



АЛМАЗНОЕ ТОЧЕНИЕ – СЛОЖНОСТЬ В ПРОСТОТЕ

Не секрет, что производство и потребление продукции станкостроительной промышленности в России в несколько раз ниже, чем в экономически развитых странах. В области создания ультрапрецизионных станков ситуация критическая. Тем более показателен пример научно-технологической компании ООО "Ресурс точности", продвигающей на российский рынок уникальные ультрапрецизионные станки и технологии. О деятельности своей фирмы рассказывают руководители компании ООО "Ресурс точности" – генеральный директор Владимир Степанович Горохов и технический директор Евгений Мефодиевич Захаревич.

Владимир Степанович, Евгений Мефодиевич, когда была основана компания "Ресурс точности"?

Компания "Ресурс точности" – это научно-технологическая компания, которая организована в 2009 году специалистами станкостроительного завода ОАО "Красный пролетарий" для создания высокотехнологичного ультрапрецизионного оборудования для алмазного точения. Собственно говоря, с "Красного Пролетария" все и началось. Завод, основанный в 1857 году французскими предпринимателями братьями Бромлей, свое название "Красный пролетарий" получил в 1922 году. Популярность к продукции завода пришла благодаря выпускаемым им прецизионным металлообрабатывающим токарным станкам с числовым программным управлением.

Рождение "Ресурса точности" связано с тяжелейшей ситуацией, в которую попал завод "Красный пролетарий". Из-за условий жесткой конкуренции, существующей в промышленном бизнесе, в отношении предприятия "Красный пролетарий" был совершен ряд недружественных действий, и завод исчез с рынка производителей ультрапрецизионных станков.

Нам удалось сохранить коллектив, который занимался разработкой и созданием ультрапрецизионных станков.

В компании "Ресурс точности" работают сотрудники двух подразделений бывшего завода "Красный пролетарий" – конструкторского бюро прецизионных станков и станочной лаборатории. Их опыт и знания заложили основу нашей компании. Три года назад институт ОАО "ВНИИИНСТРУМЕНТ" предоставил нам производственные площади. Генеральный директор института Боровский Георгий Владиславович поддержал компанию "Ресурс точности", будучи уверенным в том, что направление ультрапрецизионного станкостроения, важное в целом для развития промышленности, необходимо для решения проблемы импортозамещения.

Одним из первых коммерческих продуктов завода "Красный пролетарий", с выводом на рынок которого мы приобрели свой опыт, стал разработанный в 70-е годы прецизионный станок для производства дисков памяти – алюминиевых пластин, покрытых ферромагнитным материалом. Более 40 лет тому назад появились ЭВМ третьего поколения, и для их работы требовались диски памяти. В стране ощущался жуткий дефицит этих элементов. Технология производства тонких алюминиевых дисков с последующей их доводкой и полировкой была очень сложной, поэтому их выпуск не превышал 5000 дисков в год.

Для полировки использовали процесс шлифования, в результате чего выход годной продукции составлял 5%. Тогда для улучшения качества дисков шлифование заменили на прецизионное алмазное точение.

К тому времени завод "Красный Пролетарий" уже слыл лидером отечественного станкостроения в области токарной обработки (он производил 12000 токарных станков в год, и среди них высокая доля приходилась на прецизионные станки). Мы взяли за решение серьезнейшей задачи – создать станок для ультрапрецизионной алмазной обработки металла. Через год была представлена первая партия станков на гидростатических опорах. Их конструкция базировалась на разработках института "Станкин", который в то время сотрудничал с заводом "Красный пролетарий".

В это же время институт "ЭНИМС" занялся разработкой аэростатических опор. Нам это направление показалось более перспективным для конструирования ультрапрецизионных станков. Результатом стало создание ультрапрецизионных станков следующего поколения. Только для производства дисков памяти мы изготовили более 50 таких станков. За счет них и за счет исследовательских работ, которые проводили у себя производители дисков памяти в Москве, Паневежисе (Литва) и Пензе, процент выхода годных этих изделий поднялся до 60%. В одном только Паневежесе производительность превысила 100 000 дисков в год. Таким образом, в стране была решена проблема недостатка дисков памяти для ЭВМ. Этот станок стал первым "прорывным" продуктом. Его конструкция была настолько востребованной на рынке, что с нее началось развитие направления прецизионного станкостроения для производства металлооптики. Другой толчок к развитию этого направления дал заказ НПО "Астрофизика", которому металлооптика понадобилась для создания мощных CO₂-лазеров. Было выпущено более 100 станков 15 различных моделей, разного назначения и для разных потребителей.



