$$\sigma = A \cdot E \cdot a^{1/2}, \quad (2)$$

где A - коэффициент пропорциональности, а E - модуль упругости.

Сопоставление прочности оптических стекол со значением показателя $E \cdot a^{1/2}$ подтвердило логичность предложенных модельных представлений.

СПОСОБЫ УПРАВЛЕНИЯ ФОРМООБРАЗОВАНИЕМ ПРЕЦИЗИОННЫХ СФЕРИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ ИЗ САПФИРА

СОХАНЬ С.В.

Институт сверхтвёрдых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины, г. Киев, Украина

E-mail: sokhan@ism.kiev.ua

Детали из сапфира или керамики, имеющие прецизионную сферическую поверхность с погрешностью формы менее 1 мкм, изготавливают финишной алмазной обработкой по методу свободного притира.

Процесс финишной алмазной обработки специальных изделий из сапфира или керамики, у которого высота существенно превышает его радиус, основан на взаимной притирке поверхностей при одновременном вращении ведущего звена (детали) и упруго прижимаемого к нему ведомого звена (инструмента), ось которого проходит через ось вращения детали и наклонена к оси образуемой сферы под углом. Шарнирное крепление кольцевого инструмента обеспечивает ему свободную самоустановку на сферической поверхности детали, а по мере съема припуска с детали и износа инструмента происходит согласование профилей. Задача достижения высокой точности решается здесь путем управления процессом обработки. В этих условиях стабилизации процесса формообразования способствует управление скоростными или силовыми параметрами, которое отличается от традиционных способов управления.

Одним из методов исследования процессов финишной алмазной обработки изделий в случае, если выполнение экспериментов сопряжено со значительными техническими трудностями, является их формализация и исследования полученных математических моделей. Суть формализации заключается в постановке и решении прикладной контактной задачи, модифицированной дополнительным учетом явлений трения и изнашивания.

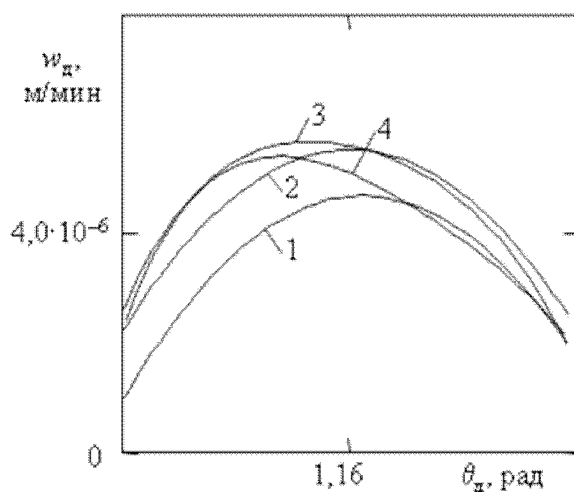


Рисунок 1.

Зависимость скорости линейного съема припуска w_d от угла профиля θ_d при передаточном отношении $\nu = 0,35$ (1), $0,575$ (2), $1,00$ (3), $1,925$ (4)

ния, при соприкосновении инструмента и детали из сапфира, модуль упругости которого много выше модуля упругости инструмента, по сферической поверхности, геометрия (площадь и радиус кривизны) которой изменяется. Численное решение этой контактной задачи получено методом последовательных приближений, а о направлении действия возникающих касательных контактных нагрузок судили по соотношению составляющих скорости резания, аналитические выражения которых были получены [Сохань, 2005].

Из зависимостей скорости линейного съема припуска от угловой координаты профиля детали, показанных на рис. 1, следует, что с увеличением передаточного отношения ν в диапазоне 0,5-1,0 распределение скорости съема припуска по профилю детали постепенно изменяется от такого, которое обеспечивает преимущественный съем припуска на периферии детали, к такому, которое обеспечивает преимущественный съем припуска на ее вершине [Сохань, 2007].

Более простым, но не менее эффективным, способом изменения характера распределения съема припуска по профилю детали является направленное изменение характера распределенной нагрузки в зоне притирки путем изменения направления вектора силы прижима с такого, когда он направлен на геометрический центр зоны притирки к такому, когда он направлен под углом к исходному в направлении снижения скорости съема припуска по профилю детали (рис. 2) [Сохань, 2007]. При этом не требуется увеличения силы прижима, а лишь используется возможность перераспределения контактного давления в зоне притирки с его увеличением в указанном направлении под действием момента силы прижима, возникающего в результате изменения направления вектора последней, приложенного к шарнирному соединению инструмента. Как видно из рис. 3, дополнительное силовое нагружение зоны притирки специально создаваемым моментом силы прижима приводит к смене характера зависимости скорости съема припуска от угла профиля детали с возрастающего на ниспадающий.

Следовательно, направленным изменением скоростных или силовых параметров процесса доводки, а именно увеличением передаточного отношения вращения детали к инструменту или изменением характера распределенной нагрузки в зоне притирки, обеспечиваются условия выравнивание скорости съема припуска по профилю детали, и стабилизация процесса доводки.

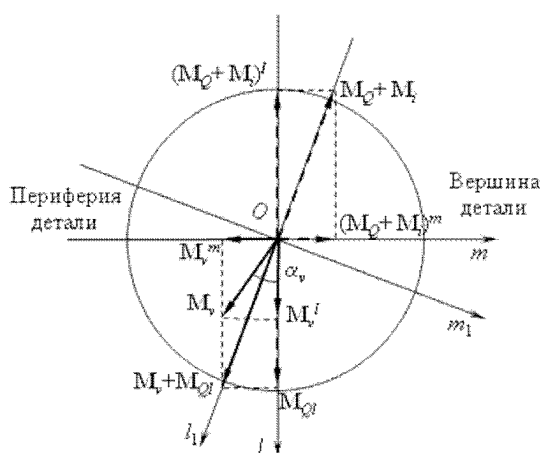


Рисунок 2.

Схема действия составляющих момента M_v сил сцепления инструмента с изделием и дополнительного момента M_0 силы прижима

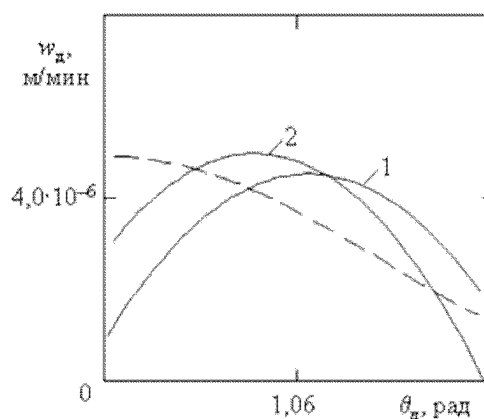


Рисунок 3.

Зависимость w_d от угла профиля θ_d без учета (1), и с учетом действия создаваемого момента силы прижима (2): по данным эксперимента (---), расчетная (—)

ФОРМООБРАЗОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ МЕТОДОМ АЛМАЗНОГО МИКРОТОЧЕНИЯ НА МАТЕРИАЛАХ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В ИК ДИАПАЗОНЕ СПЕКТРА

АРУТЮНЯН В.В., ШЕВЦОВ С.Е.

ОАО «НИИ ОЭП», г. Сосновый Бор, Ленинградская область

E-mail: shevtsov@niiki.ru

С развитием тепловизионной и космической оптики возникла необходимость использования нетрадиционных для оптики материалов, что в свою очередь потребовало разработки новых технологий и технологического оборудования. Одной из таких технологий является технология алмазного микроточения, для реализации которой используется прецизионное, специализированное технологическое оборудование, где режущим инструментом является природный алмаз. Наиболее успешно алмазное микроточение применяется для изготовления оптических элементов, работающих в ИК диапазоне спектра. Данная технология позволяет изготавливать оптические поверхности сложной формы и высокого качества на зеркалах и линзах из таких материалов как металлы - например, алюминий и алюминиевые сплавы, медь и медные сплавы, золото; монокристаллы полупроводников - например, германий, кремний; кристаллы фтористого кальция, селенида и сульфида цинка и др.

В технологии алмазного микроточения оптических поверхностей, одним из главных условий получения поверхности требуемого качества является создание в зоне резания пластичных условий микроточения при минимальных усилиях резания. В докладе показано, что в сочетании со скоростью вращения шпинделя, скоростью подачи и глубиной резания, это условие обеспечивается главным передним углом режущего инструмента.

В докладе представлены исследования, анализ, режимы обработки и результаты формообразования оптических поверхностей методом алмазного микроточения на пластичных материалах, таких как бескислородная медь Моб, алюминиевые сплавы АМГ-6, 1201, и хрупких монокристаллических материалах - германий и кремний. Анализ факторов, влияющих на качество обрабатываемой поверхности, основывается на изучении зависимости шероховатости поверхности (R_z , мкм) от глубины резания (t , мкм), скорости резания (V_s , м/с), подачи резца (s , мкм/об) и геометрии режущего инструмента. Представлены требования к режущему инструменту и практические результаты износа режущего инструмента в зависимости от пути резания.

Основные выводы по докладу заключаются в том, что при специальных технологических условиях алмазное микроточение позволяет успешно осуществлять формообразование оптических поверхностей на деталях из пластичных и хрупких материалов для ИК диапазона спектра. Технология наиболее эффективна при изготовлении асферических поверхностей.

ОБОРУДОВАНИЕ SHIMADZU ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ

ВЕДУТЕНКО В. В.

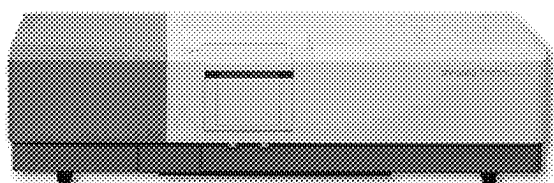
группа компаний "ИнтерАналит"

E-mail: jjp@analyt.ru

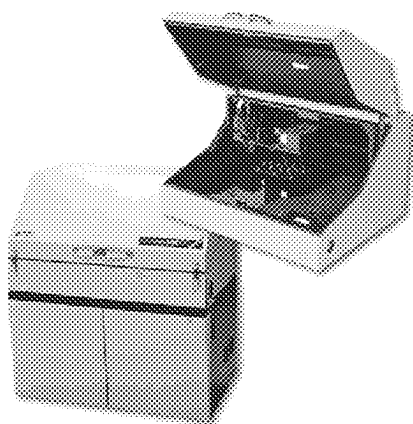
Современный этап в развитии оптического приборостроения характеризуется расширением области применения и возрастающими требованиями к конечной продукции. Изменение технологических процессов с включением новых технологических стадий привело к потребности применения новых методов контроля с использованием современного аналитического оборудования.

В настоящее время современные аналитические системы должны соответствовать следующим очевидным требованиям: они должны обеспечивать низкие пределы обнаружения, высокую селективность, высочайшую чувствительность для широкого круга анализируемых объектов. Всем этим требованиям удовлетворяет аналитическое оборудование производства компании Shimadzu.

Доклад посвящен аналитическим возможностям оборудования, нашедшего наиболее широкое применение в оптическом приборостроении. Подробно освещаются следующие моменты:



Спектрофотометр Shimadzu UV - 3600



*Двухлучевой спектрофотометр Shimadzu
SolidSpec-3700*

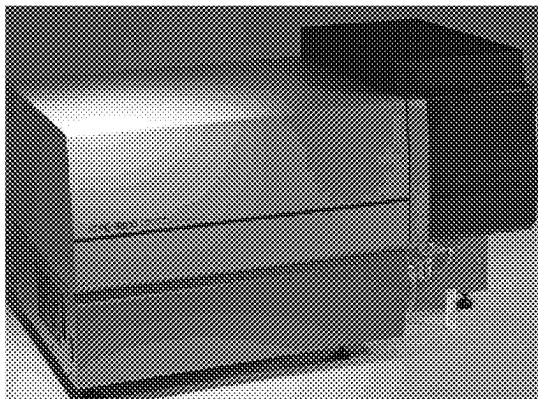
- Использование спектрофотометров высокого разрешения UV3600 и UV3700 SolidSpec для исследования оптических образцов, применение приставок обеспечивающих измерение в разных режимах.

- Аналитические возможности и пределы обнаружения спектрометра с индуктивно связанной плазмой ICPE 9000 для исследования элементного состава. Применение спектрометров с индуктивно связанной плазмой для исследования объектов, применяющихся в оптике.

- Применение рентгеновских дифрактометров XRD-7000/XRD-8000 для исследования кристаллической структуры в массивных образцах и тонких пленках. Их аналитические возможности и применение.

- Универсальные испытательные машины серии AG и AGS. Реализуемые режимы исследования и объекты исследования.

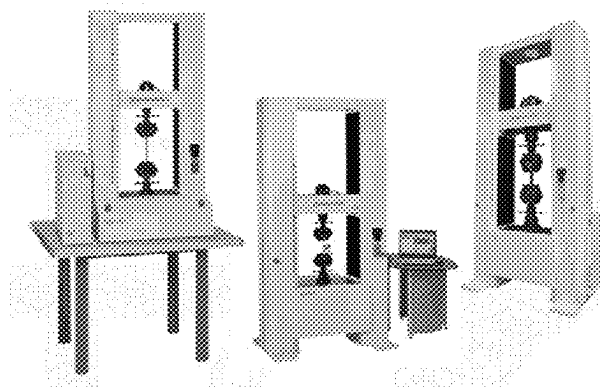
Универсальные испытательные машины Shimadzu AG и AGS Series



*Оптический эмиссионный спектрометр
параллельного действия с индуктивно-
связанной плазмой Shimadzu ICPE-9000*



*Рентгеновский дифрактометр
Shimadzu XRD-7000*



*Универсальные испытательные машины
Shimadzu AG и AGS Series*

ЭФФЕКТИВНЫЙ СВЯЗАННЫЙ АЛМАЗНО-АБРАЗИВНЫЙ ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ОПТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ

АЙЗЕНШТАТ С.Д., КОНДРАТЕНКО В.С., КОБЫШ Н.И., КОБЫШ А.Н.

ОАО «Московский завод «Сапфир»

Московский государственный университет приборостроения и информатики

E-mail: precisetech@mail.ru, saphir@hotmail.ru

В представленной работе описаны новые типы связанного алмазно-абразивного инструмента для оптической обработки широкого класса материалов [1], новый состав СОЖ [2]. Приведены некоторые примеры успешного применения новой технологии и инструмента в России и за рубежом.

Классификация инструмента:

1. Серия РТN (Р - polish; Т - tool; N - размер максимальной фракции используемого абразива)
2. Серия РТN ρ 1 и РТN ρ 2 (ρ - porous; 1 - соотношение пор и твердой массы - 1:1; 2 - соотношение пор и твердой массы 2:1)
3. Серия РСТN (С - compress;)
4. Серия РСТ(СeO₂) (С - compress; СeO₂ - используемый абразив)
5. Серия ВТNА ρ 1 и ВТNА ρ 2 (В - ballast; А - абразив вспомогательный; ρ - porous). Данная серия представляет собой балластный (вспомогательный) абразивный инструмент, не содержащий алмазных порошков, используемый в сочетании с инструментом вышеперечисленных серий. Балластный инструмент способствует самозатачиванию основного инструмента и обеспечивает повышение его режущей способности.

Пример расшифровки конкретного типа инструмента РТ50Р1: пористый шлифовальный инструмент с зернистостью алмазного порошка 50/40 и с соотношением пор и алмазосодержащей массы 50:50%.

Все представленные инструменты имеют различные типы органических связок, адаптированных для конкретного обрабатываемого материала. В алмазосодержащих инструментах используются как монокристаллические искусственные и натуральные алмазные порошки с зернистостью от 200/160 до 0,5/0, так и поликристаллические порошки.

Разработанный новый пористый алмазный инструмент на органической связке серии РТN ρ 1 и РТN ρ 2 эффективно работает при низких удельных давлениях порядка 0,005 - 0,05 МПа и при низких скоростях - порядка 1 - 3 м/сек.

На рис. 1 представлена сравнительная зависимость эффективности работы двух типов инструмента: пористого РТ20Р1 и монолитного РТ50. Это стало возможным благодаря резкому снижению удельного давления в зоне резания при обработке пористым инструментом серии РТN ρ 1 и РТN ρ 2, по сравнению с другими типами связанного алмазно-абразивного инструмента.

При этом, шероховатость поверхности кремниевых подложек после обработки инструментом РТ20Р1 составляет $R_a = 0,08$ мкм, а при обработке инструментом РТ50 - $R_a = 0,22$ мкм.

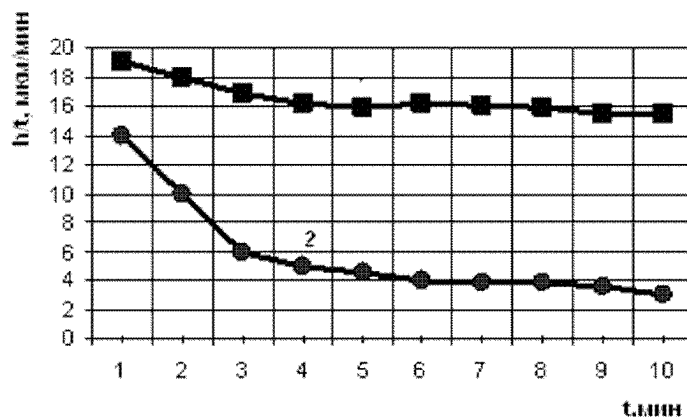


Рисунок 1.
Зависимость съёма материала при шлифовании
инструментом РТ20Р1 (1) и РТ50 (2)

Наиболее эффективно представленный инструмент работает в сочетании со специальной смазочно-охлаждающей жидкостью [2], поставляемой в виде концентрата. При подготовке СОЖ концентрат разбавляется водой в соотношении 1:100 - 1: 500.

Разработанные новые типы инструментов эффективно используются при обработке следующих материалов: любые типы стекла, включая кварцевое стекло; кварц монокристаллический; любые типы керамики; сапфир; карбид кремния; различные полупроводниковые материалы, в т.ч. кремний и арсенид галлия; различные металлы. Перечисленные материалы не исчерпывают всего перечня.

В частности, инструмент РТ5Р1 позволяет получить на операциях финишного шлифования кремниевой подложки шероховатость поверхности $R_a \approx 0,005 - 0,007$ мкм и глубину нарушенного слоя менее 1 мкм. Это позволяет резко сократить время последующего полирования, что минимизирует отклонение плоскостности от заданной формы поверхности.

В работе приведены рекомендации по использованию различных типов инструмента для обработки таких материалов, как стекло, сапфир, кремний, арсенид галлия, монокристаллический кварц, корундовая керамика, высокоуглеродистые стали У8 и Ст.45, нержавеющая сталь, алюминий и его сплавы, медь и ее сплавы на операциях грубого, получистового и финишного шлифования, а также полирования.

Список литературы:

1. Кондратенко В.С. Алмазная обработка материалов. Монография. М.: "Машиностроение". 2011. 191 с.
2. Кондратенко В.С., Кобыш Н.И. Смазочно-охлаждающая жидкость для механической обработки стекла и других материалов//Патент РФ № по заявке № 2011150867 от 14.12.2011. Положит. решение от 22.10.2012.

МАГНИТОРЕОЛОГИЧЕСКАЯ ДОВОДКА ДЕТАЛЕЙ ИЗ КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ОПТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

ЯКОВЛЕВ О.Б., КРУЧИНИН Д.Ю., ЛОМАКОВА М.А.

ОАО «ПО «УОМЗ» им. Э.С. Яламова», г. Екатеринбург

E-mail: optik@uomz.com, klip@mail.ru, mariaalexandrovn@mail.ru

В последние годы перед оптическим производством была поставлена цель - разработать технологию высокоточной доводки оптических деталей, позволяющей получать поверхность с шероховатостью не превышающей 10Å. Наиболее критичной является возможность использования составов магнитореологических жидкостей (МРЖ) с абразивными частицами из синтетического алмаза для полировки оптических материалов, работающих в УФ-области спектра: фтористого кальция ФК-У, фтористого лития ФЛ-У, фтористого бария ФБ-У.

Возможность обработки деталей из стекла с помощью МРЖ с абразивными частицами предсказана в середине прошлого века. Реальная реализация процесса доводки с использованием магнитореологических суспензий в режиме притира была проведена в 1980 году. В 2000 году компанией «QED-Technologies» была представлена технология доводки оптических деталей различной формы и разработаны составы магнитореологических жидкостей на основе карбонильного железа. К недостатками магнитореологической жидкости «QED-Technologies» можно отнести довольно малую скорость съема материала, малый срок службы жидкости и высокую стоимость.

Использование в составе магнитореологической жидкости в качестве магнитных частиц аморфного металлического сплава РМ - 461 позволяет улучшить скорость съема материала и существенно удешевить полировальную суспензию. При разработке состава МРЖ особое внимание было уделено следующим проблемам:

1. Агрегативная и седиментационная устойчивость составов МРЖ при работе в магнитореологическом модуле;
2. Скорость съема материала при полировке оптических деталей из фтористого лития, фтористого кальция, фтористого бария с применением составов на основе аморфного металлического сплава;
3. Коррозионная устойчивость магнитных частиц.