*Руководители
фирмы за работой*

Мы приобрели колоссальный опыт по разработке, исследованию и изготовлению ультрапрецизионных станков. Если мы начинали свой творческий путь с жиклерной аэростатики и шпинделей катушечного типа, то сейчас в наших опорах используются пористая аэростатика (это аэростатические опоры уже четвертого поколения), вакуумный натяг, сферические шпинделя. Можно честно признаться в том, что мы достигли желаемого результата – создали первый за последние двадцать с лишним лет отечественный ультрапрецизионный станок.

Для каких потребителей предназначена ваша продукция?

Наши заказчики – это производители металлооптики, ультрапрецизионных матриц для изготовления концентраторов фотовольтаических систем наземного и космического базирования, корректоров зрения, пресс-форм для производства асферической оптики методом литья, создание асферических оптических компонентов, работающих в ИК – диапазоне.

Ультрапрецизионные станки, изготовленные компанией "Ресурс точности" позволяют создавать различные детали френелевской оптики: концентраторы солнечной энергии – для гелиевой

энергетики, осесимметричные и линейные концентраторы – для космической энергетики. Здесь на территории ВНИИИнструмент мы на основе матриц, выполненных с помощью ультрапрецизионных станков, делаем оптически чистые поверхности и формируем пластиковую оптику для светодиодной техники: различные отражатели параболического и эллиптического вида.

Создали первый за последние двадцать с лишним лет отечественный ультрапрецизионный станок

Существует много новых прикладных задач, решаемых только с помощью алмазного точения, например – создание элементов металлооптики. Эта категория изделий включает в себя разные экраны, отражатели, зеркала, используемые в телескопах, резонаторах CO₂-лазеров, в системах лазерной резки и сварки. Наши специалисты провели серьезные исследования и показали, что точеные алмазным резцом зеркала по своим характеристикам намного превосходят полированную металлооптику. Во многом это было связано с особенностями классической обработки, при которой в мягкую поверхность шаржируются какие-то твердые частицы. Потом при дальнейшей полировке частицы замазываются и становятся незаметными. Однако, после попадания на зеркало

мощного потока лазерного излучения, дефекты вскрываются, начинают выгорать, и зеркало достаточно быстро выходит из строя. В точеных зеркалах нет никакого шаржирования, из-под резца выходит однородная поверхность с минимальным нарушенным слоем. Поэтому стойкость у таких зеркал значительно выше, и соответственно все энергетические показатели лазерных систем значительно лучше. Методами алмазного точения удаётся получать гладкие металлические поверхности, обладающие малым рассеянием с коэффициентом отражения 98–99%.

Еще одна область, в которой мы видим большие перспективы для технологии ультрапрецизионного алмазного точения – это производство лазерных гироскопов. Пока в изготовлении корпусов велика доля ручного труда, но мы чувствуем и понимаем, проводя наши исследования, что можем решить этот вопрос полностью. Мы можем полностью разработать и изготовить комплект оборудования, включающего в себя станок и для предварительной обработки этих деталей, и для их финишной обработки.

Создаваемые нами ультрапрецизионные станки нужны производителям сверхточных деталей из хрупких материалов, тем, кто в своем производстве использует технологию многократного шлифования обрабатываемых поверхностей с их последующим полированием. Например, наш станок незаменим при создании деталей из хрупких материалов (керамики, ситалла, кварца) с точностью 10 нанометров на 100 миллиметров, с обработкой поверхности до шероховатости, так называемых атомно-гладких поверхностей (R_a – 1нм и меньше), – это очень высокая точность.

В чем кроется сложность создания ультрапрецизионных станков?

Продукцию, аналогичную нашей, принято условно разделять на прецизионные станки, предназначенные для изготовления деталей с точностью до 0,1 мкм, и ультрапрецизионные станки, которые обеспечивают точность

Наиболее ответственную работу иногда приходится выполнять лично



и качество поверхности выше 0,1 мкм – 0,01 мкм, 0,001 мкм, ну и дальше – сколько хватит воображение. Но важно помнить, что есть предел механической точности изготовления детали. Скажем, пластину размером около метра на метр изготовить с плоскостностью выше одного микрометра практически невозможно.