Комплексное решение всех вопросов позволило выявить механические аспекты полирования различных оптических материалов и доработать составы магнитореологических жидкостей, которые позволяют формировать поверхность с величиной неровности в 2-4 атомных слоя.

ФОРМООБРАЗОВАНИЕ АСФЕРИЧЕСКОЙ МЕТАЛЛООПТИКИ С ВЫСОКОЙ ЛУЧЕВОЙ СТОЙКОСТЬЮ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АЛМАЗНОГО МИКРОТОЧЕНИЯ

АГАЧЕВ А.Р., ГОРШКОВ В.А., ЛАРИОНОВ Н.П., ЛУКИН А.В.,

МЕЛЬНИКОВ А.Н., УРАСКИН А.М.

ОАО «НПО «Государственный институт прикладной оптики», г. Казань, Россия

E-mail: npogipo@tnpko.ru,

В ОАО "НПО ГИПО" имеется опыт изготовления цельнометаллических осевых и внеосевых зеркал [1] из различных материалов: нержавеющей сталь, бескислородная медь, сплавы алюминия, молибден. В ходе выполнения ряда работ, в том числе по контрактам с Новосибирским институтом ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН, РНЦ "Курчатовский институт" и др. в период с 2008 по 2013 гг., изготавливались комплекты металлических оптических деталей, в том числе с цилиндрическими, тороидальными и асферическими поверхностями.

Изготовленные детали предназначались для использования в качестве оптических элементов в лазерных системах, сканирующих устройствах и измерительных комплексах.

В частности, в 2011 году был изготовлен комплект тороидальных металлических зеркал из бескислородной меди с высокой лучевой стойкостью для мощного инфракрасного лазера на свободных электронах (НИЯФ СО РАН).

Основным технологическим оборудованием является модернизированный отечественный станок алмазного точения МК 6502 (изготовитель - завод "Красный пролетарий"), измерительным оборудованием - лазерно-голографический комплекс, построенный на базе разработанных в "НПО ГИПО" голографических асферометров типа АГ-2 и инфракрасного интерферометра. Интерферометрический контроль основан на использовании осевых синтезированных голограмм в качестве оптических компенсаторов [2].

Отдельным важным видом работ выступает формообразование прецизионного полно-размерного инструмента для обработки асферических деталей из материалов, которые невозможно или затруднительно обрабатывать алмазным микроточением, например, детали из карбида кремния.

В докладе приводятся примеры практического использования разработанных технологий и средств контроля.

Список литературы:

1. Ларионов Н.П., Лукин А.В., Хуснутдинов А.Г. Формообразование внеосевых асферических оптических элементов в едином блоке // Оптический журнал. 2011. Т.78. №4. С. 12 - 15.
2. Агачев А.Р., Ларионов Н.П., Лукин А.В., Миронова Т.А., Нюшкин А.А., Протасевич Д.В., Рафиков Р.А. Синтезированная голограммная оптика // Оптический журнал. 2002. Т.69. №12. С. 23 - 32.

ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ ВОЛНИСТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ АЛМАЗНОМ ШЛИФОВАНИИ ТОНКОСТЕННЫХ СЛОЖНОПРОФИЛЬНЫХ ОБОЛОЧЕК ВРАЩЕНИЯ ИЗ СИТАЛЛОВ

ГУСЕВ В.В., КАЛАФАТОВА Л.П.

Донецкий национальный технический университет, г. Донецк, Украина

ОЛЕЙНИК С.Ю.

Краматорская Государственная машиностроительная академия, г. Краматорск, Украина

E-mail: vladilgusev@mail.ru

Область применения рассматриваемых изделий - элементы аэрокосмической и ракетной техники, что определяет их эксплуатационные характеристики. Основные требования к изделиям - высокоточным тонкостенным сложнопрофильным оболочкам вращения: обеспечение требуемых аэродинамических характеристик; обладание высокими радиотехническими свойствами, в том числе радиопрозрачностью, для достижения которых должны быть выдержаны высокая точность толщины стенки детали по ее длине и требуемый уровень микро- и макро- геометрии наружного профиля; соответствие высоким прочностным и температурным требованиям, выполнение которых предполагает отсутствие дефектного слоя в обработанных поверхностях изделия; определенные физико-механические свойства материала изделия, сочетающих возможность выполнения всех указанных выше требований при относительно небольшой массе изделия. Этими свойствами обладают технические ситаллы.

Из-за несовершенства технологии заготовительных операций обеспечение требуемого качества изделий предполагает многоэтапную механическую обработку, включающую глубинное алмазное шлифование (формообразование изделия, съем основного припуска), чистовое шлифование, а также операции алмазной доводки и притирки с последующим комбинированным упрочнением обработанной поверхности, в результате которого устраняется дефектный слой, оставшийся после механической обработки. Качество поверхности (макрогеометрия, волнистость, шероховатость), дефектность приповерхностного слоя после шлифования определяют трудоемкость финишных этапов обработки и комбинированного упрочнения. В данной работе рассматривается образование волнистости поверхности ситалловых оболочек после алмазного шлифования.

Установлено, что основными причинами появления волнистости при шлифовании тонкостенных оболочек являются вынужденные и параметрические колебания в технологической системе (ТС). Схема образования волнистости показана на рисунке. При этом основные источники вибраций связаны с наличием биения ϵ и некруглости r алмазного шлифовального круга, а также с низкой и переменной жесткостью подсистемы "приспособление-заготовка".

Анализ профилограмм и фотографий поверхности изделия после алмазного шлифования позволил заключить, что волнистость в продольном направлении вызвана вибрациями обрабатываемой заготовки - тонкостенной оболочки вращения, имеющими характер самовозбуждающихся или параметрических колебаний.

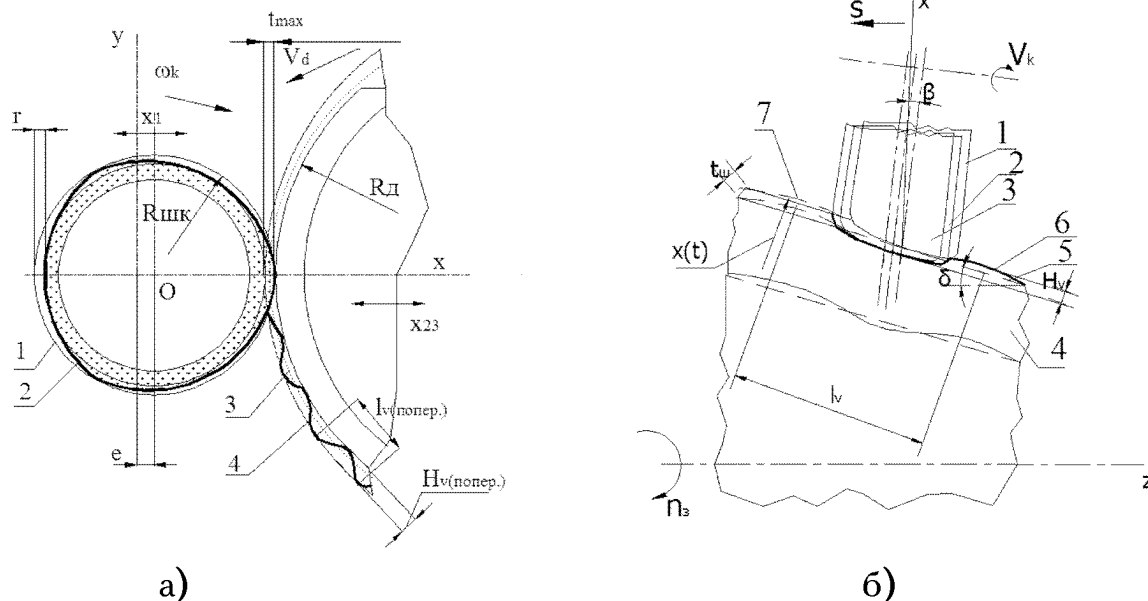


Рисунок 1.

Схема образования волнистости:

а) в окружном направлении (1, 2 - теоретический и реальный контуры круга, соответственно; 3, 4 - контуры зоны контакта круга и заготовки при отсутствии и с учетом вибраций, соответственно); б) в продольном направлении (1, 2, 3 - положения шлифовального круга при его перемещении со скоростью подачи s ; 4 - стенка оболочки толщиной h ; 5, 6 - теоретический и реальный контуры обработанной поверхности; 7 - обрабатываемая поверхность с учетом волнистости, полученной на предыдущем проходе)

Используя положения теории динамики тонкостенных оболочек, было установлено, что под воздействием на вращающуюся оболочку сосредоточенной подвижной нагрузки возникают параметрические колебания её стенки, по форме сходные с вынужденными изгибными колебаниями, с амплитудой нагрузки, соответствующей величине силы резания, и с частотой колебаний, зависящей от скорости движения нагрузки, связанной с угловой скоростью вращения заготовки n_z при шлифовании.

Разработанная динамическая модель, учитывающая параметрические колебания оболочки, позволила определить амплитуду и частоту колебаний в зоне контакта шлифовального круга и заготовки, и, как следствие, прогнозировать изменения вибраций при варьировании входных факторов (режима резания, конструкции оправки, площади зоны контакта), что необходимо для разработки методов снижения колебаний в ТС. Установлено, что наибольшее влияние на формирование высоты волнистости H_v , и ее шага l_v , а, следовательно, на качество и точность обработки, оказывают параметрические колебания заготовки и в меньшей степени - колебания, вызванные биением и огранкой алмазного круга.

АЛМАЗНАЯ ОБРАБОТКА СФЕРИЧЕСКИХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ЗЕРКАЛ НА АВТОМАТИЗИРОВАННОМ ОБОРУДОВАНИИ ФИРМЫ «OptoTech»

ПЕТРОВ С.Н.

ОАО «Научно-производственное предприятие космического

приборостроения «Квант», г. Ростов-на-Дону

E-mail: sinoptic60@gmail.com

На предприятии имеется большой опыт изготовления плоских металлических зеркал, используемых в узлах сканирования оптико-электронных приборов ориентации космических аппаратов. Технология изготовления таких зеркал традиционно основана на методе поверхностного притира. В качестве шлифующего и полирующего агентов используются алмазные пасты и микропорошки в виде водных суспензий. Инструментом служат металлические планшайбы, предварительно отшлифованные до минимальных параметров плоскостности. Основные требования, предъявляемые к материалу зеркал - их высокая твердость и коррозионная устойчивость. Практика показывает, что оптимальной является твердость поверхности 53...55 HRC, что может быть достигнуто путем закалки предварительно изготовленной механическим путем подложки. Коррозионная стойкость зеркал обеспечивается самим составом легированной стали. Другим способом получения твердой металлической поверхности служит гальваническое или химическое нанесение слоя никеля с последующей его обработкой. Достижимые параметры плоскостности подобных зеркал составляют 1-2 кольца на диаметре 50-70 мм. Разрешающая способность ε поверхности составляет 13 угл. сек. и выше. Для достижения наивысшего качества поверхности применяется доводка поверхности на смоляном полировальнике с использованием субмикронных алмазных порошков.

Однако даже такие приемы не избавляют нас от наличия на полированной поверхности сетки очень мелких царапин (т. н. ласин). Поскольку это является следствием самого способа обработки, полностью избавиться от ласин чрезвычайно трудно. Одним из способов может быть добавление в полирующую суспензию нейтральной жидкости с большей, чем у воды вязкостью.

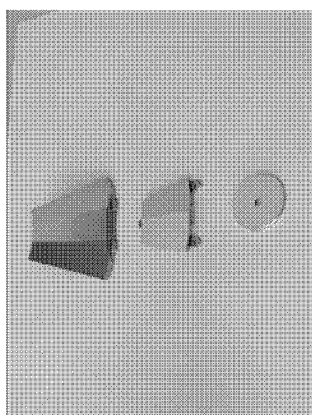
Следующим шагом в развитии технологии изготовления металлических зеркал для нас стало использование алмазной автоматизированной обработки с обкаткой алмазным инструментом по образующей оптической поверхности. Алмазный инструмент при этом имеет торическую, а точнее сказать сферическую ($R_1=R_2$) рабочую поверхность и контакт с поверхностью осуществляется в очень малой "точечной" зоне. Траектория движения инструмента обеспечивается системой ЧПУ и пакетом прикладных программ. Поскольку точность позиционирования инструмента не превышает 1 мкм, а скорость вращения круга может изменяться до 5000 об/мин., открывается широкий диапазон выбора режимов обработки и достижения высокой точности. Именно высокая точность шлифовального станка «ASM 100 CNC TC» позволила взяться за обработку твердых металлических поверхностей, не рискуя при этом войти в жесткий контакт с поверхностью и разрушить алмазный инструмент.

Насколько можно судить, предлагаемый способ обработки пока мало применяется в отечественной оптико-механической отрасли. Не в последнюю очередь это связано со

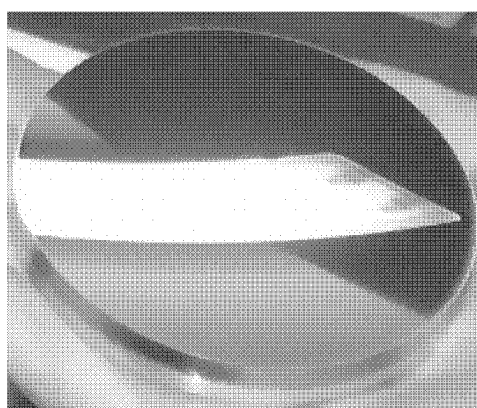
стареющим парком оборудования, его ограниченными возможностями. Более известны примеры алмазного точения медных зеркал алмазным резцом (Цеснек Л.С. и др.). При этом очень серьезные требования предъявляются к жесткости системы СПИД. Конечно, такой метод обработки не стоит на месте и также находится в развитии, в чем можно было убедиться на проходившей в мае 2012 г. во Франкфурте-на-Майне выставке «Optatec 2012». Так, например, одна из немецких фирм выставляла станок, шпиндельная бабка которого была изготовлена из гранита, что придавало ему особую термическую и вибрационную стабильность.

Возвращаясь к полученным результатам, сообщаем, что нами было изготовлено гальваническое никелевое зеркало на подложке из сплава Д16 диаметром 82 мм и радиусом 400 мм. Начальная толщина никелевого покрытия не превышала 150 мкм. Алмазная обработка была проведена в два перехода - 100/80 и 40/28. После обработки толщина никеля не превышала 40-60 мкм. Для предотвращения т. н. "завала края" нами был использован специальный внешний поддерживающий контур, который по завершении удалялся. Для полирования поверхности использовалась тиксотропная суспензия окиси алюминия и полноразмерный полировальный инструмент. Обработка велась по известной схеме "синхроспид". Использование такой технологии позволило нам в итоге добиться практически полного отсутствия даже малейших царапин. Шероховатость поверхности составила Ra 0,1...Rz 0,05

Необходимо отметить, что кроме вышеописанного проводятся работы с асферическими металлическими зеркалами, где также наблюдается устойчивая положительная динамика.



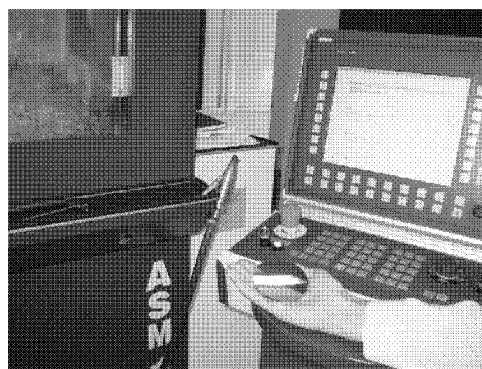
Плоские и многогранные зеркала



Сферическое зеркало 1



Сферическое зеркало 2



Сферическое зеркало 3

ПРЕЦИЗИОННАЯ АЛМАЗНАЯ ОБРАБОТКА ОПТИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ СО СЛОЖНОЙ ГЕОМЕТРИЕЙ ПОВЕРХНОСТИ

ТОМАЛЬ В.С., КАСИНСКИЙ Н.К., ДОРОШКЕВИЧ А.Г.,
РАТОМСКИЙ В.В., ГОНЧАРОВ Ю.П.

РУП «Оптическое станкостроение и вакуумная техника», г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: os_vt@mail.belpak.by

В последние годы появилась большая номенклатура оптических элементов с высокими требованиями к точности изготовления не только рабочих, но и вспомогательных поверхностей, выпускаемых мелкими партиями. Для расширения потребительских возможностей опто-электронных приборов в их оптической схеме начали использовать линзы из оптических материалов с особыми характеристиками, работающие в невидимой области света. Эти марки стекол являются экологически опасными для рабочего, обслуживающего станок при их механической обработке.

Вспомогательные поверхности в современных оптических деталях выполняют различные функции: обеспечивают работоспособность рабочих поверхностей; значительно облегчают массу зеркал, устанавливаемых в космических аппаратах; позволяют заметно снизить трудоемкость при сборке изделия; обеспечивают использование оптического стекла или керамики в качестве материала для изготовления высокоточных конструктивных деталей и т.д.

Обработка вспомогательных поверхностей, также как и предварительная обработка рабочих поверхностей линз, должна осуществляться алмазным инструментом на заготовительном оборудовании. Использование для этих целей серийно выпущенных ранее станков моделей АШС-70, Ш-150К, Алмаз 250 и других не представляется возможным из-за их конструктивных особенностей. При высокономенклатурном, мелкосерийном производстве использование таких станков неэффективно даже при предварительной обработке рабочих поверхностей линз из-за высокой трудоемкости их переналадки с детали одного наименования на другую.

В РУП "Оптическое станкостроение и вакуумная техника" за последнее десятилетие создана гамма заготовительного оборудования с ЧПУ: станок модели МОС-100, для обработки оптических деталей диаметром от 20 до 100 мм, станок модели АСШ-320 (рис. 1), для обработки оптических деталей диаметром от 80 до 320 мм, станок модели ШС-1600 для обработки оптических деталей диаметром от 300 до 1500 мм.

Станки позволяют последовательно выполнять следующие операции:

- огабаритивание заготовки по высоте и диаметру;
- сферошлифование рабочей поверхности;
- нанесение технологических и конструктивных фасок;
- сверление глухих и сквозных отверстий;
- расшлифовка отверстий;
- фрезерование осевых и внеосевых пазов;
- центрирование линз.

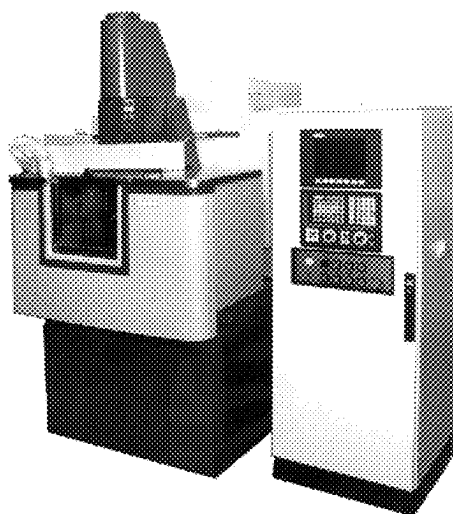


Рисунок 1.
Станок модели АСШ-320

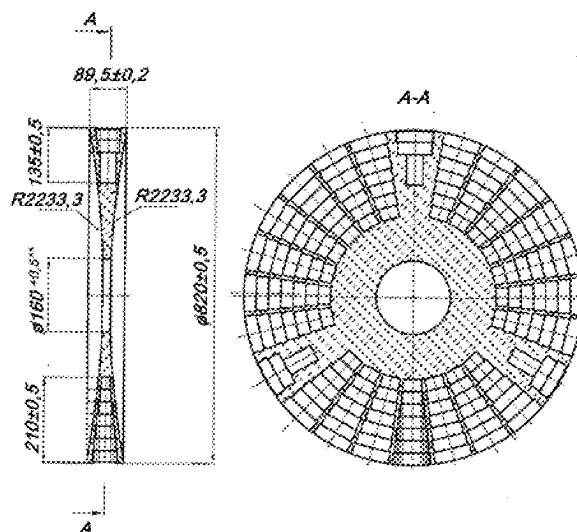


Рисунок 2.
Оптическая деталь, обработанная на станке модели ШС-1600

Эти операции осуществляются без переустановки обрабатываемой детали, заменяя только алмазный инструмент и производя переналадку станка согласно имеющейся технологической карты. Переналадка станка с одной операции на другую осуществляется оператором в течение 3-4 минут.

Система управления станками построена на базе комплектного оборудования корпорации Fagor Automation (Испания). Она включает в себя ЧПУ модели 8055, цифровые сервоприводы, линейные и угловые энкодеры в качестве устройств обратной связи. Данная система управления позволяет с микронной точностью осуществлять перемещение рабочих органов станка, плавно и в широком диапазоне регулировать частоты вращения шпинделей инструмента и изделия, скорости перемещения бабки изделия и инструмента, угол установочного наклона бабки инструмента от вертикального положения.

Управляющие программы для обработки оптических деталей пишутся с использованием языка программирования ISO. ЧПУ позволяет также использовать диалоговый язык программирования ICON. Гибкость ЧПУ дает возможность комбинировать оба этих метода программирования.

В качестве алмазного инструмента в станках используется как стандартный инструмент, выпускаемый серийно, так и нестандартный, изготавливаемый методом гальванического нанесения алмазного порошка на рабочую часть инструмента требуемой формы. Связкой алмазного порошка в инструменте является никель. При мелкосерийном производстве использование нестандартного инструмента показало его высокую эффективность за счет оперативного решения вопроса по его изготовлению. Такой инструмент широко используется для сверления отверстий и фрезерования пазов, нанесения технологических фасок и т.д. На рис. 2 представлена оптическая деталь, обработанная на станке ШС-1600.

ОСВОЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВА АСФЕРИЧЕСКОЙ ОПТИКИ НА СТАНКАХ С ЧПУ

Л.Н. ХОХЛЕНКОВ, В.В.КАЧАН

ОАО «Минский механический завод имени С.И.Вавилова —
управляющая компания холдинга «БелОМО», г. Минск, Республика Беларусь

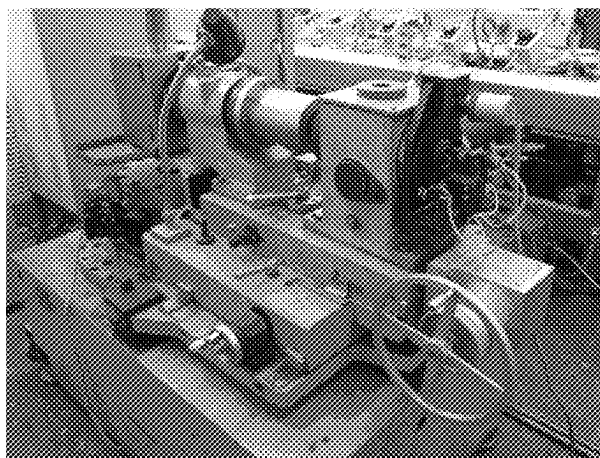
E-mail: belomo@belomo.by

В 80-х годах прошлого столетия отечественные станкостроители оптического оборудования впервые разработали станки "Асфероид 100" с ЧПУ для алмазного шлифования асферических поверхностей оптических деталей. Эти станки с разработанным программным обеспечением позволили в серийном производстве выпускать асферическую оптику диаметром от 20 до 80 мм с точностью $2\div 3$ мкм отклонения от заданной формы поверхности. Станки "Асфероид 100" до настоящего времени используются на оптических заводах Республики Беларусь (рис. 1).

В этих станках был заложен принцип формообразования асферической поверхности в полярной системе координат алмазным чашечным инструментом.

Используя различные технологические приемы (метод последовательных приближений, метод эквидистантного полирования и др.) можно было повысить точность изготовления асферической оптики до 1,2 - 1,5 мкм. Полученная точность изготовления асферических поверхностей была ограничена отсутствием средств контроля.

К сожалению, известные политические события, связанные с развалом нашей страны, привели к временному застою в оптической отрасли, что сказалось и на создании оптического оборудования с числовым программным управлением для обработки асферики, хотя уже к этому времени появились и неплохие отечественные привода, которые обеспечивали рабочим органам оборудования высокую точность линейных и угловых перемещений.



*Рисунок 1.
Станок модели Асфероид-100*

Однако, отсутствие оборотных средств и децентрализация оптической отрасли, не позволили отечественным станкостроителям обеспечить собственными разработками требования производителей оптики.

Растущие требования к качеству и точности асферической оптики и ее высокая номенклатура требуют современных подходов, основываясь на достижениях науки и техники.

Холдингу БелОМО правительством Республики Беларусь поручена задача освоить серийное производство инфракрасной техники с использованием в объективах оптических элементов с асферическими поверхностями.

Во исполнение решения данного поручения предприятием закуплена линейка оптического оборудования у компании OptoTech (Германия), состоящая из станка с ЧПУ для шлифования асферических поверхностей (рисунок 2), станка с ЧПУ для полирования асферических поверхностей (рисунок 3) и прибора контроля с точностью измерения 0,1 мкм.



Рисунок 2.
Станок для шлифования
асферических поверхностей



Рисунок 3.
Станок для полирования
асферических поверхностей

В январе 2013 года началось освоение данного оборудования. Этому предшествовала большая работа по обеспечению в помещении установки оборудования необходимых климатических и вибрационных условий.

В настоящее время проведены исследования по отработке технологии алмазного шлифования асферических поверхностей. Получены отклонения в 0,2 мкм от заданной формы асферической поверхности, что вполне допустимо для последующего полирования.

Следует отметить, что технологический опыт, накопленный авторами доклада при использовании станков "Асфероид 100", позволяет рассматривать намного шире технические возможности немецкого оборудования.

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ШИРОКОАПЕРТУРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ИЗ САПФИРА

КРИВОНОГОВ С.И., БУДНИКОВ А.Т., ВОВК Е.А, КАНИЩЕВ В.Н.

Институт Монокристаллов НАНУ, г. Харьков, Украина

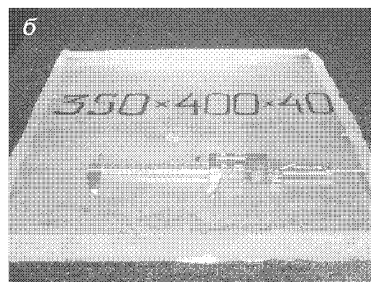
E-mail: budnikov@isc.kharkov.ua

Все более масштабным и перспективным направлением использования сапфира является оптика, работающая в экстремальных условиях, где необходима устойчивость к механическим и химическим воздействиям, высоким температурам (до 1900°C), УФ- и ИК-излучениям. Поэтому сапфир является безальтернативным материалом при использовании в аэрокосмической технике, в технологическом оборудовании высокого давления и агрессивных средах. Потребность в таких кристаллах возрастает, при этом на первый план выходят проблемы получения крупногабаритных кристаллов и изготовление из них широкоапертурных (размером более 200 мм) элементов.

В Институте монокристаллов разработана уникальная технология выращивания сапфира в форме пластин размером до $350 \times 500 \times 40$ мм методом горизонтальной направленной кристаллизации (ГНК) в восстановительных газовых средах рис. 1 а.



а)



б)

Рисунок 1.

Крупногабаритный кристалл сапфира, выращенный методом ГНК по технологии Института монокристаллов (а) и пластина, вырезанная из такого кристалла (б)

Изготовление широкоапертурных элементов сопряжено с рядом трудностей.

Вырезание заготовки из кристалла может сопровождаться растрескиванием, как кристалла, так и полуфабриката. Были исследованы распределения напряжений в кристалле, которые достигают в отдельных местах существенных значений ($\sim 10\text{МПа}$) и установлена локализация таких мест, что позволило производить раскрой без значительных потерь товарной части рис. 1 б.

Для получения плоскопараллельной заготовки сапфировую пластину, имеющую, как правило, заметную разницу по толщине, наклеивают на планшайбу. Нагрев такой заготовки в нагревательном шкафу даже с плавным подъемом температуры чреват ее растрескиванием, к тому же занимает довольно много времени. Разработан метод крепления крупногабаритных заготовок рис. 2, исключающий нагрев заготовки и не имеющий ограничений, как по размерам пластины, так и по разнице в толщине.

Шлифование проводится на плоскошлифовальных станках с использованием алмазного инструмента (тип кругов 1А1, АС20 125/100 М2-01 100%). Ширина рабочей

плиты станка может быть меньше чем обрабатываемая заготовка. Разработана методика шлифования таких заготовок, которая позволяет получать плоскопараллельные пластины с допуском по толщине ± 0.1 мм.

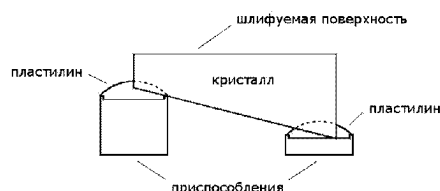


Рисунок 2. Схема крепления кристаллической заготовки

Пластины на элементы разрезали на станке "Сапфир-М" (Луганск, ЦКБМ "Донец") при использовании алмазных кругов с внешней режущей кромкой диаметром 400 мм и более (1A1R, AC32 160/125 100%). Основная трудность при таком способе резки состоит в подаче смазочно-охлаждающей жидкости в зону резания и отводе выделенного при резке тепла. Поэтому резку производили в закрытой ванне с маслом при использовании специально разработанной системы охлаждения рабочей жидкости. После порезки получали заготовки с отклонением от плоскостности 0.3 мм, шероховатостью 2-3 мкм, глубиной нарушенного приповерхностного слоя 30-50 мкм (рис. 3).

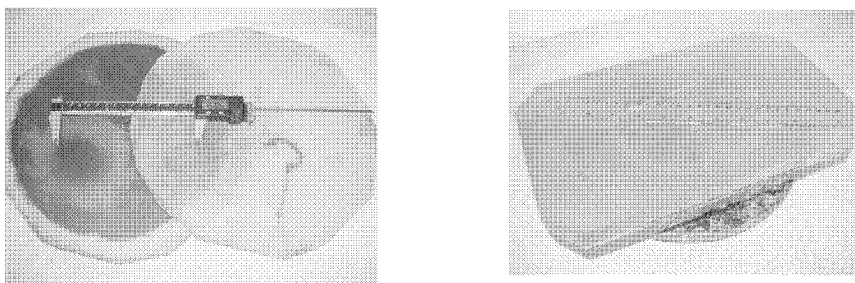


Рисунок 3. Заготовки сапфира различной формы и кристаллографической ориентации, разрезанные на пластины

После тонкого шлифования (алмазный круг 1A1, AC 6 125/100 B2-01 150% или аналогичные) заготовки полировали, используя алмазные пасты и алмазный порошок разной зернистости, на станке "Камертон" (Луганск, ЦКБМ "Донец"). После механического полирования шероховатость снижается до 150 - 200 Å, неплоскостность < 10 мкм, клиновидность < 30 мкм.

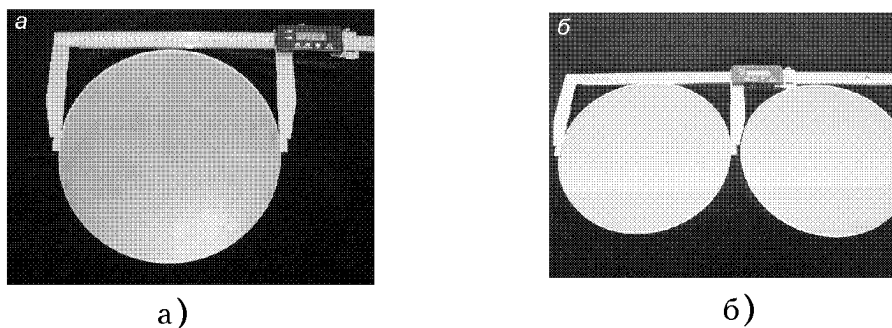


Рисунок 4. Элементы из сапфира: а – тонко-шлифованный; б – полированный

Для получения сверхгладких поверхностей применяется химико-механическая обработка коллоидным раствором кремнезема. В результате изделие имеет шероховатость $R_a < 3 \text{ Å}$, чистота поверхности по MIL-0-13830(USA) 80/50-60/40, неплоскостность < 5 мкм, клиновидность < 5 мкм.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ОБРАЗОВАНИЯ НАЛЕТА НА ОБРАБАТЫВАЕМОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ПОЛИРОВАНИИ ОПТИЧЕСКОГО СТЕКЛА

ФИЛАТОВ А.Ю., СИДОРКО В.И.

Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины, г. Киев, Украина

E-mail: filatov@ism.kiev.ua, sidorko@ism.kiev.ua

В последние десятилетия в теории механической обработки неметаллических материалов получены новые научные результаты в области применения фундаментальной науки в технологии шлифования и полирования прецизионных поверхностей деталей электронной техники и оптических систем. При исследовании механизма формирования поверхности и образования частиц шлама были получены кинетические зависимости шероховатости и отражающей способности обработанных поверхностей оптических деталей из стекла. При *in situ* контроле состояния обрабатываемой поверхности методами эллипсометрии и рефлектометрии установлено, что периодическое изменение коэффициента отражения света обрабатываемой поверхностью во время полирования объясняется образованием фрагментов налета, состоящего из частиц шлама и частиц износа инструмента. На основе квантово-механического описания процесса рассеяния наноразмерных частиц шлама и износа в зоне контакта детали с инструментом изучены закономерности формирования микропрофиля обрабатываемой поверхности детали и механизм формирования налета из частиц шлама на рабочей поверхности полировального инструмента. В то же время, закономерности образования и локализации фрагментов налета на обрабатываемой поверхности в процессе полирования изучены недостаточно.

Взаимодействие частиц износа инструмента с частицами шлама и между собой в зоне контакта инструмента и детали определяется суммой потенциалов их межмолекулярного и электрического взаимодействия. Амплитуды рассеяния частиц износа инструмента определяются методом парциальных волн, а вероятности их рассеяния в телесный угол и во всех направлениях определяются дифференциальным сечением рассеяния и полным эффективным сечением рассеяния соответственно. На основе *ab initio* расчетов в соответствии с квантовой теорией рассеяния частиц показано, что величина дифференциального сечения рассеяния частиц износа на частицах шлама характеризуется максимальным значением при рассеянии вперед (на 0°), имеет наиболее существенное значение в центральной зоне рабочей поверхности инструмента и значительно превосходит величину дифференциального сечения рассеяния частиц износа на частицах износа. Именно из этой кольцевой зоны частицы износа инструмента устремляются к поверхности обрабатываемой детали, рассеиваясь на нулевой угол.

Координатные зависимости полного сечения рассеяния частиц износа на частицах шлама и на частицах износа позволяют определить суммарную величину полного сечения рассеяния частиц износа инструмента при рассеянии вперед для процесса полирования плоской поверхности в условиях, когда для частиц износа рассеивающими центрами являются частицы шлама и частицы износа. Преимущественное рассеяние частиц износа вперед предопределяет их движение в направлении обрабатываемой поверхности в соответствии с координатной зависимостью полного сечения рассеяния, то есть при

значительно большей вероятности рассеяния потока частиц износа на центральных участках зоны контакта инструмента и обрабатываемой детали, чем на периферийных. При попадании частиц износа инструмента на обрабатываемую поверхность происходит образование налета.

Функция распределения полного сечения рассеяния частиц износа вдоль радиуса круговых зон обрабатываемой поверхности детали, показывает, что максимальная плотность сосредоточения фрагментов налета наблюдается только в одной кольцевой зоне.

При экспериментальном исследовании состояния обработанной поверхности детали из стекла при помощи сканирующего микроскопа-анализатора "Camscan-4DV" установлено, что после полирования на ней образуется налет в виде отдельных фрагментов, дискретно расположенных в пределах одной кольцевой зоны, что согласуется с результатами теоретических расчетов. В состав фрагментов налета входят те же элементы, что и в состав рабочего слоя инструмента, и не входят оксиды металлов, входящие в состав обрабатываемого стекла. Из этого следует, что налет состоит из частиц износа инструмента. Частицы износа могут объединяться в крупные агрегаты с размерами, достигающими сотен микрометров.

Наблюдаемый эффект, состоящий в возникновении налета частиц износа инструмента на обрабатываемой поверхности при полировании невозможно объяснить ни эффектом Брауна, когда налет на поверхности стекла образовывается из частиц шлама за счет повторной полимеризации стекла, ни проявлением междумолекулярных сил взаимодействия между частицами износа инструмента и частицами шлама между собой и с обрабатываемой поверхностью. Это квантовый эффект рассеяния наноразмерных частиц износа инструмента и частиц шлама при их перемещении в контактной зоне, заполненной смазывающе-охлаждающей технологической жидкостью.

Таким образом, квантово-механическое описание рассеяния частиц износа в зоне контакта инструмента и обрабатываемой детали в процессе полирования позволило исследовать зависимости дифференциального сечения рассеяния частиц износа на частицах шлама и на частицах износа от угла рассеяния для различных участков контактной зоны и показать, что вероятность рассеяния потока частиц износа на центральных участках зоны контакта инструмента и обрабатываемой детали, значительно больше чем на периферийных. На основе этого изучены закономерности локализации фрагментов налета на обрабатываемой поверхности детали, определены границы кольцевой зоны, в которой дискретно располагаются отдельные фрагменты налета. При помощи методов атомносиловой, оптической и электронной микроскопии подтверждено соответствие экспериментальных данных и теоретических квантово-механических расчетов.

СТАНОК ДЛЯ ОДНОВРЕМЕННОГО ДВУСТОРОННЕГО ШЛИФОВАНИЯ И ПОЛИРОВАНИЯ ЛИНЗ С ТОНКИМ ЦЕНТРОМ

ТОМАЛЬ В.С., КОЗЕРУК А.С., САФОНОВ В.В.

РУП «Оптическое станкостроение и вакуумная техника», г. Минск, Республика Беларусь

Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республики Беларусь

E-mail: os_vt@mail.belpak.by

Одной из причин появления локальных погрешностей на оптических деталях являются упругие деформации в стекле, возникающие при закреплении заготовки на наклейное приспособление. Эти погрешности возникают из-за различных температурных коэффициентов линейного расширения стекла, металла и наклейного вещества.

Отмеченных недостатков можно избежать, если обрабатывать одновременно обе поверхности линзы. В таком случае отпадает необходимость в креплении заготовки смолой поочередно за одну из ее поверхностей, что исключает деформирование детали и, следовательно, возникновение температурных локальных погрешностей.

Принципиальная схема станка для одновременной двусторонней обработки отрицательных линз, диаметр которых не превышает $1,6 R$, представлена на рис. 1.

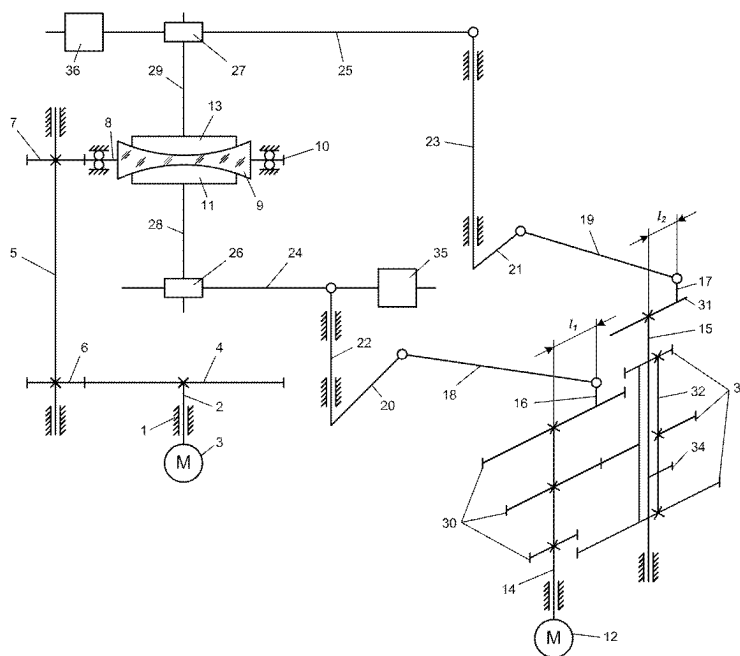


Рисунок 1.

Схема станка для одновременной двусторонней обработки линз с полыми вогнутыми поверхностями

Станок состоит из основания 1, на котором смонтированы шпиндель 2 с приводом вращения 3, механизм привода линзы, состоящий из центрального зубчатого колеса 4, жестко установленного на шпинделе 2, вала 5 с ведущим 6 и ведомым 7 зубчатыми

колесами, сепаратора 8 для линзы 9 и зубчатого колеса 10, неподвижно закрепленного на сепараторе 8, а также механизм качания инструмента 11 с приводом вращения 12 и механизм качания верхнего инструмента 13.

Механизмы качания инструмента 11 и верхнего инструмента 13 содержат соответственно входной вал 14 и 15, палец 16 и 17, шатун 18 и 19, рычаг 20 и 21, вал штанги 22 и 23, штангу 24 и 25 с державками 26 и 27, удерживающими поводки 28 и 29. В механизм качания инструмента 11 входит также блок зубчатых колес 30, неподвижно закрепленный на входном валу 14, а в механизм качания инструмента 13 - кривошипный диск 31, смонтированный на входном валу 15, и полый вал 32 с блоком зубчатых колес 33 и винтом 34, установленный с возможностью перемещения вдоль оси входного вала 15. При этом поводки 28 и 29 шарнирно соединены с инструментами 11 и 13, штанги 24 и 25 кинематически связаны с валами штанг 22 и 23 с возможностью качания в плоскости, проходящей через ось симметрии последних, рычаги 20 и 21 жестко закреплены на валах штанг 22 и 23, шатуны 18 и 19 шарнирно соединены с рычагами 20 и 21 и с пальцами 16 и 17, установленными с возможностью радиального перемещения по поверхности соответственно верхнего зубчатого колеса блока зубчатых колес 30 и кривошипного диска 31, а зубчатое колесо 10 неподвижно соединено с сепаратором 8.

Для сообщения рабочего усилия на линзу 13 используются грузы 35 и 36, расположенные на штангах 24 и 25.