Ведь в чем сложность создания ультрапрецизионного станка – в его сверхпростоте. Чем меньше связей, тем меньше всяких погрешностей. В станке нет никаких шестеренок, валов, практически сведены к минимуму механизмы кинематики: прямой электропривод и у вращательных узлов, и у узлов линейных перемещений, все двигатели и датчики перемещений – встроенные, т.е. не имеют собственных подшипников и базируются на аэростатических опорах каретки или шпинделя. Соответственно – чем проще, тем и сложнее. И одна из самых важных характеристик станка при его эксплуатации – это наличие внутренней и внешней вибраций, а также источников внутреннего и внешнего нагрева. Конструкция должна обеспечивать виброизоляцию от внешней вибрации, которая могла бы прийти к станку извне: с пола, от стен или от проходящего в трехста метрах трамвая, и обеспечить отсутствие вибрации, возникающей внутри станка от работающих внутри электродвигателей и движущихся систем. И то же требование к температуре – ни внешняя температура, ни температура внутри станка не должны стать дополнительными источниками повышения или понижения рабочей температуры, – все должно быть стабильно.

Какие точности обеспечивают ультрапрецизионные станки, которые выпускает компания "Ресурс точности"?

Ключевое решение, определяющее точность и виброустойчивость выпускаемого оборудования, – выполнение определенных условий. Во-первых, станины и каретки станка должны быть изготовлены из габродиабазы и гранита. Гранит, пролежавший миллионы лет, очень стабилен и не имеет поводов.

Кроме этого, он обладает низкой теплопроводностью и большим внутренним демпфированием, – только на граните можно получить отклонение от плоскостности 1 мкм на 1 м². Во-вторых, использование аэростатических опор с пористым дроселированием и вакуумным натягом обеспечивает прямолинейность движения менее 0,05 мкм на 300 нм. Третье условие – использование сферических опор для вращающихся узлов, они позволяют усреднять биение оси и уменьшить его до величины 0,005 мкм и менее. Другое условие, исполнение которого обеспечивает точность позиционирования (разрешение системы управления 0,01; 0,001 и 0,0001 мкм) – синхронные мало-виброактивные приводы с датчиками положения голографического типа. Воздушную среду, подаваемую в щель, формирует компрессор и прилагаемый в обязательном порядке к каждому станку комплект фильтров и осушителей воздуха. Воздух не должен содержать влагу (точка росы не выше –20°С). Предварительная очистка воздуха не допускает наличия в нем механических частиц размером выше 0,01 мкм. Для этого на пути его подачи установлен каскад фильтров.



Процесс сборки ультрапрецизионного станка

Особую гордость мы испытываем, демонстрируя наши аэростатические опоры

В совокупности все эти решения и многие другие "хитрости" обеспечивают получение при обработке на наших станках атомно-гладких поверхностей с $R_a < 1$ нм и точностью формы менее 10 нм на диаметр 100 мм.

Какие научно-исследовательские работы проводит компания, и насколько быстро вы внедряете результаты в свою продукцию?

Мы ведем очень большой объем научно-исследовательской работы, потому что создание ультрапрецизионных станков требует достаточно разносторонних исследований. Самое главное на сегодняшний день направление исследований компании – это отработка технологии создания аэростатических опор. В помещении, в котором мы сейчас находимся, ощущаются вибрации, идущие от уличного транспорта. Но аэростатические опоры, в которые устанавливаются все исполнительные механизмы, и специальные пневмо-виброизолирующие опоры, которыми помимо этого снабжены станки, достаточно эффективно отсекают всю внешнюю вибрацию в диапазоне частот от 3 Гц и выше.

Дальше – это исследования в области технологии пластичного резания

хрупких материалов, конструктивные ноу-хау, которые сейчас мы развиваем. Начали исследовать технологию обработки с ультразвуковым точением, а именно алмазное точение с наложением ультразвуковых колебаний. Такой метод позволяет обрабатывать алмазным резцом железосодержащие сплавы, при этом реакция растворения углерода в железе прерывается. И значит можно резать нержавеющей или закаленную сталь без износа инструмента и получать зеркальную поверхность 14-го класса точности. С наложением ультразвука можно также обрабатывать хрупкий материал, создавая условия квазипластичности материала. Тогда процесс обработки хрупкого материала описывается не механизмом хрупкого разрушения, а подобен обработке металла с появлением пластических деформаций.