Станок работает следующим образом. Линзу 9 неподвижно закрепляют в сепараторе 8, на ее исполнительные поверхности устанавливают инструменты 11 и 13, приводят в контакт с последними поводки 28 и 29, грузами 35 и 36 нагружают штанги 24 и 25, создавая необходимое рабочее усилие, и включают приводы вращения 3 и 12. Крутящий момент от первого из них через центральное зубчатое колесо 4, ведущее 6 и ведомое 7 зубчатые колеса, зубчатое колесо 10 и сепаратор 8 вызывает вращение линзы 9. Благодаря наличию сил трения между линзой и инструментами последние совершают вращение вокруг собственных осей симметрии.

Крутящий момент от привода вращения 12 через входной вал 14, верхнее зубчатое колесо блока зубчатых колес 30, палец 16, шатун 18, рычаг 20, вал штанги 22, штангу 24 и поводок 28 вызывает возвратно-вращательное перемещение инструмента 11 по одной из исполнительных поверхностей линзы 9. Кроме того, крутящий момент от привода вращения 12 через одно из зубчатых колес блока зубчатых колес 30, находящегося в зацеплении с зубчатым колесом блока зубчатых колес 33, полый вал 32, винт 34, входной вал 15, кривошипный диск 31, палец 17, шатун 19, рычаг 21, вал штанги 23, штангу 25 и поводок 29 вызывает возвратно-вращательное перемещение верхнего инструмента 13 по второй исполнительной поверхности линзы 9.

ГОРОХОВ В.С.

ООО "Ресурс точности", г. Москва

E-mail: gorohov@resurst.com

1. Ультрапрецизионная обработка:

1.1. Изготовление плоских пластин для предприятия «Роскосмос».

Методом тонкого фрезерования однозубой фрезой со вставкой из натурального алмаза осуществляется обработка деталей крупногабаритной металлооптики с размерами 650x150x10 мм из материала АМГ6.

Диаметр фрезы $\varnothing 480$ мм, основные технологические задачи: динамическая балансировка фрезы, вращающейся с частотой до 500 об/мин, и виброгашение, возникающих колебаний в тонкостенной крупногабаритной заготовке.

1.2. Плоские пластины с гарантированной кромкой для ГК «Ростехнология».

Методом тонкого точения резцом со вставкой из натурального алмаза осуществляется многосторонняя (до 4-х взаимноперпендикулярных поверхностей) групповая обработка (до 2500 штук) плоских контактных пластин из материала медь безкислородная марки МОБ. Основные технологические задачи: получение острой, бездефектной кромки, образованной двумя взаимноперпендикулярными поверхностями, и надежное бездефектное закрепление на технологической планшайбе большого количества мелких заготовок (размеры в плане 4x2 мм)

1.3. Эллипсоиды вращения для ГК «Ростехнология».

Методом тонкого алмазного точения на станке мод. "Асферика-Ф3" с УЧПУ обрабатывались детали с эллиптической образующей из материала D16T.

Шероховатость обработанной поверхности $Ra < 0,010$ мкм. Точность формы (отклонение теоретической кривой) $\pm 0,2$ мкм.

2. Разработки.

2.1. Специальный фрезерный станок "Фреза-1000":

- станок мод. "ФРЕЗА-100" предназначен для изготовления крупногабаритных плоских деталей из алюминиево-магниевых сплавов марок АМГ-4 и АМГ-6 методом алмазного фрезерования с шероховатостью Ra 5 нм;

- класс точности станка по ГОСТ 8-82 - «С»;

- габариты обрабатываемого изделия при фрезеровании, мм - 1000x300;

- параметры точности и шероховатости обрабатываемых поверхностей:

- отклонение формы на 100 мм, мкм - 1;

- отклонение взаимного расположения поверхностей, мкм - 1,5;

- размерная точность, мкм - 2;

- шероховатость поверхности при фрезеровании (Ra), нм - 5.

2.2. Шпиндель на сферических аэростатических опорах с пористым дросселированием.

В настоящее время ведется разработка и изготовление партии шпинделей на сферических аэростатических опорах с пористым дросселированием со следующими характеристиками:

- осевая несущая способность не менее 150 кг;
- жесткость аэростатических опор - 25 кг/мкм;
- радиальное и торцевое биение оси шпинделя - 30 нм.

2.3. Станок алмазного микрофрезерования кристаллов KDP.

Проводится модернизация специального ультрапрецизионного станка для обработки кристаллов соли (KDP) методом алмазного фрезерования.

Шероховатость обработанной поверхности не хуже: Ra 0,002 мкм.

Неплоскостность рабочей плоской поверхности не хуже 0,5 мкм на площади 400х400 мм.

3. Экспериментальные работы:

3.1. Технология изготовления линейных и концентрических матриц линз Френеля.

Проводятся работы по отработке технологии и изготовлению опытных образцов матриц линейных и круговых линз Френеля для гелиоэнергетики, объемного телевидения, полиграфической промышленности и т. п.

Матрицы изготавливаются на станке с УЧПУ "Асферика-Ф3" методом алмазного точения и фрезерования с использованием специального монокристаллического инструмента.

3.2. Технология изготовления специальных деталей из кварцевого стекла.

Проводится НИОКР по отработке технологии изготовления прецизионных деталей сложной формы (сферы, цилиндры) из кварцевого стекла, с оптическим качеством поверхности субмикронной точностью и минимальным наружным слоем.

Для решения задачи применяется поддержка резания ультразвуковыми колебаниями.

3.3. Технология изготовления деталей из лейкосапфира, микрокристаллического кварца и др. Для решения этой задачи так же проводится НИОКР по плоскому алмазному пластичному шлифованию хрупких материалов с использованием ультрапрецизионного оборудования и непрерывной электролитической правки круга. Параметры получаемой поверхности Ra<0,002 мкм, P-V < 0,1 мкм на Ø100 мм.

4. Специальный ультрапрецизионный режущий инструмент.

Создан специальный станок-стенд для ультрапрецизионной заточки резцов из сверхтвердых поликристаллических материалов с субмикронной точностью и оптическим качеством поверхности.

5. Метрологический контроль осеботочных поверхностей.

ФИЗИКО-ХИМИЯ В ПРОЦЕССАХ ФОРМИРОВАНИЯ ПРЕЦИЗИОННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ И ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ИЗ САПФИРА ($\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$) ПРИ ТРИБОХИМИЧЕСКОМ ПОЛИРОВАНИИ

РОГОВ В. В.

Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины, г. Киев, Украина

E-mail: krotenko_t_l@ukr.net

Развитие современного оптического и электронного приборостроения в первую очередь определяется созданием нового уровня функциональных возможностей оптико-электронных приборов и устройств и, соответственно, повышением технических требований к состоянию шероховатости ($Ra = 0,2$ нм), классу оптической чистоты (бездефектности) ($P 0-10$, $P 0-20$), высокой отражательной способности и высокой точности формы функциональных поверхностей их деталей, а также применением более твердых и прочных материалов и соответственно трудно обрабатываемых сапфира и рубина ($\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$), карбида кремния (SiC).

Уникальные оптические и физико-механические свойства сапфира $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ с диапазоном спектрального пропускания от 100 до 5000 нм, высокие теплотехнические и механические характеристики, превосходящие таковые для всех марок оптических стекол сделали его перспективным материалом и позволяют использовать его в оптических и оптико-электронных приборах и комплексах, работающих одновременно в ультрафиолетовой, видимой и инфракрасной областях светового спектра и жестких условиях эксплуатации. Однако сложившаяся за много лет на предприятиях оптико-механической промышленности классическая технология обработки оптических деталей из стекла непригодна для обработки оптических деталей из сапфира, поскольку применяемые полировальные составы на основе CeO_2 не взаимодействуют с Al_2O_3 и, кроме того сапфир превосходит по твердости стекло в 4,5 раза.

Об использовании при полировании деталей из сапфира ($\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$) водной суспензии на основе кремнезема SiO_2 и его химическом взаимодействии с Al_2O_3 впервые было опубликовано китайскими исследователями в 1975 г. Однако фундаментальное научное утверждение об очень сильном взаимодействии Al_2O_3 и SiO_2 доказательно было дано известным физико-химиком Р. Айлером (1982 г.). В качестве доказательств связи между Al и Si автор приводит возможное при подходящих обстоятельствах одинаковое координационное число 4 или 6, а также то, что Al и Si имеют приблизительно один и тот же атомный вес. Кроме того анионный характер алюминия, когда он замещает кремний, является давно признанным. При этом отмечается в реакции ионного обмена Al и Si только 25% поверхностных атомов Si могут быть связаны с атомами алюминия Al.

В связи с указанным в ИСМ НАН Украины были проведены комплексные исследования и разработана принципиально новая технология полирования на основе использования водного раствора коллоидного кремнезема торговых марок NALCO-2354 и NALCO-2360 (Германия, США). Были исследованы концентрация SiO_2 , плотность ρ , pH и полирующая способность различных полировальных составов, их интенсивность

взаимодействия с сапфиром, в зависимости от ρH , температуры в зоне контакта, номинального давления ρ_a и определены условия ее повышения. Разработаны также специальные алмазно-абразивные инструменты для подготовки поверхности детали под полирование.

Разработаны опытные технологии, изготовлены и аттестованы опытные партии:

- подложек $\varnothing 50$ мм для эпитаксии GaN при производстве светодиодов белого освещения в новых источниках освещения (Свет XXI века) (требований $Ra \leq 0,2-0,3$ нм, ρ не хуже ρ 0–20, т.е. на уровне "атомно-гладких";

- КНС (кремний на сапфире) структур для интегральных схем ($Ra = 0,4-2$ нм, ρ I-IV), приборных линз (двояко-выпуклых, выпукло-вогнутых, плоско-выпуклых) силовой оптики ($Ra < 1$ нм, ρ III- ρ V), элементов лазерной оптики ($Ra = 0,006$ мкм, $\rho = IV$). Указанные детали прошли положительную аттестацию с применением современных измерительных приборов на специализированных предприятиях: КП "Арсенал" (г. Киев), Красногорский завод им. С.А.Зверева (Московская область), ИФП АН Украины (г. Киев).

Процессы подготовки поверхностей под полирование и трибохимическое полирование выполнялись на известных оптических станках типа ШП Сморгоньского станкозавода (Беларусь).

НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ОПТИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ФОРМОБРАЗОВАНИЯ ПРЕЦИЗИОННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ОПТИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ АЛМАЗНЫМИ ИНСТРУМЕНТАМИ В «ЖЕСТКИХ ОСЯХ»

ЛОМАКИН Ю.В.

ООО "ОПТОВАК", г. Москва

E-mail: bogdan_senik@mail.ru

1. Краткий обзор современных технологий и оборудования алмазной обработки прецизионных оптических деталей (ОД)

1.1. Всё возрастающие требования к точности и качеству прецизионных оптических компонентов современных и перспективных оптоэлектронных приборов и систем гражданского и военного назначения определили следующие основные направления развития оптических технологий и оборудования.

1.1.1. Обеспечение процесса многопереходного шлифования с микрошлифованием на последнем переходе для приближения качества отшлифованной поверхности до параметров полированной поверхности, тем самым исключив операцию полирования или существенно сократив её продолжительность, приблизив к времени шлифования.

1.1.2. Обеспечение максимальной концентрации выполнения различных шлифовальных операций и переходов на одном станке (обрабатывающем центре) с целью проведения обработки различных поверхностей (плоских, сферических, асферических и др.) с одной установки ОД или с одной её перебазировкой, минимизировав тем самым межоперационные припуски и повысив точность взаимного положения шлифуемых поверхностей.

1.1.3. Обеспечение производительных процессов обработки ОД из различных твёрдых и сверхтвёрдых материалов (карбида и нитрида кремния, кристаллов сапфира, керамики, кварца, ситалла и др.) шлифование и тем более полирование, которых являются весьма длительными процессами.

1.1.4. Создание технологии наношлифования, для получения сверхгладких поверхностей с шероховатостью до 1 нм и с практически отсутствием трещиноватого поверхностного слоя.

1.2. Для выполнения вышеперечисленных задач по технологии обработки прецизионных и сверхпрецизионных поверхностей за рубежом уже сегодня созданы технологии, станки и обрабатывающие центры, общим признаком которых является осуществление шлифование или точение в жёстких осях, где точность и качество обработки определяется точностью перемещения исполнительных органов станка и стойкостью алмазного инструмента, а также жёсткостью, виброустойчивостью и термоустойчивостью системы СПИД (станок-приспособление-инструмент-деталь).

1.2.1. Оптические станки и обрабатывающие центры для шлифования, полирования и центрирования ОД средней и высокой точности (до $\frac{1}{H}$) размером от 1 мм. до 500 мм. и более. Ведущие фирмы: «Optotech», «Satsilon», «Shneider» (Германия).

1.2.2. Технологический процесс наношлифования по способу пластического шлифования хрупких материалов, по которому при определённых условиях (глубина и скорость резания) обеспечивается съём припуска путём срезания пластической стружки, а не выкалыванием частиц за счёт пересекающихся трещин, как это происходит при хрупком шлифовании.

1.2.3. Технологический процесс наношлифования с применением способа электролитического вскрытия инструмента во время обработки (ELID)

По этому методу вскрываются алмазные инструменты на металлических связках при размере зерна до 1 мкм.

1.2.4. Технологический процесс наношлифования по способу алмазного точения (SPDT) при котором обработка осуществляется однотоочечным алмазным инструментом, постоянство формы которого обеспечивается периодической правкой на отдельном специальном станке

2. Варианты решения задач по оснащению отечественных оптических производств.

2.1. Состояние отечественных оптических производств в настоящее время характеризуется следующими признаками.

2.1.1. Резкое, в десятки раз, сокращение объёмов производств ОД с переходом на выпуск малых серий и единичного изготовления

2.1.2. Сохранение на предприятиях преимущественно классических технологий с применением на финишных операциях шлифования и полирования "метода притира".

2.1.3. Физический износ практически на 60-70% оптического оборудования.

2.1.4. Уход из сферы производства высококвалифицированных специалистов: технологов, оптиков-станочников и слабый приток молодых специалистов.

2.2. Для выполнения производственных задач по выпуску ОД в сложившихся условиях предлагается следующие варианты перевооружения производств.

2.2.1. Приобретение модернизированного и нового оптического оборудования, работающего по классической технологии взамен физически изношенного. Это позволит сохранить преемственность технологий без больших финансовых затрат.

В настоящее время выпуск станков, работающих по классической технологии, на современной элементной базе, освоен ООО "ОПТОВАК" г. Москва (производство находится на территории Республики Беларусь).

2.2.2. Применение в основном на заготовительных операциях, а также для предварительного и среднего шлифования металлорежущих станков: сверлильных, круглошлифовальных, фрезерных, в том числе вертикально-фрезерных обрабатывающих центров с ЧПУ, например фирмы HAAS (США)

2.2.3. Приобретение оптических станков для обработки прецизионной оптики фирм Optotech, Satislok, Shneider, как наиболее соответствующих мелкосерийному и единственному производству и не требующих узкоспециализированных и высококвалифицированных специалистов.

2.2.4. Возрождение отечественного оптического станкостроения для обеспечения, в первую очередь, оптических производств изготовления прецизионной оптики в "жёстких осях".

Фирмой ООО "ОПТОВАК" был создан опытный образец центрировочного станка с ЧПУ мод. Ц-200 для шлифования сферических, асферических, цилиндрических, плоских, конических поверхностей ОД средней точности алмазными инструментами (рис. 1).

3. Предложения в Федеральную целевую программу: "Создание оптического шлифовального центра для формообразования плоских, цилиндрических, сферических и асферических поверхностей прецизионных оптических деталей".

Предлагается разработать и изготовить опытный образец оптического обрабатывающего центра с ЧПУ, для обработки различных поверхностей прецизионных ОД диаметром от 1 мм до 150 мм.

Центр будет существенно отличаться простотой конструкции от существующих зарубежных аналогов.

3.1. Выполнение центра с горизонтальной компоновкой и использованием в качестве основания массивной гранитной плиты.

3.2. Выполнение модульной конструкции центра, где в качестве исполнительных органов должны применяться высококачественные стандартные покупные изделия (столы, шпиндели, ЧПУ и др.)

3.3. Центр должен иметь следующие основные исполнительные органы:

- шпиндель изделия;
- 2 вертикальных и 2 горизонтальных шпинделя инструмента;
- 2 стола линейных перемещений по осям X и Y;
- поворотный стол с круговым перемещением по координате C;
- систему ЧПУ обеспечивающая управление центром в ручном режиме, а также шлифование по программам, написанным в кодах ISO.

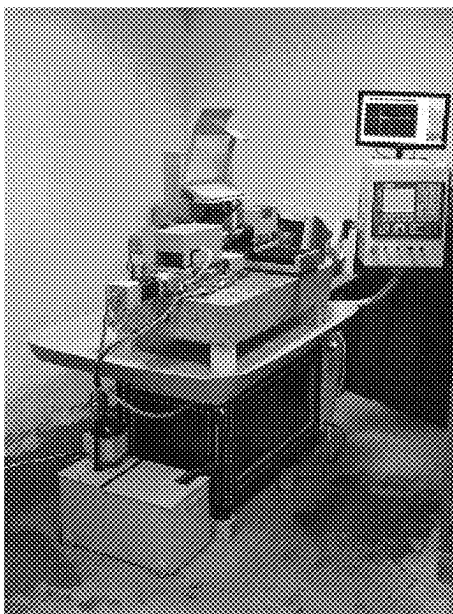


Рисунок 1.

АЛМАЗНЫЙ ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

ГЕРАСИМОВ С.А.

ОАО «НПО «Оптика», г. Москва

E-mail: optika@npooptica.ru

В докладе представлена номенклатура алмазных инструментов, производимых в ОАО "НПО "Оптика".

Разработанные в 80-х годах прошлого столетия в ОАО "НПО "Оптика" алмазные инструменты на металлических и металлополимерных связках типа МЗ-15 для грубого и тонкого шлифования до сих пор незаменимы при обработке оптических деталей из большинства марок стекол и используются на предприятиях оптико-механической промышленности.

В настоящее время разработаны алмазные инструменты на металлических связках, обладающие повышенной хрупкостью и высоким удержанием алмазного зерна. Эти инструменты нашли применение для грубого и тонкого шлифования таких твердых материалов как корундовая керамика, карбид кремния, лейкосапфир и т.п.

В ОАО "НПО "Оптика" разработано, также, новое поколение алмазных инструментов для механической обработки неметаллических материалов - инструменты на основе высоконаполненных каучуковых композиций. Такие инструменты, характеризуются достаточно высокими значениями производительности и износостойкости и позволяют получать бездефектные поверхности с минимальными значениями шероховатости и глубиной нарушенного слоя, что дает возможность значительно сократить время полирования.

Инструменты на каучуковых связках находят все большее применение при обработке оптических деталей из всех марок стекол, а также таких твердых материалов как лейкосапфир и карбид кремния. Кроме того, эти инструменты могут успешно использоваться при обработке ситалла, оптического и кристаллического кварца, кремния, германия, селенида цинка, флюорита и т.п. Например, при обработке германия и флюорита инструментом с зернистостью алмаза 3/2 шероховатость обработанной поверхности Ra составляет 5 - 6 нанометров.

Секция 2

Перспективные технологии высокоточной алмазной обработки механических деталей

НОВЫЙ АЛМАЗНО-АБРАЗИВНЫЙ ИНСТРУМЕНТ "МОНАЛИТ"

СУХОНОС С.И., БАЛЫКОВ А.В.

ООО «РусАтлант», г. Москва

E-mail: balykov08@mail.ru, rusatlant@inbox.ru

В оптической, часовой и ювелирной промышленности, в радиоэлектронике, машиностроении и приборостроении, в строительстве и быту широкое применение находят конструкционные хрупкие неметаллические материалы - стекло, кварц, керамика, ферриты, ситаллы драгоценные и полудрагоценные камни, граниты и мрамор. Эти материалы отличаются высокой твердостью, прочностью, износостойкостью, повышенной хрупкостью и плохой обрабатываемостью.

В общем объеме механической обработки материалов удельный вес обработки неметаллических материалов составляет около 15-20% и продолжает стремительно расти. Только в стеклообрабатывающей отечественной промышленности трудится сегодня около одного миллиона человек. Алмазная обработка является одним из наиболее эффективных методов формообразования деталей из хрупких твердых неметаллических материалов.

Алмазно-абразивный инструмент при обработке хрупких неметаллических материалов применяется в следующих основных областях:

- в оптико-механической промышленности - лазерную и лазерно-оптическую технику, оптоэлектронику, детали оптических приборов, зеркал и линз из стекла, ситалла, кварца, лейко-сапфира;
- в авиационно-космической и ракетной технике - оболочки приборов, герметичные выключатели, вакуумные разъемы, детали энергетических установок и газовых турбин из ситалла, керамики, силицированного графита;
- в радиоэлектронике, лазерной технике - обработка пассивных и активных подложек полупроводниковых и функциональных микросхем из ситалла, поликора, кварца, германия, кремния, ниобата лития; изготовление резонаторов оптических квантовых генераторов из кварца и ситалла, стержней фазовращателей из феррита и ситалла, датчиков, фазовращателей, резонаторов и фильтров из кварца, керамики, стекла и ситалла, магнитные головки из феррита и керамики;
- в промышленности связи - волоконно-оптические разъемы из стекла и керамики;
- в машиностроении - станины из мрамора и гранита, эталоны из керамики и мрамора, подшипники, гильзы и поршни из керамики, рубина, силицированного графита и композитов;
- в часовой промышленности и ювелирном производстве - изделия из рубина, кварца, сапфира, агата, яшмы, чароида, лазурита, топаза, самоцветов, огранка бриллиантов;
- в строительстве, строительно-монтажных и реставрационных работах, в быту - обработка облицовочных материалов из стекла, мрамора, гранита и керамогранита;
- в производстве изделий из хрусталя, полудрагоценных и поделочных камней - люстр, подсвечников, письменных приборов, столешниц, декоративных и строительных конструкций;
- в массовом производстве предметов быта: стеклофурнитуры (дверей, столешниц, лестниц) и зеркал, сантехнической и запорной арматуры из керамики;

- в быту - обработка облицовочной плитки, керамогранита, бетона, кирпича.

В связи с отсутствием необходимых алмазных и эльборовых инструментов на отечественном и зарубежном рынках проблемы обработки новых материалов становятся существенным препятствием к их внедрению.

Российская фирма ООО "РусАтлант" создала уникальную серийную технологию изготовления алмазно-абразивного высокопроизводительного и износостойкого инструмента нового поколения "МонАлиТ" [1], имеющего оптимальное соотношение «цена-ресурс». Традиционно при изготовлении сложно профильных изделий из неметаллических материалов применяют в большинстве случаев только металлические связки, как наиболее прочные, износостойкие и обладающие хорошей теплопроводностью. На рис. 1 для сравнения представлены показатели стойкости алмазных свёрл с применением разных металлических связок, широко применяемых для изготовления алмазных профильных кругов и головок. Круги на гальванической связке имеют 1 слой алмазов. Расчет количества слоев алмазов для связок М1 и М произведен для высоты алмазодержащего кольца, равной 3 мм.

Алмазные круги, известные как гальванические, изготавливают на связке, основу которой составляет никель, методом гальваностегии и гальванопластики. Они имеют развитый рельеф, но низкую стойкость и все реже применяются на практике. Большое распространение в производстве алмазных кругов получил метод порошковой металлургии, заключающийся в прессовании, спекании и горячей допрессовке алмазодержащей смеси. Широко применяющаяся связка М2-01 (М1) состоит из олова и меди. Температура спекания этой связки составляет 660-680° С. В связке М1 зерна механически удерживаются до их затупления, а затем вырываются по первому механизму износа. Круги, изготовленные методом порошковой металлургии, имеют хорошую работоспособность, но относительно не высокую кромкостойкость. Производительность ограничена

из-за возможности возникновения потери формы. Попытки повысить адгезионную способность связки М2-01, т.е. силу удержания зерна за счет металлизации алмазных зерен не принесли существенных успехов.

Причинами низкой стойкости и, особенно, кромкостойкости свёрл на связке М2-01 является недостаточная сила удержания алмазных зёрен в матрице инструмента.

На фирме «РусАтлант» разработана технология изготовления инструмента на связке «МонАлиТ» М с концентрацией алмазов до 200-250%. Инструменты «МонАлиТ» производятся методом пропитки в неметаллических прессформах в вакууме.

Сущность метода заключается в соединении металлизированных алмазных зёрен расплавом связки. Далее эти покрытия взаимодействуют с элементами связки: медью, никелем, марганцем, в результате чего происходит образование новых фаз на контактных границах и способствует существенному повышению эксплуатационных свойств алмазно-абразивного инструмента. Форма

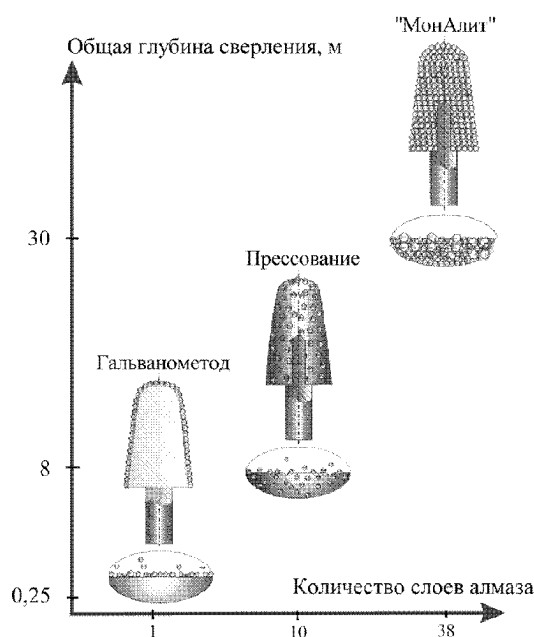


Рисунок 1.

Ресурс алмазных кольцевых свёрл ф6 мм, изготовленных с применением различных типов связок

с засыпанными алмазами помещается в вакуумную печь, где при температуре свыше 1000°C происходит заполнение оставшегося свободного пространства сплавом и диффузионная сварка металлизированных зерен друг с другом (рис. 2).

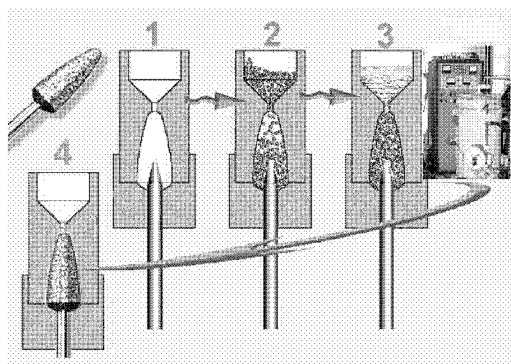


Рисунок 2.
Схема технологического маршрута
изготовления инструмента "МонАлиТ"

Предельная концентрация и монолитная упаковка алмазов, особенности технологии позволяют изготавливать инструмент любой формы с размерами до 0,8 мм. Технология изготовления обеспечивает одинаковую работоспособность инструмента «МонАлиТ» по всему объему.

Преимущества инструмента «МонАлиТ».

По сравнению с гальваническим инструментом:

- многоярусная конструкция, высокая износостойкость — в 50-100 раз; лучшая кромкостойкость;
- лучшее качество получаемой поверхности; возможность правки.

По сравнению с инструментом фирмы "Sinter":

- высокая износостойкость в 5-20 раз; лучшая кромкостойкость; возможность изготовления любых форм и минимальных размеров; лучшая теплопроводность, одинаковая работоспособность по всему объёму, возможность работы в ряде случаев без охлаждения.

На основе теоретических и экспериментальных исследований с целью расширения технологических возможностей процесса алмазного шлифования деталей из неметаллических материалов созданы оригинальные конструкции (рис. 3) специального алмазного инструмента "МонАлит":

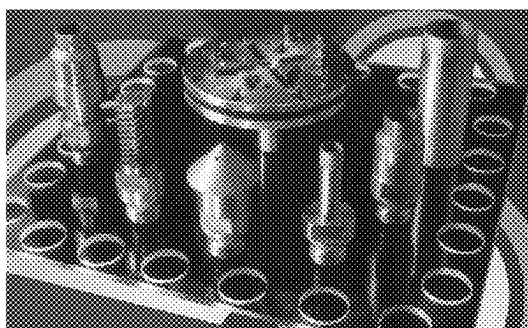


Рисунок 3.
Новые конструкции алмазных
инструментов "МонАлит"

- алмазные фрезы с винтовыми режущими элементами для чистовой обработки, резьбошлифовальные головки;
- подковообразные сверла диаметром 1,5-5,0 мм, позволяющие исключить условие контакта с нулевой скоростью и заклинивание керна;
- тонкостенные кольцевые сверла диаметром от 1,3 мм до 70 мм с шириной режущей кромки 0,6 - 1,0 мм, обеспечивающие повышение производительности в 1,5-3 раза.
- профильные круги и головки для станков с ЧПУ, обеспечивающие высокую кромкостойкость.

Инструменты "МоналиТ" используются более чем на 250 предприятиях России, Белоруссии, Украины, Казахстана, Прибалтики и Чехии, в том числе на: ЗАО "Мосавтостекло" (г. Москва), ООО "Акма" (г. С.-Петербург), НПО "Ленинец" (г. С.-Петербург), , ЗАО "Инпрус" (г. Дубна), ООО "Стеклофорум" (г. Н. Новгород), ЗАО "Борское стекло" (г. С.-Петербург), ОАО "Хрустальный завод" (г. Гусь Хрустальный), ЗАО "Сибирская стекольная компания" (г. Новосибирск), ЗАО "Саратовстекло" (г. Саратов) , ЗАО "Салаватстекло" и др.

Ведется внедрение инструмента "МонАлиТ" на машиностроительных предприятиях, таких как РКК "Энергия" г. Королев, "Салют" г. Москва, "ПМЗ" г. Пермь, "Завод им. В.В. Чернышева" г. Москва, "ЛЕМЗ" г. Москва По сравнению с традиционными инструментами (включая немецкие) достигнуто повышение производительности шлифования жаропрочных и быстрорежущих сталей, твердых сплавов в отдельных случаях в 6 раз, а экономической эффективности в 25-30 раз.

В настоящее время [2] инструменты "МонАлиТ" поставляются на многие заводы "Фотоники", в частности на "Полюс" г. Москва,, "РПЗ" г. Раменское, "ЛЗОС" г. Лыкарино, "Электроприбор" г. Тамбов, "Темп-Авиа" г. Арзамас и др. При этом достигается повышение производительности обработки в 2-3 раза, повышение стойкости по сравнению с гальваническим инструментом в 10-25 раз, улучшается качество обрабатываемой поверхности, улучшаются электрические параметры опто-электронных приборов: добротность, прецизионность, стабильность во времени.

Список литературы:

1. Патент на изобретение РФ №2319601 "Абразивный инструмент повышенной концентрации зёрен" от 20 марта 2008 г.
2. Балыков А.В., Сухонос С.И. О роли и возможностях инструментов из сверхтвёрдых материалов при обработке деталей радиоэлектроники. Вестник Концерна ПВО "Алмаз-Антей", № 1, 2012, с. 12-30.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОСВЯЗИ КОЛИЧЕСТВА РЕЖУЩИХ КРОМОК И УГЛА ИХ ЗАОСТРЕНИЯ С АБРАЗИВНОЙ СПОСОБНОСТЬЮ АЛМАЗНЫХ МИКРОПОРОШКОВ

ПЕТАСЮК Г.А., ШАМРАЕВА В.С., ПЕТАСЮК О.У.

Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины, г. Киев, Украина

E-mail: petasyuk@ukr.net

Углы заострения режущих кромок зерен порошков сверхтвердых материалов (СТМ) и других абразивных порошков являются одним из основных факторов, предопределяющих их абразивную способность. Информация о режущих кромках зерен очень важна для эффективного и прогнозируемого использования порошков СТМ как абразивного материала. Обычно определение углов заострения режущих кромок осуществляется путем ручной зарисовки контура проекции совокупности зерен на часовом проекторе с последующим использованием для таких же ручных измерений углов специальных шаблонов [1]. Но особого развития такие исследования не получили, поскольку процедуры получения конечного результата были очень трудоемкими.

В ИСМ им В. Н. Бакуля НАН Украины разработан оригинальный метод экспериментально-аналитического определения среднего значения угла заострения (ϕ) и количества (n) режущих кромок абразивных порошков. Согласно этому методу n и ϕ находятся из полученной нами система уравнений:

$$f - \frac{n \cdot R_{\text{ш}}^2 \cdot \text{tg}(\pi / n)}{\pi [R_{\text{ш}} - \text{tg}(\pi / n) \cdot \sqrt{R_{\text{ш}}^2 - 1}]} = 0 \quad \Phi = \frac{\pi(n-2)}{2n} - \arccos(R_{\text{ш}}^{-1}) \quad (1)$$

Исходными данными для решения такой задачи служит форм-фактор f и шероховатость $R_{\text{ш}}$ зерен абразивного порошка, а n и ϕ - неизвестными уравнений. Форм-фактор характеризует степень округлости проекции зерна, шероховатость $R_{\text{ш}}$ - степень развитости его поверхности [2]. Более подробно методика определения n и ϕ из системы уравнений (1) изложена в работе [3].

Испытания на абразивную способность проводились по методике стандарта [4]. Испытывались микропорошки синтетического и природного алмаза марок АСМ и АМ зернистостей 60/40, 40/28, 28/20 и 20/14 в количестве 17 образцов. Предварительно производилась диагностика морфометрических характеристик анализируемых микропорошков на приборе «DiaInspect.OSM» [5] с последующим расчетным определением n и ϕ . Также расчетным путем по разработанным в ИМС им В. Н. Бакуля НАН Украины методикам определялись внешняя удельная поверхность и число зерен в одном карате микропорошка. Стратегия исследования состояла в том, чтобы учесть влияние на абразивную способность по возможности большего количества характеристик порошка, не увеличивая при этом числа независимых переменных в описывающих эту взаимосвязь эмпирических аналитических зависимостях. По этой причине в качестве независимых переменных (x_1, x_2, x_3, x_4) принимались безразмерные комплексы, составленные из произведения отдельных характеристик и (или) их отношений: $x_1 = d_{\text{э}} \rho_{\text{уд}}$, $x_2 = \rho_{\text{ш}} F_{\text{уд}} / (A N)$, $x_3 = \phi / (E n^2)$, $x_4 = E$. Здесь $d_{\text{э}}$ - эквивалентный диаметр

зерен (мкм), $\rho_{уд}$ - удельный периметр (1/мкм), P_n - усилия прижима при испытании порошка (г), $F_{уд}$ - внешняя удельная поверхность порошка (мкм²/г), N - число зерен в одном карате (шт.), E - показатель эллиптичности зерен (безразмерная величина), A_i - площадь проекции зерен (мкм²). Смысл этих и других характеристик, диагностируемых прибором DialInspect. OSM, более полно изложен в работе [2].

Математическая обработка совокупности данных расчетного определения показателей введенных таким образом независимых переменных и соответствующих им экспериментальных значений абразивной способности показала, что их взаимосвязь наилучшим образом аппроксимируется зависимостью

$$A = [0,3669 - 0,0019x_1^2 - 9,485x_2^3 - 0,0093x_3^3 - 0,0787x_4]^{-1} \quad (2)$$

Зависимость (2) получена с использованием компьютерно-программной системы многовариантного построения и анализа эмпирических математических моделей LrArгох [6]. Было проанализировано более 1000000 эмпирических математических зависимостей. Средняя относительная погрешность полученной аппроксимирующей зависимости (2) составляет 1,25%, максимальная - 3,70%.

Таким образом, в настоящей работе изучено влияние параметров режущих кромок зерен и других эксплуатационных характеристик алмазных микропорошков на их абразивную способность, установлена в аналитическом виде взаимосвязь абразивной способности с показателями этих характеристик. Полученные результаты могут быть использованы при исследовании процессов алмазно-абразивной обработки, а также при выработке требований к качеству используемых для этого алмазных порошков.

Список литературы:

1. Порошки и пасты из синтетических алмазов / Ю. И. Никитин, С. М. Уман, Л. В. Коберниченко и др. - Киев: Наук. думка, 1992. - 284 с.
2. Петасюк Г. А. Діагностика морфометричних характеристик порошків надтвердих матеріалів засобами цифрової обробки зображень // Відбір і обробка інформації. - 2009. - Вип. 30 (106). - С. 138-145.
3. Петасюк Г. А. Экспериментально-аналитический метод определения среднего значения углов заострения режущих кромок зерен абразивных порошков // Інструментальний світ. - 2010. - №2(46). - С. 37-40.
4. ДСТУ 3292-95. Порошки алмазні синтетичні. Загальні технічні умови. - Введ. 01.01.1996. - Київ: Держстандарт України, 1995. - 71 с.
5. List E., Frenzel J., Vollstaedt H. A new system for single particle strength testing of grinding powders // Industrial Diamond Review. - 2006. - № 1. - P. 42-47.
6. Петасюк Г.А., Петасюк О.У. Компьютерно-программная система многовариантного построения и анализа эмпирических математических моделей LrArгох для применения в научно-прикладных задачах материаловедения // Порошковая металлургия. Республиканский межведомственный сборник научных трудов. - Минск. - 2008. - Вып. 31. - С. 58-63.

ПРОСТОЙ И ЭФФЕКТИВНЫЙ МЕТОД РАСЧЕТА КОРРЕКЦИИ ФОРМЫ МАЛОРАЗМЕРНЫМ ИНСТРУМЕНТОМ

МИХАЙЛОВ В.В., ЧЕКАЛЬ В.Н., ЧУДАКОВ Ю.И., ЧУХНИН А.Я.

ОАО «НИИ ОЭП», г. Сосновый Бор, Ленинградская область

E-mail: shevtsov@niiki.ru

Идея использования управляемого ЧПУ субапертурного или малоразмерного инструмента для исправления формы оптической поверхности ведет свою историю с 60-х годов прошлого века. За прошедшие годы различными коллективами были разработаны несколько поколений систем автоматизированного формообразования, успешно применяемые для высокоэффективного производства особо сложных и высокоточных оптических элементов.

Каждая подобная система имеет свои особенности, связанные не только с выбором физического принципа формообразования и кинематики станка, но и с методикой расчета управляющего параметра. Поскольку задача расчета управляющего воздействия для устранения произвольной ошибки не имеет непосредственного аналитического решения, выбор оптимальной методики расчета играет большую роль в достижении максимальной точности и скорости сходимости процесса формообразования.

Некоторые существующие системы используют в качестве управляющего параметра время пребывания инструмента в каждом из узлов рабочей сетки. Расчет времени пребывания производится с использованием оптимизационной процедуры. Выбор траектории при этом производится таким образом, чтобы пройти каждый узел с ненулевым временем пребывания, обеспечив нахождение инструмента в нем в течение рассчитанного времени.

Другие системы, в том числе и система, описываемая здесь, используют упорядоченные траектории типа спирали Архимеда, концентрических дуг, меандра, или других равноотстоящих линий. Хотя принцип воздействия остается при этом неизменным, но становится удобнее перейти от модели со "статическим профилем съема", т.е. отпечатком, оставляемым на поверхности пребывающим одной точке вращающимся и/или осциллирующим инструментом к модели с "динамическим профилем съема", т.е. сечением канавки, оставленной инструментом, перемещающимся с некоторой скоростью. При этом вместо времени пребывания удобнее рассчитывать скорость перемещения по траектории (или величину, обратную скорости). В этом случае важным параметром, влияющим на результат обработки, становится расстояние между указанными траекториями. Выбор этого параметра видится как компромисс между качеством и временной эффективностью цикла обработки, так как сокращение расстояния уменьшает остаточную волнистость, но увеличивает время "холостого пробега". В то же время, вычислительные эксперименты показали, что выбор расстояния между зонами лучше производить из некоторого ряда оптимальных значений, дающими локальные минимумы остаточной волнистости.

Выбрав форму траекторий и расстояние между траекторными линиями (зонами) следует разбить зоны на участки и рассчитать скорости на каждом участке каждой

зоны. Если использовать разбиение сечениями, проходящими перпендикулярно зонам, то становится возможным применить описываемый далее простой метод расчета. В этом случае расчет требуемых для устранения ошибки амплитуд производится последовательно по сечениям по формуле:

$$R_{ij} = E_{ij} / K,$$

где,

R_{ij} - амплитуда динамического профиля в сечении i зоны j ,

E_{ij} - исходная ошибка поверхности в сечении i зоны j ,

K - предварительно рассчитанный "коэффициент усиления", зависящий от формы профиля съема и расстояния между зонами.

Для улучшения результата работы алгоритма вместо мгновенных значений E_{ij} лучше использовать значения ошибки, средневзвешенные по смежным зонам с весовой функцией, повторяющей динамический профиль.

Соответствующие амплитудам съема скорости перемещения инструмента для каждой из зон рассчитываются по формуле:

$$V_{jj} = TK_{dm} / (R_{ij} + R_{min}),$$

где,

TK_{dm} - динамический коэффициент съема,

$R_{min} = TK_{dm} / V_{max}$ - амплитуда съема при движении с максимальной скоростью.

Далее производятся моделирование результата обработки и расчет корректирующих значений амплитуд профиля съема, которые добавляются к полученным на первом шаге итерации значениям. Процедура повторяется до тех пор, пока наблюдается сокращение моделируемой остаточной ошибки.

Преимуществом данного метода является высокая скорость расчета (единицы секунд для сетки в десятки тысяч точек на обычном современном персональном компьютере) при хорошем качестве работы. Как показала многолетняя практика применения метода, расчетное сокращение остаточной ошибки (за исключением высокочастотной волнистости и краевых эффектов) ограничивается только наличием в ее пространственном спектре частот выше "частоты среза" профиля съема.