Другое направление НИОКР в компании "Ресурс точности" – технология непрерывной электролитической правки. Это шлифовальная технология, в процессе которой в зазор между алмазным кругом и медным или бронзовым электродом, обладающими разной полярностью (плюс и минус), подается электролит. Дело в том, что хотя изначально, после правки, зерна на поверхности круга имеют большой вылет из связки, со временем он притупляется, усилия резания при этом возрастают, появляются прижоги, возникает так называемое засаливание круга. Для исключения подобного эффекта нужна непрерывная электролитическая правка. При ней связка круга растворяется, затупившиеся зерна вылетают из своих гнезд, вместо них обнажаются новые острые зерна. Таким образом, постоянно поддерживается острота круга.

Еще одно направление нашей деятельности, которым мы активно занимаемся последнее время, это исследование резания хрупких материалов в квазипластичном режиме при точении, фрезеровании и шлифовании. Дело в том, что при контакте режущей кромки инструмента с обрабатываемым материалом в зоне контакта возникают огромные напряжения. Если создать

Процесс обработки плоского крупногабаритного отражателя





Так выглядит современный ультрапрецизионный станок

условия, когда эти напряжения составят несколько гигапаскалей, то хрупкий материал начинает вести себя, как пластичный металл. Появляется сливная стружка, падают усилия резания, уменьшается глубина нарушенного слоя. Для реализации этого режима требуется обеспечить толщины срезаемой стружки от нескольких нанометров до нескольких десятков нанометров (чем тверже материал, тем тоньше должна быть стружка). Для этого используем микроподачу, сверхмалые глубины резания и специальную кинематику резания. Требуемые напряжения в зоне обеспечивают очень высокая относительная жесткость между инструментом и деталью. Ее можно

В чем сложность создания ультрапрецизионного станка – в его сверхпростоте...

достигнуть за счет специальных конструкторских решений и уменьшения дискретности на станке до одного ангстрема и меньше.

Ну и наконец, еще одно условие – это острота режущей кромки инструментального материала. Она не должна превышать нескольких нанометров. В природе существует только один материал, который можно заточить до такой остроты: это монокристаллический алмаз.

Одно из главных преимуществ резания в квазипластичном режиме по сравнению с хрупким – это практически полное отсутствие напряжений и дефектов на обработанной поверхности. Наглядно это можно обнаружить при взгляде на поверхность детали после ее травления в плавиковой кислоте. Шероховатость поверхности детали, обработанной пластичным резанием, после травления не изменяется. Но поскольку травление идет, в первую очередь, вдоль дефектов поверхности, то обработанная поверхность, первоначально обладающая шероховатостью 14 класса, оказывается, на самом деле, сниженной до 9-го класса.

Задача ближайшего времени – создание станка, на котором можно будет реализовать все режимы пластичного резания, который помимо сверхвысокой разрешающей способности, будет обладать сверхжесткой конструкцией для изготовления деталей с атомно-гладкой поверхностью.

Есть еще новое направление в нашей НИОКР – это создание специальных условий эксплуатации станка. Речь идет о том, что станки должны быть установлены на специальных фундаментах и эксплуатироваться в специальных термостатных помещениях. Причем температура должна поддерживаться в очень жестких пределах. Известные немецкие компании эксплуатируют аналогичное оборудование, поддерживая в цехе температуру в допуске плюс минус один градус, а вот в местах окончательной сборки и юстировки – до одной десятой градуса. По имеющимся у нас данным, в США создают боксы для сборки ультрапрецизионных станков с колебаниями температуры не более одной сотой градуса. Представляете, какие затраты на электроэнергию идут только для поддержания температуры!

Какие приоритетные задачи стоят перед компанией?

Одна из нерешенных на сегодняшний день задач – это метрологическая аттестация изготавливаемого нами оборудования. В метрологической лаборатории



имеется конфокальный микроскоп, который позволяет с разрешением 1 нм измерять структуру обработанной поверхности. Но перед нашими метрологами стоят задачи измерять поверхность с разрешением 1 ангстрем. Также пока мы не можем аттестовать наши аэростатические узлы. Главная метрологическая задача, стоящая сегодня перед нами, – это аттестовать станок по точности позиционирования, линейному и угловому биению оси. Далее – определить прямолинейность движения линейных суппортов, померить угловую точность вращающихся деталей. Пока мы можем дать только косвенную оценку того, что, например, биение оси у нас лучше, чем 0,02 мкм.

Как организован процесс разработки продуктов "Ресурс точности"?