ОЦЕНКА НЕОДНОРОДНОСТИ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ АЛЮМИНИЕВЫХ ЗЕРКАЛ ПОСЛЕ АЛМАЗНОГО МИКРОТОЧЕНИЯ С МЕТОДОМ ВИХРЕВЫХ ТОКОВ

НАЙДЕНКО А.Г., ДЕВИН Л.Н., ОСАДЧИЙ А.А.

Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины, г. Киев, Украина

E-mail: ldevin@ism.kiev.ua

Металлические зеркала широко используют в системах транспортировки и фокусировки излучения лазерных технологических установок, предназначенных для резки, сварки, закалки и в других технологических процессах. Алмазное микроточение является видом финишной обработки изделий, который позволяет получить качественные зеркальные поверхности с коэффициентом отражения от 0,97 и выше при гарантированной высокой точности и повторяемости формы изделия. Однако, помимо обеспечения требуемой шероховатости поверхности с высоким коэффициентом зеркального отражения при изготовлении металлических зеркал нужно достичь как можно большего порога разрушения оптической поверхности под действием лазерного излучения для получения максимального ресурса этого зеркала [1], который непосредственно связан с уровнем неоднородности поверхностного слоя.

Целью данного исследования является изучение влияния режимов микроточения алюминиевых зеркал на неоднородность напряженно-деформированного состояния поверхностного слоя, которую определяли неразрушающим методом вихревых токов.

Для этого была разработана методика контроля состояния поверхностного слоя алюминиевых зеркал после алмазного микроточения (архивный номер М 26.8 - 302:2011). В качестве образцов для исследования использовали типовые плоские зеркала, распространенные в установках для лазерной резки. Было изготовлено четыре образца из алюминиевого сплава Б95, которые имели пазы для зажима в планшайбе и технологическое отверстие в центре. Разработанная методика может быть использована для контроля зеркал из алюминиевых сплавов других марок, например АМГЗ, АМГ5 и Д16Т. Образцы были проточены по торцу на станке алмазного микроточения МО 1045 резцом из монокристалла алмаза каждый с различной глубиной резания, мкм - 3, 5, 7 и 9 (типичные глубины резания при точении металлических зеркал). Число оборотов шпинделя станка было постоянным - 300 об / мин. Соответственно изменялась скорость точения от периферии к центру образца.

Контроль поверхности алюминиевых зеркал осуществляли с помощью вихретокового портативного дефектоскопа ВД 3-71 НК-IVУ с вихретоковым преобразователем (ВТП) ПН-05-МДФ01. Дефектоскоп имеет диапазон рабочих частот от 500 Гц до 6 МГц и позволяет осуществлять выборку с частотой до 3 кГц, регулировать напряжение сигнала возбуждения ВТП от 0,5 до 8,0 В и изменять коэффициент усиления от 0 до 40 дБ с шагом 1 и 10 дБ.

Работа дефектоскопа основана на использовании эффекта возбуждения вихревых токов в металле, которые возникают под действием возбуждающего электромагнитного поля [2]. Последнее формируется ВТП, на который от генератора попадает напряжение возбуждения. Вихревые токи, протекая в металле, формируют вторичное электромагнит-

ное поле. Поле, сложившееся в результате объединения возбуждающего и вторичного электромагнитных полей, возбуждает в ВТП электродвижущую силу. При наличии в поверхностном слое образца неоднородности свойств, линии вихревых токов искажаются, изменяя тем самым вторичное электромагнитное поле. Как следствие, меняется и результирующее электромагнитное поле, что приводит к изменению напряжения на выходе ВТП, которое отображалось на экране дефектоскопа и сохранялось в память.

Предварительные исследования чувствительности дефектоскопа на четырех образцах с различной степенью неоднородности материала по глубине за счет изменения режимов резания показали, что более чувствительной к неоднородности свойств поверхности оказалась частота 2000 кГц [3]. На этой оптимальной частоте и проводили все измерения.

Анализ результатов показал, что метод вихревых токов чувствителен к состоянию поверхности алюминиевых зеркал, полученных при различных скоростях и глубинах резания резцом с монокристаллом алмаза, что делает его эффективным неразрушающим методом контроля процесса алмазного микроточения. Установлено, что с увеличением глубины резания от 3 до 9 мкм уровень неоднородности напряженно-деформированного поверхностного слоя уменьшался. Низкие его значения и наиболее равномерное их распределение по поверхности зеркала наблюдали при глубине резания 7 мкм. Однако однозначной зависимости влияния скорости резания на характер изменения уровня неоднородности поверхностного слоя пока установить не удалось.

Таким образом, можно утверждать, что для достижения максимального ресурса лазерного зеркала из алюминиевого сплава Б95, его рабочую поверхность следует обрабатывать методом алмазного микроточения с глубиной резания 7 мкм, а метод вихревых токов перспективен для контроля качества поверхности алюминиевых изделий после алмазного микроточения.

Список литературы:

1. Грубый С. В. Моделирование процесса алмазного точения крупногабаритных поверхностей зеркал [Электронный ресурс] / С. В. Грубый // Наука и образование. - 2011. - №10. - Режим доступа к журн.: <http://technomag.edu.ru/pdf/out/243000.pdf>.
2. Учанин В. Н. Обнаружение скрытых коррозионных повреждений авиационных конструкций вихретоковым методом / В. Н. Учанин, В. Н. Цирг // Физ.-хим. механика материалов. - 1990. - №4. - С. 103-104.
3. Применение токовихревой дефектоскопии для оценки состояния поверхности после алмазного микроточения металлических зеркал / Л. Н. Девин, А. Г. Сулима, А. А. Осадчий, В. Н. Нечипоренко // Современные проблемы производства и ремонта в промышленности и на транспорте: материалы 11-го междунар. научн.-техн. семинара, 21-25 февраля 2011 г., г. Свалява. - К. : АТМ Украины, 2011. - С. 82-84.

КАЧЕСТВО ДОВОДКИ ПЛОСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ВЫСОКОПЛОТНОЙ КЕРАМИКИ

ЛЯПУСОВ С.Г., КУЗИН В.В.

ОАО «Красногорский завод им. С.А. Зверева»

Московский государственный технологический университет «Станкин», г. Москва

E-mail: bogdan_senik@mail.ru

Возрастающие требования к надежности машин и приборов определяют необходимость постоянного совершенствования финишных методов обработки, обеспечивающих выполнение качественных параметров деталей. Одним из распространенных методом формообразования плоских поверхностей прецизионных деталей является их доводка. На основе всестороннего изучения этого процесса разработаны научно обоснованные рекомендации по технологическому обеспечению качеству доводки металлических деталей [1]. Однако при доводке деталей из высокоплотной керамики эти рекомендации не всегда обеспечивают получение требуемого качества, так как не учитывают специфику отдельных связей в системе "деталь - алмазный слой - доводочный диск" [2]. В результате остаются нерешенными вопросы, которые связаны с высокой твердостью и неоднородной структурой керамики [3].

Отмеченные обстоятельства определили цель настоящей работы, которая состояла в повышении качества доводки плоских поверхностей деталей из высокоплотной керамики.

Для достижения поставленной цели использовали следующую методику исследования. Керамические образцы размером $12 \times 12 \times 4$ мм, предварительно прошлифованные на плоскошлифовальном станке мод. 3Г71, доводили на модернизированном станке "Нерис" с применением алмазных паст АСМ разной зернистости. Перемещение образцов по сложной траектории по доводочному диску обеспечило разработанное устройство механического типа, с помощью которого также изменяли рабочее давление. В каждой серии экспериментов доводили 15 образцов, причем с каждой их поверхности снимали припуск 50 мкм. Рабочую жидкость (керосин) подавали в зону обработки в объеме 15 г/мин. Использовали образцы из керамических материалов следующих систем: $\text{Si}_3\text{N}_4\text{-Y}_2\text{O}_3\text{-Al}_2\text{O}_3$, $\text{Si}_3\text{N}_4\text{-Y}_2\text{O}_3\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-TiC}$ и $\text{Si}_3\text{N}_4\text{-Y}_2\text{O}_3\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-SiC}$, имевшие после спекания прочность на изгиб $\sigma_{\text{изг}} = 750$ МПа, $\sigma_{\text{изг}} = 790$ МПа и $\sigma_{\text{изг}} = 880$ МПа соответственно. Шероховатость поверхностей измеряли на профилографе мод. 202 "Калибр". Морфологию поверхностного слоя образцов исследовали методами оптической и электронно-сканирующей микроскопии.

Установлено, что рельеф поверхностей образцов из нитридной керамики после шлифования характеризуется многочисленными выступами, канавками, трещинами и локальными разрушениями. После доводки морфология этих поверхностей изменяется существенным образом. Формируется достаточно стабильная поверхность с минимальным числом трещин и локальных разрушений. В качестве примера, на рисунке приведены зависимости, характеризующие влияние режимов доводки керамических образцов разного состава на параметр R_a шероховатости обработанных поверхностей. Видно, что с увели-

чением давления на образцы при доводке повышается параметр R_a шероховатости на всех образцах, что связано с увеличением числа алмазных зерен, которые находятся в состоянии ограниченной подвижности между образцом и притиром. Снижение зернистости алмазной пасты при доводке уменьшает параметр R_a шероховатости поверхности заготовок из РКС22. В отдельных случаях зафиксировано повышение прочности образцов по сравнению с их прочностью после спекания.

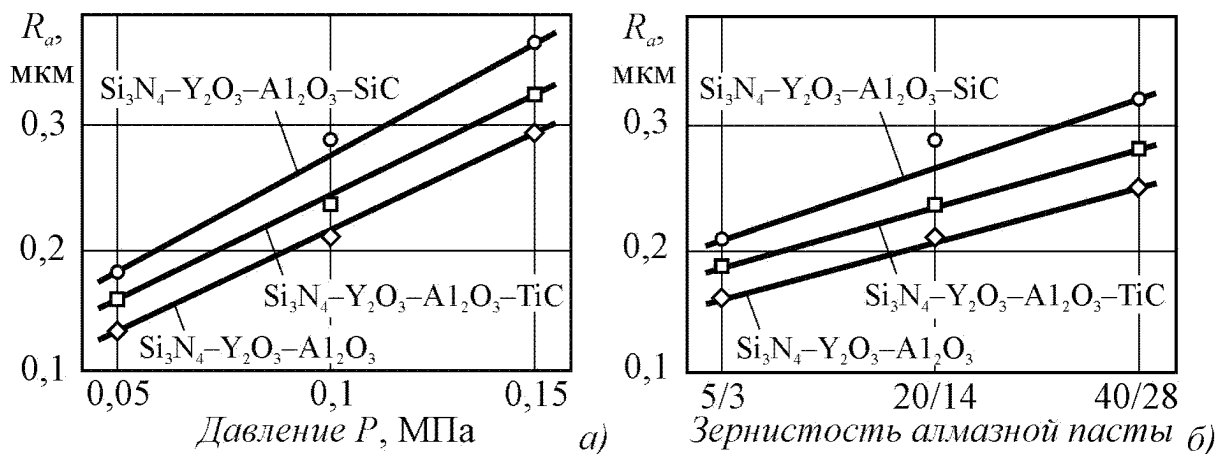


Рисунок 1.

Влияние давления (а) при доводке пастой АСМ 20/14 и зернистости алмазной пасты (б) при давлении $P = 0,1$ МПа на параметр R_a шероховатости поверхности керамических образцов ($n = 100$ об/мин)

Повышение производительности процесса доводки при одновременном обеспечении качества поверхности керамических образцов обеспечивает стадийное изменение давление по следующей схеме: постепенное увеличение давления от 0 до P_{max} , рабочий цикл при P_{max} , постепенное уменьшение давления от P_{max} до $P_{вых}$ и выхаживание при $P_{вых}$. Этот режим обеспечивает эффективный съем дефектного слоя, образовавшегося при шлифовании, и выполнение заданных параметров доводки. Равномерное изнашивание притира достигнуто за счет выбора рациональной траектории перемещения керамических заготовок по его рабочей поверхности.

Список литературы:

1. Доводка прецизионных деталей машин / П. Н. Орлов, А. А. Савелова и др. Под ред. Г.М. Ипполитова. М.: Машиностроение. 1978. 256 с.
2. Повышение эксплуатационных характеристик изделий из керамических материалов методами механической и термической обработки. / Старков В.К., Кузин В.В., Попов В.Ф. и др. (Машиностроительные производства. Сер. Прогрессивные технологические процессы в машиностроении: Обзорная информация) М., ВНИИТЭМР. 1989. вып. 4.
3. Кузин В.В. Технологические особенности алмазного шлифования деталей из нитридной керамики / Вестник машиностроения. 2004. № 1. С. 37 - 41.

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ АЛМАЗНОГО ТОЧЕНИЯ

ЛЯПУСОВ С.Г.

ОАО "Красногорский завод им. С.А. Зверева"

E-mail: bogdan_senik@mail.ru

Изготовление современных наукоемких оптико электронных приборов и комплексов характеризуется широкой автоматизацией технологических процессов обработки входящих в них частей и деталей, использованием новых высокопрочных, износостойких и температуростойких сплавов и материалов с минимально возможными припусками для механической обработки, обеспечением высококачественной обработки поверхности деталей.

Как технология, алмазное точение является прогрессивным методом обработки, используемое при изготовлении деталей, в том числе для оптикоэлектронных изделий. В зависимости от требований предъявляемых к деталям, в алмазном точении можно выделить два направления:

1. Обработка деталей без оптических свойств.
2. Обработка деталей с оптическими свойствами.

Алмазное точения деталей без оптических свойств применяется для повышения производительности обработки при точении цветных материалов, пластмасс для повышения качества поверхности, при повышенных требованиях к внешнему виду. Для реализации обработки деталей такого класса требуются станки с биением шпинделя 0,0005мм, система ЧПУ обычная широко применяемая в механообрабатывающих станках, обычный алмазный инструмент. Процесс резания обработки в таких условиях достаточно изучен, существует много рекомендаций по режимам резания, по геометрии алмазного инструмента.

Так например при обработке на больших скоростях, малых подачах, малых глубинах резания рекомендуется применять резцы со следующей геометрией:

Таблица 1.

	γ	ϕ	ϕ_1	λ	г при вершине
Сплавы алюминия	3÷12	45÷90	0÷45	0	0,5÷1,0
Бабит, медь, латунь	0 ÷ 10	45÷90	0÷45	0÷7	0,5÷1,5

Рекомендуемые режимы резания.

Таблица 2.

	Алмазный инструмент		Твердосплавный инструмент	
	V м/мин	S мм/об	V м/мин	S мм/об
Сплавы алюминия	400 ÷ 1000	0,02 ÷ 0,08	200 ÷ 400	0,03 ÷ 0,08
Бабит, медь	400 ÷ 1000	0,02 ÷ 0,08	200 ÷ 400	0,03 ÷ 0,1
Бронзы	400 ÷ 1000	0,02 ÷ 0,08	200 ÷ 400	0,03 ÷ 0,1

Применение алмазных резцов при обработке алюминиевых и медных материалов и сплавов не только повышает производительность обработки по сравнению с твердосплавными резцами и режущей керамикой, но и повышает класс шероховатости обработанных поверхностей.

Алмазное точение деталей с заданными оптическими свойствами имеет свои особенности.

Предельные требования по макроотклонениям для поверхностей оптических элементов составляют $\lambda/5 \div \lambda/50$.

Отражающая способность металлооптической поверхности должна характеризоваться коэффициентом зеркального отражения до 0,99 и выше, коэффициентом поглощения менее 0,01, и следует учитывать, что диффузная составляющая отражения пропорциональна величине $(Rq/\lambda)^2$, где Rq - среднеквадратичная величина шероховатости.

Преимущества лезвийной обработки металлооптических поверхностей различных форм и типоразмеров по производительности и качеству в полном объеме могут быть реализованы только при использовании специальных станков с биением шпинделя в нанометровом диапазоне, при наличии высококачественного алмазного инструмента и при понимании процессов происходящих при обработке резанием алмазным инструментом.

В России в настоящий момент оборудованием для алмазного точения занимается несколько предприятий. Это ВНИИИНСТРУМЕНТ, ООО «Ресурс точности», ООО «Лаборатория Амфора», ЗАО «Микрос» и др.

За рубежом интересными являются станки компании «Moog Nanotech» и ряд других компаний, связанных с институтом Фраунгофера и другие.

Инструмент, используемый при обработке алмазным точением, стандартный. Он выпускается на российских заводах по выпуску алмазных инструментов. Однако практически каждое предприятие, занимающееся алмазным точением, имеет мощности по доводке алмазных резцов.

На ОАО «Красногорский завод им. С.А. Зверева» алмазное точение применяется как для изготовления деталей без оптических свойств, как на пример проточка деталей объективов для придания внешнего вида, так и для обработки деталей с оптическими свойствами. К этим деталям относятся формообразующие пуансоны прессформ для изготовления пластмассовых оптических элементов и другие детали.

СВЕРХПРЕЦИЗИОННЫЙ СТАНОК ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ОПТИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ С ГЛУБОКОЙ АСФЕРИКОЙ КООРДИНАТНЫМ АЛМАЗНЫМ ТОЧЕНИЕМ "АСФЕРИКА"

ОСИПОВ П.А., ИНДУКАЕВ К.В., ЛЯПУСОВ С.Г.

ООО Лаборатория «Амфора», г. Москва

ОАО «Красногорский завод им. С.А. Зверева»

E-mail: bogdan_senik@mail.ru

Станок предназначен для реализации принципиально нового подхода к производству глубоко асферических высокоточных оптических элементов. В концепцию станка заложены решения, которые опираются на продуктивную комбинацию высокой кинематической точности оригинальных узлов перемещения с их высокими силовыми и жесткими характеристиками, что обеспечивает нанометровый уровень точности формы изделий в реальных условиях производства и позволяет поднять производительность за счет использования высоких скоростей обработки.

В станке принята схема формирования прецизионной поверхности вращения прямым сферогенератором с введением асферизационной поправки по радиусу сферогенератора (система $R-\theta$). Смещение по углу θ - непрограммируемое, с физической стабилизацией. Сферогенератор снабжен прецизионным угловым датчиком, который выполняет роль синхронного задатчика для привода асферизатора. Такая схема в полной мере позволяет использовать точностной и силовой потенциал бесконтактных узлов перемещения, позволит использовать скорости вращения до 6 000 об./мин для изделий полного диаметра (до 150 мм).

Станок имеет архитектуру с двумя соосными встречными шпинделями, которые могут осуществлять установочные перемещения вдоль оси с прецизионной фиксацией в выбранном положении. Блок сферогенератора с асферизатором также обладает возможностью координированного установочного перемещения вдоль оси.

Кинематика станка позволяет при заложенной в проект глубине асферизации в 5 мм обеспечить радиусы кривизны любой из поверхностей любого знака в пределах от 100 мм до ∞ , для полного диаметра. Детали меньшего диаметра могут иметь меньшие радиусы кривизны.

Заготовка двусторонней детали при обработке первой поверхности устанавливается на вакуумной планшайбе или на технологическом спутнике, на котором она блокируется вне станка сплавом Вуда. После обработки первой поверхности на втором шпинделе протачивается по уравнению зеркальному к уравнению первой обработанной поверхности детали, вакуумный ложемент (далее - комплиментарный ложемент), на который за счет встречного перемещения шпинделей "пересаживается" полуобработанная заготовка. Такая технология позволяет обеспечить соосность двух обработанных поверхностей в пределах 50 - 100 нм. В станке предусмотрен активный контроль распределения температуры за

счет водяного охлаждения двигателей и поддержания стабильной температуры воздуха в боксе станка.

Станок оснащается оборудованием для метрологической аттестации готового изделия непосредственно на станке с использованием техники измерений с самокомпенсацией систематической ошибки его собственных узлов перемещения.

Параметр	Ед. изм.	Величина	Примечания
Назначение и материал изделия			
Двусторонние асферические линзы, сформированные поверхностями вращения			ИК оптика, приборная оптика
Асферические зеркала, сформированные поверхностями вращения			Лазерная техника
Внеосевые асферические зеркала			Технологические лазеры
Материал изделий: германий, кремний, твердые полимеры, сплавы металлов (алюминий, медь, никель)			
Геометрия изделия			
Максимальный диаметр изделия	мм	150	
Максимальная толщина изделия	мм	80	
Максимальный поперечный размер изделия	мм	70	для внеосевых асферических зеркал
Диапазон радиусов ближайшей сферы (вогнутая поверхность)	мм	100 - ∞	
Диапазон радиусов ближайшей сферы (выпуклая поверхность)	мм	100 - ∞	
Отклонение поверхности от ближайшей сферы (глубина асферизации)	мм	5	В обе стороны от ближайшей сферы на любом участке
Точность формы оптических поверхностей	нм	+/- (10 - 25)	Финишная обработка зависит от размера, формы и материала
Точность по толщине изделия	нм	<100	
Точность взаимной центровки оптических поверхностей	нм	<100	Определяется точностью схемы двухшпиндельной обработки заготовки при перестановке полуобработанной детали со шпинделя на шпиндель

Параметр	Ед. изм.	Величина	Примечания
Качество поверхности			
Шероховатость на материалах обрабатываемых методом алмазного точения Ra Rz	нм	0,5 2,5	Финишная обработка на мягких пластичных материалах, бескислородная медь марки МОБ, золото, серебро, алюминий и его сплавы АМГ-6, АМГ-12
Крепление заготовки			
С технологическим спутником и/или с вакуумным ложементом			Для обработки 2-й поверхности только ложемент
Метрология на станке			
Измерение профиля оптической поверхности изделия: точность датчика касания дискрет	нм нм	+/- 10 0,5	Система управления обеспечивает отработку уравнения кривой по обе стороны от оси вращения изделия для фиксации двойного отклонения формы от номинала. Используется датчик касания по нормали к обработанной поверхности, тип датчика определяется при проектировании
Точность датчика угла привода сферогенератора	угл. сек.	0,4	Тип датчика ориентировочно Heidenhain RON-300
Точность настроечных фиксируемых перемещений	нм	100	Настройка радиусов ближайшей сферы и толщины изделия
Физические параметры			
Привод главного движения (шпиндельный узел): макс. скорость мощность	об/мин Вт	6 000 500	С плавной регулировкой скорости от 20 об/мин
Охлаждение двигателя водяное, комбинированное с термоэлектрическим	С°	0,5	Допустимое отклонение от температуры
Контроль среды			
Виброзащита: собственная частота пассивной защиты первой ступени	Гц	< 1	Апериодические пневмоопоры
Виброзащита: ослабление вибраций на второй ступени в диапазоне частот 20 – 1000Гц	dB	40	Активные опоры
Акустическая защита: ослабление фона	dB	30	Бокс с профилированными внутренними стенками из поглощающего материала
Термостабилизация метрологической зоны станка	С°	0,05	

СИСТЕМЫ ЧПУ "МИКРОС" ДЛЯ УЛЬТРАПРЕЦИЗИОННЫХ СТАНКОВ АЛМАЗНОЙ ОБРАБОТКИ

ГРИГОРЬЕВ В.И.

ЗАО «Микрос», г. Ногинск, Московская область

E-mail: grigoryev@mikros.ru

Ещё во 2-й половине 80-х гг. по заданию Правительства было создано УЧПУ "Прецизион-Т" для управления сверхточными токарными станками алмазного точения МК6521Ф3 разработки завода "Красный пролетарий" (для НПО "Астрофизика"), в котором, был реализован комплекс высокоточных алгоритмов планирования движения для асферического формообразования, а также, реализована обратная связь по положению от встроенных в станок лазерных интерферометров с дискретностью 10 нм.

В начале 2000-х гг. предприятием разработана серия УЧПУ "Микрос-12" с архитектурой промышленного компьютера и с 2003 г. серийно выпускаются модели этой серии для станков всех технологических групп - токарных, фрезерных (в т. ч., ОЦ), кругло- и плоскошлифовальных, электроэрозионных, ультрапрецизионных, которые имеют единую аппаратную базу и различаются программным обеспечением.

В УЧПУ "Микрос-12" используются новейшие вычислительные средства, обновляющиеся вместе с общим прогрессом вычислительной техники. Блочная конструкция УЧПУ "Микрос" даёт возможность расположить компактный пульт управления близко к зоне обработки, размещая его на кронштейне, ограждении или в отдельной стойке.

Программное обеспечение УЧПУ "Микрос-12" является полностью оригинальной разработкой ЗАО "Микрос". Оно построено на собственной операционной системе жёсткого реального времени МОС, являющейся надстройкой над MS DOS, надёжно и всесторонне обеспечивающей многозадачный режим работы с "жёсткой" синхронностью выполнения задач с частотой несколько тысяч герц. Базовое программное обеспечение УЧПУ "Микрос-12" вобрало в себя 30-летний опыт создания, производства, применения и сопровождения УЧПУ нескольких поколений. Оно нацелено на обеспечение полной функциональной достаточности для станков всех технологических групп, простоту подключения к станкам, лёгкость и удобство работы оператора, возможность управления прецизионными и ультрапрецизионными станками, полноценную компенсацию погрешностей механики станков и инструмента, облегчение диагностики возможных неисправностей и ошибок в работе.

Система ЧПУ "Микрос-12ТС2" предназначена для управления ультрапрецизионными станками алмазного точения, и позволяет обеспечивать обработку поверхностей произвольных тел вращения с субмикронной точностью.

Количество одновременно управляемых координат: 3 (X, Z, B) + шпиндель. Дискретность программирования перемещений: 1 нанометр по линейным осям X и Z, и $2 \cdot 10^{-5}$ град по круговой оси B.

Наряду с линейной и круговой интерполяцией, реализованы сплайн-интерполяция и полиномиальная интерполяция (до 20-го порядка). Дискретность задания на перемещение - 1 нм. Контурная точность планирования движения - 1 нм. Планирование движения осуществляется с плавным нарастанием и снижением ускорения, что обеспечивает быстрый и безударный разгон до высоких скоростей и такое же торможение.

Развитый макроязык даёт возможность существенно сократить время подготовки и объём управляющей программы. Математические операции, функции и операторы позволяют задавать выражения с локальными, глобальными и системными переменными в удобном "математическом" виде.

УЧПУ имеет постоянные технологические циклы, позволяющие упростить программирование многопроходной обработки, обработки типовых контуров и сократить длину программ.

Режим графической поддержки позволяет просматривать запрограммированное движение инструмента и проверять элементы его траектории без включения станка.

Ввод управляющих программ в УЧПУ возможен с помощью НГМД, USB, RS-232, Ethernet. Объём памяти управляющих программ: 160 ГБ. Объём оперативной памяти управляющих программ: 100 000 кадров. Для отработки сверхбольших управляющих программ обеспечивается автоматическая "подкачка" программ с жёсткого диска или по каналу RS-232 в процессе их выполнения.

Важная для достижения точности обработки компенсация погрешности инструмента может быть осуществлена двумя способами: 1) компенсация переменного по углу радиуса режущей кромки резца (при наличии таких данных) путем построения переменной по величине эквидистанты и 2) резание "одной точкой" резца с программированием контура в координатах X, Z и автоматическим движением оси В.

Компенсации погрешностей механики станка: 1) непараллельности оси шпинделя и оси Z, 2) неперпендикулярности направляющих осей X и Z, 3) измерительной системы.

УЧПУ "Микрос-12ТС2" управляет по цифровому интерфейсу по каналу RS-485 прецизионными приводами подач осей X, Z и В модели 8П16 ООО "Модем-техно" с линейными и поворотным синхронными двигателями. Такт управления приводами - 1-5 мс.

Автоматическая настройка контуров положения на приводы станка.

Автоматическое ведение протокола событий УЧПУ и станка.

На рис. 2 показаны экспериментальные данные по точности движения на станке МК6524ФЗ с УЧПУ "Микрос-12ТС2" и приводом подач 8П16, а именно, осциллограмма рассогласования - разницы между расчётным и фактическим положениями - при движении по оси X со скоростью подачи 50 мм/мин на участке установившейся скорости. По оси абсцисс - время перемещения в мс, по оси ординат - рассогласование в нм. Как видно, даже на скорости на порядок превышающей рабочую подачу, движение осуществляется с точностью 10-20 нанометров, т.е. 1-2 дискреты установленного на станке датчика перемещений.

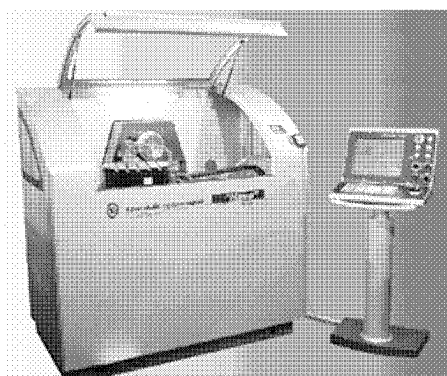


Рисунок 1. Система ЧПУ "Микрос-12ТС2"
на ультрапрецизионном токарном станке
МК6524ФЗ

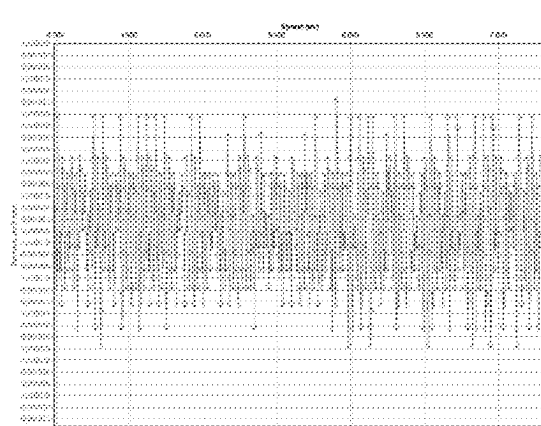


Рисунок 2.
Рассогласование по оси X
при движении на скорости 50 мм / мин.

МОДЕРНИЗАЦИЯ МЕХАНООБРАБАТЫВАЮЩЕГО ПРОИЗВОДСТВА - ОДНА ИЗ СОСТАВЛЯЮЩИХ РАЗВИТИЯ ОПТИЧЕСКОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ

МИХАЛЬКЕВИЧ А.А.

ОАО «Минский механический завод имени С.И.Вавилова –
управляющая компания холдинга «БелОМО», г. Минск, Республика Беларусь
E-mail: belomo@belomo.by

Минский механический завод имени С.И.Вавилова - головное предприятие Белорусского оптико-механического объединения, а ныне - ОАО "ММЗ имени С.И.Вавилова-управляющая компания холдинга "БелОМО" с момента выпуска первой продукции в 1957 году специализировался на производстве оптико-механических (позднее - и оптико-электронных) приборов специального назначения.

В этих изделиях, сочетающих оптику с элементами точной механики, помимо оптики, являющейся ключевым элементом, до 50% от общего количества составляли механические детали с высокими требованиями к точности обработки, требующие особых подходов к технологии их изготовления. По этой причине на предприятии вопросам механообработки уделялось не ослабевающее внимание. Даже при существовавших ограничениях с поставками в СССР оборудования ведущих мировых производителей, для предприятия приобреталось уникальное оборудование в Японии, ФРГ, Чехословакии и других странах.

Расширение номенклатуры выпускаемой продукции, основанное на новых научных открытиях и технологиях, развитие оптики соответственно резко повысили требования и к точностям изготовления механических деталей: точность исполнения размеров - 7-й - 8-й квалитеты, точность расположения поверхностей - 0,01 мм, угловое пространственное расположение $\pm 1'$, отклонение поверхностей от геометрической формы - 0,006 мм.

Для обеспечения изготовления деталей соответствующей точности была проведена поэтапная реконструкция механообрабатывающего комплекса предприятия с созданием современных производств по изготовлению деталей типа тел вращения и корпусных деталей, используемых в оптических и оптико-электронных приборах.

Приобретение токарно-револьверных станков с ЧПУ мод. PD/B-MC-V3 (SPINNER - Германия), мод. МСТС 400-52-МС производства ОАО "МЗОР" - управляющая компания холдинга "Белстанкоинструмент" на базе узлов SPINNER позволило решить вопрос по комплексной обработке корпусов объективов (включая нарезание окулярных резьб без последующей ручной доводки), оправ, колец оптических и оптико-электронных приборов. За счет наличия приводных инструментов на станках может производиться фрезерование, сверление, зенкерование, развертывание отверстий в радиальном направлении. Достижимая точность при изготовлении деталей - 6÷7 квалитет, отклонение формы и расположения геометрических элементов деталей 0,005÷0,01 мм.

Проведено доукомплектование парка токарного оборудования токарно-револьверными станками с ЧПУ мод. SL-10HE и мод. SL-20HE ("HAAS" - США). Последние позволяют изготавливать детали из пруткового материала в автоматическом цикле. Они

оснащены устройствами подачи прутков в зону обработки, управляемыми от системы ЧПУ, т.е. могут работать в режиме токарного автомата при изготовлении деталей небольших серий.

Проведена реконструкция и создано высокотехнологичное производство по обработке широкой номенклатуры корпусных деталей повышенной и высокой точности. Участок обрабатывающих центров производства укомплектован металлорежущим оборудованием нового поколения:

- универсально-фрезерный ОЦ мод. DMU-60P ("DECKEL-MAXO" - Германия) с 5-ю управляемыми осями;
- вертикально-фрезерные ОЦ мод. VF-2DHE и мод. VF-3DHE, оснащенные поворотными устройствами (4 управляемых оси), а также горизонтально-фрезерные ОЦ мод. ES-5-4AX ("HAAS" - США);
- вертикально-фрезерный ОЦ мод. U4-620 ф. "SPINNER" (Германия) с 4-мя управляемыми осями.

В начале 2013 года приобретены вертикально-фрезерные ОЦ мод. MCU5-620H и мод. MCU5-All Inclusive с 5-ю управляемыми осями производства ОАО "МЗОР"-управляющая компания холдинга "Белстанкоинструмент" на базе узлов "SPINNER".

Оборудование участка позволяет производить обработку базовых корпусных деталей оптических и оптико-электронных изделий специального назначения, комплексную обработку высокоточных корпусов излучателей коробчатой формы с каналами диаметром 5÷8 мм, деталей с объемно-пространственным расположением поверхностей, длинномерных каркасных деталей контрольно-юстировочных приборов.

Достижимая точность расположения обрабатываемых поверхностей на ОЦ - 0,01÷0,02 мм, нецилиндричность - 0,003 мм, неплоскостность - 0,005 мм.

Участок оснащен прогрессивным прецизионным режущим и вспомогательным инструментом фирм "GARANT" и "GUHRING" (Германия), "ISCAR" (Израиль), "MITSUBISHI" (Япония) и др. При обработке точных отверстий в деталях, изготавливаемых на участке, используется новый технологический процесс "винтового" фрезерования прецизионными монолитными твердосплавными фрезами, а также насадными фрезерными дорнами с механическим креплением неперетачиваемых твердосплавных пластин. Данный технологический процесс позволил заменить в большинстве случаев менее производительный метод растачивания отверстий расточными патронами.

Для сокращения времени на подготовку наладок инструментальных комплектов для ОЦ, а также для проведения подналадок в процессе изготовления производственных партий деталей участок оснащен оптической стационарной установкой для настройки инструмента вне станка мод. EZset 400, Германия, и настольным контактным прибором мод. СН 3900, Швейцария

На производстве функционирует участок координатных измерений, оснащенный координатно-измерительной машиной нового поколения мод. CONTURA-G2 ("Карл Цейсс" - Германия), с активной сканирующей измерительной головкой VAST XT и магазином измерительных щупов. Данная координатно-измерительная машина обеспечивает оперативные измерения как первых наладочных деталей, изготавливаемых на участке, так и текущие контрольные измерения всей партии деталей, что позволило значительно снизить количество единиц специального измерительного инструмента, получать фактические значения параметров и размеров детали, оперативно и своевременно вносить корректировки в процесс изготовления деталей.

На оборудовании высокотехнологичного производства обрабатывается более 170 наи-

менований корпусных деталей повышенной и высокой точности с общим количеством около 100 тыс. штук в год и серийностью от 5 деталей в месяц (единичное производство) до 2 тыс. деталей в месяц (серийное производство). Режим работы производства 3-х сменный.

Создание высокотехнологичного производства по обработке корпусных деталей повышенной точности обеспечило рост производительности труда в $2,5 \div 3$ раза, снижение потребления электроэнергии в $5 \div 6$ раз, повышение точности и качества изготовления деталей. Производство позволило создать и освоить широкую гамму современных оптических и оптико-электронных приборов, закрепиться на внешних рынках, обеспечить устойчивое финансово-экономическое положение предприятия.

АЛМАЗНЫЙ ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ И ПРИБОРОСТРОЕНИЯ

БАЛКАРОВ Т.С.

ОАО "Терекалмаз", г. Терек, Россия

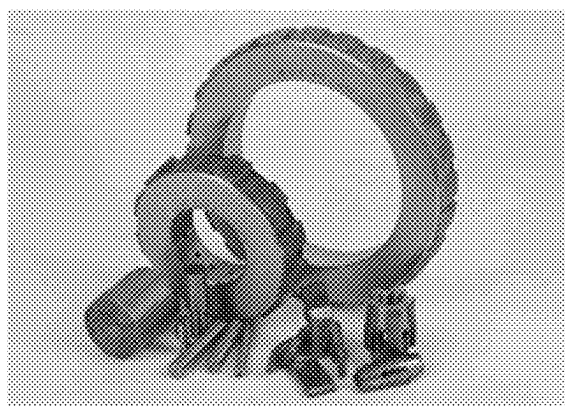
E-mail: bogdan_senik@mail.ru

ОАО "Терекалмаз" является крупнейшим предприятием в России по производству алмазного инструмента. Производственные мощности предприятия оснащены современным оборудованием позволяющим изготавливать и поставлять алмазный инструмент высокого качества, который соответствует отечественным и международным стандартам.

Предприятие выпускает такой инструмент, как: алмазные резцы, алмазные выглаживатели, алмазные карандаши, алмаз в оправе, алмазные иглы наконечники НК-1, для измерения твердости по методу Роквелла, алмазные гребенки, алмазные круги на вулканитовой и металлической связке, а также различные виды алмазного специнструмента по чертежам заказчика.

Одним из направлений деятельности предприятия, является производство правящего и шлифовального алмазного инструмента для машиностроения. Имея многолетний опыт в проектировании и изготовлении сложнопровильных алмазных роликов, ОАО "Терекалмаз", сегодня поставляет фасонные алмазные ролики, практически, на все ведущие машиностроительные предприятия России и СНГ. Нашими партнерами, являются автомобильные заводы, подшипниковые заводы, заводы по производству авиационных двигателей. В число наших заказчиков входят такие предприятия как Автоваз, Камаз, «Пермские моторы», «Салют» (г. Москва) и другие.

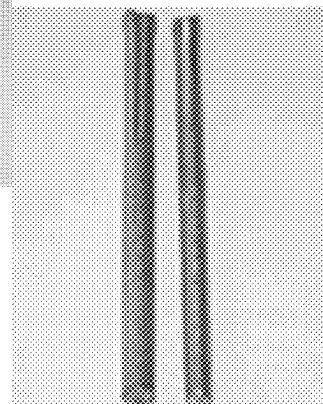
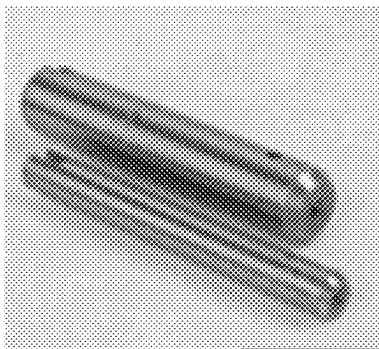
Активная модернизация Российского машиностроительного комплекса в последние годы, включение в технологический цикл шлифовальных станков нового поколения, в частности станков с ЧПУ, обладающих гибкой системой переналадки, потребова-



ли создания современного правящего инструмента для работы на этих станках. ОАО "Терекалмаз" разработало и освоило выпуск алмазных правящих роликов (дисков) с одним и двумя активными кромками, для правки на станках с ЧПУ. Сегодня предприятие выпускает алмазные диски необходимого размерного ряда, для правки на станках с ЧПУ.

ОАО "Терекалмаз" с каждым годом наращивает объемы производства, увеличивает номенклатуру выпускаемой продукции. При этом в целом ряде позиций выпускаемого алмазного инструмента используется алмазное синтетическое сырье собственного производства. В настоящее время производятся поликристаллические шлифпорошки АРС - 4, которые используются для изготовления бурового, правящего, камнеобрабатывающего инструментов. Налажены производство поликристаллических алмазов специальных форм, таких как цилиндры СВПК и СВБ. Завод располагает возможностями для производства широкой гаммы искусственных монокристаллических алмазов от низкопрочных типа АС-4, АС-6, до высокопрочных АС-65, АС-100.

Главной целью ОАО "Терекалмаз", основанного в 1961 году, является выпуск высококачественного алмазного инструмента. Принята и поэтапно реализуется программа по дальнейшей модернизации технологического оборудования и совершенствования технологии производства. Завод обладает технологическими возможностями по изготовлению сложнопрофильных правящих алмазных роликов с точностью профиля в 1 мкм. Предприятие постоянно работает над расширением номенклатуры выпускаемых инструментов и поиском потребителей качественного алмазного инструмента.



МЕТРОЛОГИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ И ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ОСОБОТОЧНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ И ПАРАМЕТРОВ УЛЬТРАПРЕЦИЗИОННЫХ ДЕТАЛЕЙ

СКВОРЦОВА М.А.

ООО "Ресурс точности", г. Москва

E-mail: skvmary@gmail.com

1. Задачи по контролю ультрапрецизионных поверхностей:

1.1. Шероховатость.

Корректная оценка шероховатости до, после и во время обработки позволит повысить эксплуатационные характеристики выпускаемой продукции.

Для ультрапрецизионных поверхностей предъявляются высокие требования по данному параметру (R_a 1-2 нм).

1.2. Отражающая способность.

Исследуется возможность применения новых бесконтактных методов измерения качества поверхности, в том числе с использованием прибора ОС 500 с использованием метода рассеянного света по параметру A_q .

1.3. Точность формы.

Другим важным критерием оценки является точность формы, т. е. степень соответствия отдельных поверхностей детали тем геометрическим телам, с которыми они отождествляются.