Около 40% нашей прибыли мы постоянно тратим на НИОКР. Кроме того, мы работаем в тесной кооперации с нашими партнерами: ОАО "ВНИИИНСТРУМЕНТ", фирмой ООО "МодемТехно" из Тулы, поставляющей современные электроприводы прямого действия и ЗАО "Микрос" (Ногинск), производящий специальные УЧПУ для ультрапрецизионного оборудования, с Петербургским Институтом ядерной физики (ПИЯФ) из Гатчины, одна из лабораторий которого занимается лазерной интерферометрией

и создает для нас лазерные датчики обратной связи. У нас очень тесные связи с университетом им. Баумана, университетом "Станкин" и с другими научными центрами.

Имеют ли прецизионные станки компании "Ресурс точности" потенциал для решения медицинских задач?

В компании есть и медицинское направление, оно связано с офтальмологией, – это производство искусственных глазных хрусталиков и корректирующих детское косоглазие оптических линеек. На сегодняшний день мы в состоянии предложить комплексную технологию, включающую в себя получение российского материала (специального полимера), специальную технологию полимеризации этого полимера и изготовление корректирующих устройств на специальных матрицах. Что касается линеек для коррекции косоглазия, они предназначены для детишек. У детей очень ограниченный объем видения, и ребенок, перебегающий улицу и лишенный периферического зрения, подвергается высокой опасности. А вот корректирующая полимерная линейка практически помогает им. Компания "Ресурс точности" способна приступить к их крупносерийному изготовлению. Однако финансирования под это направление мы пока не имеем. Первую партию



корректирующих косоглазие линз сделали для местной клиники, сейчас делаем вторую партию.

Существует много новых прикладных задач, решаемых только с помощью алмазного точения...

Расскажите, пожалуйста, о структуре компании "Ресурс точности". Как вы готовите специалистов для своей компании?

В компании трудится более 20 человек. Есть технологический отдел, отдел сборки станков, метрологическая лаборатория. Производственные помещения компании составляют 130 м². Мы уже рассказывали, что в основном все наши сотрудники – это работники бывшего завода "Красный пролетарий". Часто приходят студенты,

кто из Бауманского университета, кто из Университета дружбы народов, кто из университета "Станкин". Сейчас в компании работают 5 аспирантов. Как правило, кафедры, ведущие с нами совместные НИОКРы, рекомендуют своих студентов 4–5 курса, и они начинают работать в компании по 1–2 дня в неделю. Мы всячески идем им навстречу, помогая подбирать студентам темы для курсовых и для дипломных работ. Результаты выполненных ими работ имеют практическое значение и сразу внедряются в производство. Затем, уже будучи аспирантами, новые сотрудники руководят проектными работами, каждый в своем направлении.

Благодарим за интересную беседу.

С.В.С.Гороховым и Е.М.Захаревичем
беседовали Н.Л.Истомина и Л.В.Карякина

ГОТОВИТСЯ К ИЗДАНИЮ



РУКОВОДСТВО ПО ЛАЗЕРНЫМ СВАРОЧНЫМ ТЕХНОЛОГИЯМ

С.Катаяма

Лазерная сварка является быстроразвивающейся и универсальной технологией, которая все более широко применяется в промышленности и производстве. Она позволяет производить точную сварку в малых и труднодоступных местах и особенно удобна для работы в режиме компьютерного или роботизированного управления. В "Руководстве по лазерным сварочным технологиям" рассматриваются последние достижения в данной области и возможности их разнообразного применения.

Часть I представляет собой введение в основы лазерной сварки, предшествующее описанию выработанных технологий, включая лазерную сварку в среде CO₂, дисковую лазерную сварку и лазерную микро-сварку. В Части II освещаются подробности технологии лазерной сварки различных материалов, включая алюминиевые и титановые сплавы, пластмассы и стекло. Часть III фокусируется на разработках новых технологий лазерной сварки, включая главы, посвященные вопросам применения робототехники в лазерной сварке и разработках в области моделирования и проектирования лазерной и гибридной лазерной сварки. Наконец, Часть IV исследует применение лазерной сварки в автомобильной, железнодорожной и судостроительной промышленности.

"Руководство по лазерным сварочным технологиям" является техническим источником для исследователей и инженеров, использующих лазерные сварочные технологии, специалистов, нуждающихся в понимании методов лазерной сварки, и ученых, работающих в данной области.

М.: ТЕХНОСФЕРА,
2015 – Ок. 704 с.

КАК ЗАКАЗАТЬ НАШИ КНИГИ?

✉ 125319, Москва, а/я 91; ☎ (495) 234-0110; 📠 (495) 956-3346; ✉ knigi@technosphera.ru, sales@technosphera.ru