Предъявляемые требования к УП деталям по точности формы для металлооптики 0,1 мкм на $\varnothing 100$, для асферических деталей 0,5 мкм на $\varnothing 100$, для сверхтвердых материалов 0,2 мкм на длине 200 мм.

1.4. Анализ структуры поверхности.

Анализ выявляет дефекты материала и обработки.

2. Метрология ультрапрецизионных деталей.

Так как требования предъявляемые к таким деталям высоки, то и к оборудованию предъявляются соответственно высокие. Существуют встроенные и стационарные методы контроля.

2.1. Встроенные в основном используются на этапе наладки станка, для сферических и асферических деталей. Это важно, потому что мы исключаем погрешности базирования детали, при каждом ее снятии для контроля, так же сокращается время на лишнии операции (снятие, отлеживание детали и стационарный контроль после каждой операции). Это особенно важно при серийном производстве.

2.2. Стационарные методы чаще используются на конечном этапе производства с последующей выдачей протоколов измерений и для калибровки встроенных систем измерения.

3. Контроль параметров ультрапрецизионных узлов и станков

3.1. Контроль прецизионных деталей.

Контроль проводится на универсальных средствах измерения.

3.2. Контроль точностных параметров ультрапрецизионного оборудования.

Ультрапрецизионные узлы машин контролируются на:

- КИМ, кругломеры
- так же непосредственно на ультрапрецизионных станках.

4. Примеры контроля особоточных поверхностей.

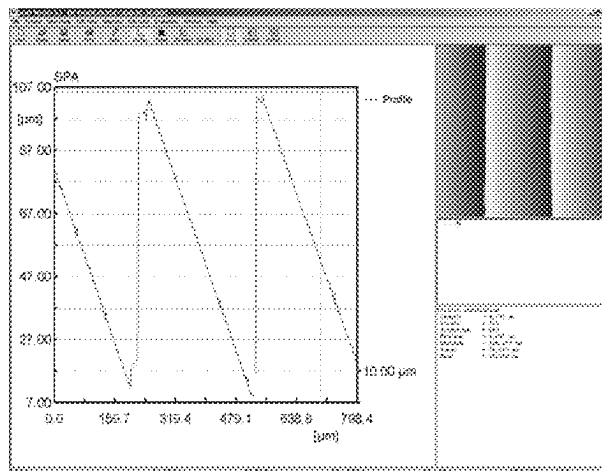
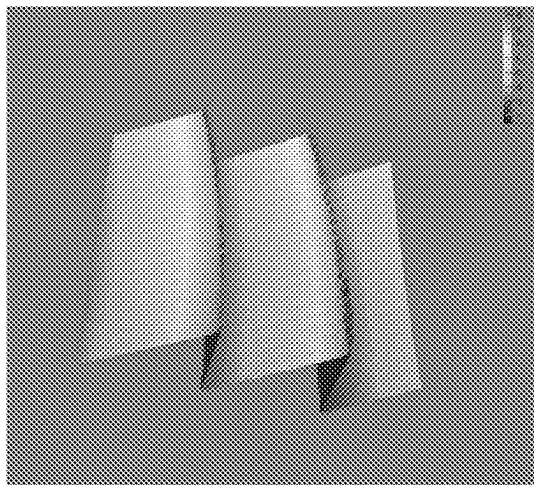


Рисунок 1. Результаты измерений матрицы линзы Френеля

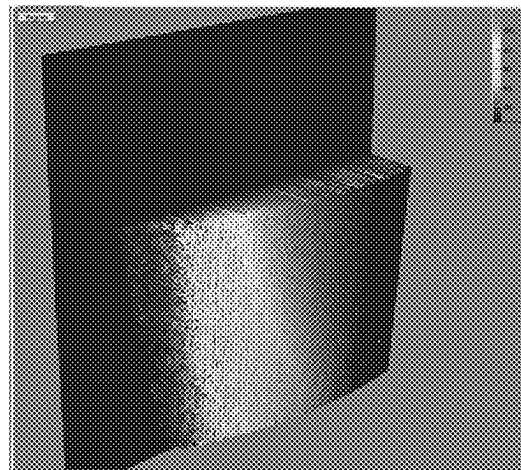
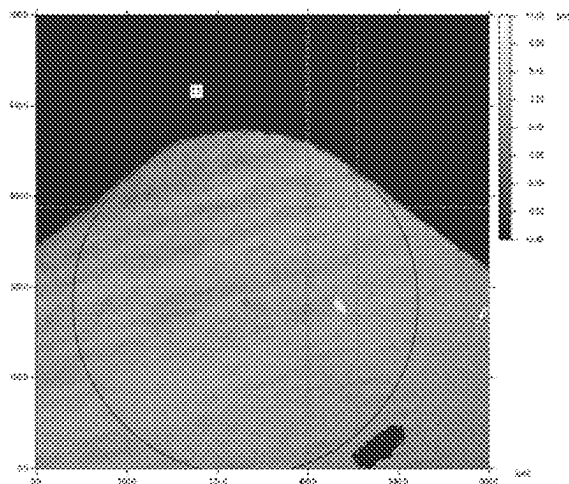


Рисунок 2. Результаты измерения резцов

*Измерение радиуса по передней
поверхности*

*Контроль фаски износа по задней
поверхности*

ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИЙ, ТЕХНОЛОГИЙ ИЗГОТОВЛЕНИЯ, СБОРКИ И ЮСТИРОВКИ ЗЕРКАЛ ДЛЯ ИЗДЕЛИЙ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

ДОРОШИНА Ю.П., МИТРОФАНОВА Ю.С., ГОРОХОВА О.С.

МГТУ им. Н.Э. Баумана

ОАО Красногорский завод им. С.А. Зверева

E-mail: bogdan_senil@mail.ru

Одной из актуальных в науке и технике задач, стоящих перед разработчиками современных оптико-электронных приборов и комплексов специального назначения является создание и исследование зеркал, удовлетворяющих требованиям минимизации массогабаритных параметров, жесткостным характеристикам, оптимизации технологии сборки изделий в целом. Для выполнения этих задач используются зеркала особых конструкций (максимально облегченные варианты металлических, металлостеклянных зеркал).

За последние 15 лет требования к зеркалам оптико-электронных приборов и комплексов перечисленных систем претерпели серьезные изменения: расширился рабочий спектральный диапазон, от ультрафиолетового до дальнего инфракрасного, что повлекло ужесточение требований к качеству поверхности зеркал и созданию большой номенклатуры отражающих оптических покрытий. В целом требования к зеркалам зависят от их назначения. Однако есть требование общее: зеркало, изготовленное в соответствии с чертежом, в процессе эксплуатации должно сохранять высокую геометрическую стабильность в условиях изменения температур от -60 до $+80^{\circ}\text{C}$, ударных и инерционных перегрузок, а также сохранять высокое качество отражающей поверхности в течение длительного времени эксплуатации. Важным моментом является оптимизация процесса сборки изделий, в состав которых входят прецизионные зеркала без дополнительных юстировочных работ.

Важным этапом производства является выбор материала, удовлетворяющего требованиям к зеркалам. Обычно используют следующие материалы: ситалл, титановые сплавы, алюминий, медь и др. В докладе рассматриваются оптические системы, в которых используются зеркала из алюминия. Алюминий обладает достаточно низкой плотностью, что в свою очередь позволяет сделать конструкции достаточно легкими.

Конструкция крепления зеркал в корпусе прибора должна обеспечивать полную непод-

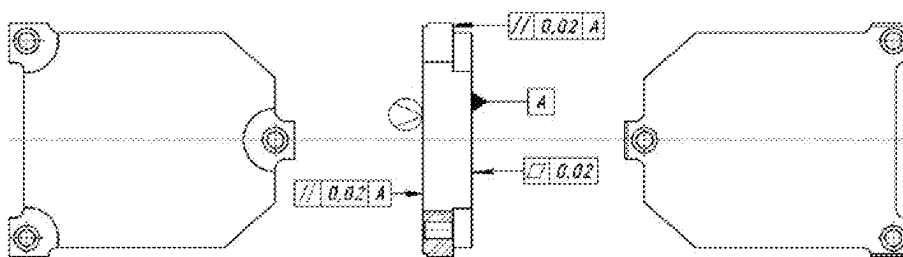


Рисунок 1.

Пример конструкторской документации на металлическое зеркало

вижность зеркала относительно корпуса. Влияние этого условия особенно сильно проявляется при работе приборов в условиях экстремальных нагрузок.

Конструкция крепёжных элементов не должна вызывать напряжений и деформаций в материале зеркала, так как даже местные деформации влияют на качество изображения, разрушая гомоцентрическую структуру пучка лучей, превращая его в астигматический (рис. 1).

Кроме того, конструкция крепёжных элементов напрямую зависит от конфигурации зеркала, его размеров и массы. Отсюда очевидное преимущество металлических зеркал - их массо-габаритные характеристики, которые, в большинстве случаев, исключают необходимость применения дополнительных подводимых опор.

Рабочий спектральный диапазон тепловизионных приборов (рис. 2) составляет $3\div 5$, $8\div 12$ мкм, поэтому возникает проблема визуализации тест-объектов и других юстировочных базовых поверхностей и точек, необходимых для правильного построения сборки и юстировки зеркально-линзовых модулей. ОАО "Красногорский завод им.С.А. Зверева" решает эту задачу, полностью исключая процесс юстировки оптических элементов. Это обеспечивается за счёт того, что во время обработки методом полирования добиваются высокой плоскостности отражающей поверхности зеркала, а также параллельности сопрягаемых поверхностей зеркала и корпуса (рис. 1), таким образом обеспечивая с достаточной степенью точности в процессе сборки требуемые воздушные промежутки между зеркалами и линзами (в пределах 5 мкм) и точность позиционирования по двум координатам x, y (в пределах $10''$).

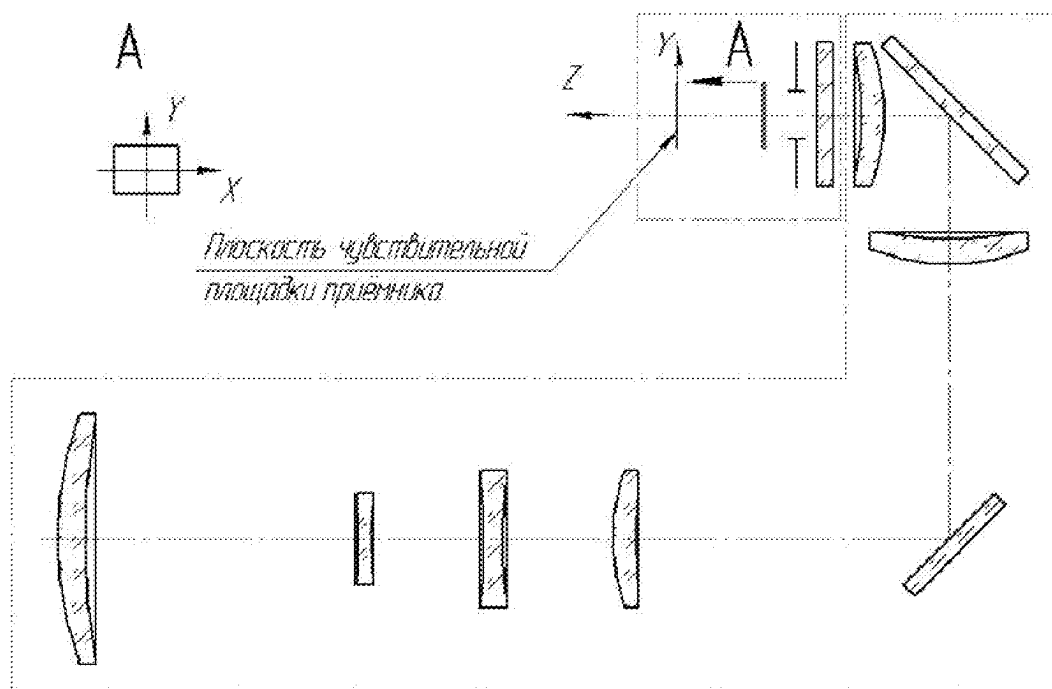


Рисунок 2.
Пример оптической принципиальной схемы

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ КОМПЛЕКСНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ИНСТРУМЕНТОВ ОСНАЩЕННЫХ РЕЖУЩИМИ ЭЛЕМЕНТАМИ ИЗ СТМ И ТВЕРДОГО СПЛАВА

ГРЕЧИШНИКОВ В.А. , ТАРАСОВ А.В

Московский государственный технологический университет «Станкин», г. Москва

E-mail: bogdan_senik@mail.ru

Система позволяет проектировать инструмент различного типа по введенным основным и дополнительным исходным данным, источниками которых могут быть справочные массивы, базы данных, ГОСТы, в которых имеется информация по инструментам, оснащенным режущими элементами из СТМ. Также в системе предусмотрен модуль конструирования или база методических материалов, реализованных программой. После проведения расчета разрабатывается технический процесс изготовления режущего инструмента с использованием базы данных операций или ранее спроектированных технологических процессов.

Система работает следующим образом. После ввода исходных данных, информационно-поисковая система (ИПС) в «БД ГОСТ», «БД НОРМАЛЬ», «БД РАНЕЕ СПРОЕКТИРОВАННЫЙ», последовательно производит поиск режущего инструмента, необходимого для выполнения заданной операции. Если инструмент найден, управление передается подсистемам документирования и графики. В результате конструктор получает распечатки с результатами расчета режущего инструмента и рабочий чертеж. Кроме этого, на данном этапе формируется файл данных для связи с технологической системой.

Если требуемый инструмент не найден, то возможны два варианта:

1. Поиск ближайшего типа размера инструмента с последующей корректировкой конструктивных и геометрических параметров.

2. Расчет новой конструкции при помощи одной из проектирующих подсистем.

Проектирующие подсистемы разрабатываются на основе поэлементного метода. Для расчета, в данном случае, необходимо определиться с комплектом основных и дополнительных исходных данных, которые зависят от размеров обрабатываемой детали (основные) и требований конструктора (дополнительные) к проектируемому режущему инструменту. Они могут совпадать с данными введенными в ИПС. В результате работы проектирующей подсистемы конструктор получает рабочий чертеж инструмента, который может корректировать, как при помощи дополнительных исходных данных, так и посредством графических подсистем (например Т-flex). При необходимости результаты расчета могут быть занесены в базу данных ранее спроектированного режущего инструмента.

Следует отметить, что серийность производства мало влияет на структуру проектирующей подсистемы и учитывается при разработке методики.

При выборе или разработке системы автоматизированного проектирования технологических процессов этому фактору уделяется особое внимание. Так, при массовом производстве целесообразно использовать не параметрический подход, при серийном блочно-модульный, а при единичном производстве необходимо применять алгоритмизированные параметрические системы технологического проектирования.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРЕЦИЗИОННОГО ТОКАРНО-ФРЕЗЕРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

КИРИН И.А.

ОАО «Красногорский завод им. С. А. Зверева»

E-mail: bogdan_senik@mail.ru

Качество обрабатываемой поверхности и точность обработки детали определяется оборудованием, установочно-зажимным приспособлением, режущим инструментом и режимами резания.

В процессе технического перевооружения на предприятии ОАО "Красногорский завод им. С.А. Зверева" проводился технологический подбор оборудования, в том числе и прецизионного токарно-фрезерного оборудования для чистовой обработки высокоточных, мелкогабаритных деталей оптико-электронных приборов. Был проведен сравнительный анализ большого количества моделей токарных станков ведущих мировых производителей, на конечном этапе сравнивались станки "Schaublin -180 CCN R-TM A2-6" и "WEILER E40/SL1".

Станки сравнивались по техническим характеристикам (таблица №1).

Максимальные габариты обрабатываемых деталей близки у обоих станков.

Крутящий момент электродвигателя главного привода у станка "WEILER E40/SL1" значительно больше 370 Н*м против 131 Н*м.

По номинальному усилию подачи по оси "Z" "WEILER E40/SL1" в два раза превосходит "Schaublin -180 CCN R-TM A2-6" при равном усилии подачи по оси "X", что обеспечивает большую жёсткость при продольном точении. Для чистовой обработки применяется скоростное резание не требующее большого крутящего момента главного привода и усилия подачи.

Максимальное число оборотов шпинделя и число оборотов шпинделя приводного инструмента у "Schaublin -180 CCN R-TM A2-6" больше чем "WEILER E40/SL1" (5000/5000 против 3500/4000). Большее число оборотов позволяет более эффективно использовать скоростное резание при малых диаметрах обработки.

Особое внимание уделялось точностным характеристикам станков. Точностные характеристики станка "WEILER E40/SL1" определены DIN6505, фирма "Schaublin" ввела собственные нормы точности для станка "Schaublin -180 CCN R-TM A2-6".

Сравнение геометрической точности станков приведено в таблице №2. Допустимые отклонения при инструментальной проверке и при проверке рабочей точности по пробной заготовке показывает, что точность станка "Schaublin -180 CCN R-TM A2-6" выше чем "WEILER E40/SL1".

У ОАО "Красногорский завод им. С.А. Зверева" имеется многолетний опыт работы со станками "Schaublin -180". Они показали себя надежными и удобными в эксплуатации. Исходя из технических и точностных характеристик а также опыта эксплуатации были выбраны станки "Schaublin -180 CCN R-TM A2-6".

Станки "Schaublin -180 CCN R-TM A2-6" по своим техническим характеристикам -

скорость резания и подача, точностным характеристикам позволяют использовать алмазный инструмент для высокоточной чистовой обработки.

Таблица №1.
Технические характеристики станков

Функциональные возможности:	"Schaublin -180 CCN R-TM A2-6"	"WEILER E40/SL1"
Наибольший просвет над кареткой, мм	160	200
Наибольший просвет над станиной, мм	430	435
Межцентровое расстояние мм	630	1000
Мощность привода главного движения (номинальная/максимальная), кВт	15/18,5	17/20
Крутящий момент (номинальный/максимальный), Н·м	131/161	370/450
Число оборотов шпинделя, об/мин	50 – 5 000	1 - 3500
Усилия подачи по осям X и Z (номинальные), даН	500	500/1000
Количество позиций инструмента (приводного инструмента) в револьверной головке, шт.	12(6)	8(8)
Число оборотов шпинделя приводного инструмента, об/мин	30 – 5 000	1 - 4000
Числовое программное управление:	GE Fanuc 0i TD	Sinumerik 840Sl

СПЕКТРОЭЛЛИПСОМЕТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ИЗГОТОВЛЕННЫХ АЛМАЗНЫМ ТОЧЕНИЕМ АЛЮМИНИЕВЫХ ЗЕРКАЛ

ПОПЕРЕНКО Л.В., ШАЙКЕВИЧ И.А., МЕЛЬНИЧЕНКО Л.Ю.

Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, г.Киев, Украина

E-mail: plv@univ.kiev.ua

Проведены исследования влияния слоя окисла и адсорбированных веществ на оптические свойства алюминиевых зеркал, изготовленных алмазным точением. Использовались алюминиевые зеркала с небольшими добавками в алюминий Mg, Mn, Ti и Be. Диаметр зеркал составлял 50 мм. Среднеарифметическое отклонение шероховатой поверхности зеркал от идеальной плоскости составляло $R_a=29.1$ нм. Эллипсометрические параметры, а именно сдвиг фаз между р- и s-компонентами ψ и азимут восстановленной линейной поляризации χ измерялись методом Битти. Исследуемые зеркала окислялись на воздухе в течение 15 дней, а затем производились измерения зависимости эллипсометрических параметров от угла падения света на зеркало и зависимости этих же параметров от длины световой волны в диапазоне длин волн 400-1200 нм.

Затем зеркала подвергались ионной бомбардировке низкоэнергетическими ионами в вакууме, которая снимала слой окисла и адсорбированных веществ, и снова проводились измерения зависимости эллипсометрических параметров от угла падения света и длины световой волны в том же спектральном диапазоне. Кроме обычных эллипсометрических измерений проводились также эллипсометрические измерения с возбуждением поверхностных поляритонов по методу Отто. Полученные зависимости эллипсометрических параметров от угла падения света показали, что главный угол падения света, при котором $\cos \Delta=0$, после ионной бомбардировки смещается в сторону больших углов падения. Последнее свидетельствует о том, что слой окисла и адсорбированных веществ был удален по крайней мере частично в результате ионной бомбардировки зеркал.

Расчеты по формулам Эйри позволили определить показатель преломления слоя и его показатель поглощения. Для середины исследуемого спектрального диапазона показатель преломления слоя $n=1.6$, а показатель поглощения $k=0.01$. Последний значительно превышает показатель поглощения чистого Al_2O_3 . Это можно объяснить тем, что поверхностный слой представляет собой слой окиси алюминия с внедренными в него атомами металлического алюминия.

Спектроэллипсометрические измерения показали, что известная в литературе полоса квантового поглощения в районе длины световой волны $\lambda=800$ нм для чистого алюминия остается и для окисленного алюминия, но уменьшается по величине. Поляритонные спектроэллипсометрические исследования показали, что эта полоса является двойной, т. е. обусловлена двумя типами межзонных переходов. Последнее экспериментально было обнаружено впервые.