

ОБРАБОТКА ДЕТАЛЕЙ МЕТАЛЛООПТИКИ НА УЛЬТРАПРЕЦИЗИОННОМ СТАНКЕ «СФЕРА 100-Ф4»

Е. М. Захаревич, В. В. Лапшин, М. А. Шавва
АО «ВНИИИНСТРУМЕНТ», 04@vniinstrument.ru, vasylap@mail.ru, Москва

В статье представлены основные конструктивные особенности ультрапрецизионного станка для обработки металлооптических деталей, а также его технические и технологические характеристики. Описан процесс и основные особенности обработки оптической детали типа «Оболочка». Приведены результаты обработки пробной детали.

АО «ВНИИИНСТРУМЕНТ» последние несколько лет занимается разработкой и изготовлением современных ультрапрецизионных станков, предназначенных для обработки металлооптических изделий различной формы и назначения.

В рамках хозяйственного договора был создан ультрапрецизионный станок «Сфера 100-Ф4» для обработки металлооптических деталей методом алмазного точения и фрезерования (рис. 1). Данный станок предназначен для обработки плоских, осесимметричных, сферических, а также асферических поверхностей.

Основные конструктивные особенности станка «Сфера 100-Ф4» следующие:

- базовые элементы станка (станина, каретки, шпиндельная бабка) выполнены из натурального гранита;
- шпиндельный узел и поворотный стол станка выполнены с использованием сфе-

рических аэростатических опор с пористым дросселированием;

- линейные узлы перемещений выполнены на аэростатических опорах с пористым дросселированием;
- станина станка установлена на специальных виброизолирующих пневматических опорах с собственной частотой менее 5 Гц;
- станок оснащен отечественными цифровыми комплектными электроприводами прямого действия.
- станок оснащен высокоскоростной аэростатической сверлильно-фрезерной головкой.

Технические и точностные характеристики станка «Сфера 100-Ф4» представлены в таблице 1 и таблице 2 соответственно.

Станок «Сфера 100-Ф4» оснащен отечественной специальной системой УЧПУ с возможностью программирования линейных перемещений с дискретностью 1 нм. Реализована функция обмера и привязки инструмента с помощью оптического микроскопа.

Для устранения технологических погрешностей, которые могут возникнуть в процессе обработки, на станке предусмотрена процедура коррекции траектории движения инструмента. Для этой цели станок оснащен измерительным шупом с диаметром шарика 0,5 мм (рис. 2), который обмеряет обработанную поверхность после обработки. Точность срабатывания шупа по паспорту составляет 250 нм, однако в условиях работы на станке «Сфера 100-Ф4», было установлено, что точность срабатывания шупа составляет 20–30 нм. Это обусловлено стабильностью скорости наезда шупа на исследуемую поверхность, а также механической точностью станка. Таким образом, станок «Сфера 100-Ф4» может выступать в качестве измерительной машины.

Процедура коррекции траектории движения инструмента состоит из следующих этапов:



Рис. 1. Ультрапрецизионный станок для обработки оптических деталей



Таблица 1. Технические характеристики станка «Сфера 100-Ф4»

Технические параметры	Значение
Наибольшее перемещение поперечного суппорта, ось «Х», мм	400
Диапазон частот вращения шпинделя главного движения, ось «S», мин. ⁻¹	50 – 5000
Диапазон частот вращения привода главного движения, ось «С», мин. ⁻¹	0 – 200
Диапазон рабочих подач продольного суппорта, ось «Z», мм / мин.	0 – 200
Диапазон рабочих подач поперечного суппорта, ось «Х», мм / мин.	0 – 200
Диапазон рабочих подач поворотного стола, ось «В», мин. ⁻¹	0 – 10
Дискретность задания перемещения продольного суппорта, мкм	0,001
Дискретность задания перемещения поперечного суппорта, мкм	0,001
Дискретность задания перемещения поворотного стола, ось «В», угл. сек	0,0012
Дискретность задания перемещения круговой оси «С», угл. сек	0,008

- обработка оптической поверхности;
- обмер оптической поверхности непосредственно на станке с помощью щупа;
- построение полученной формы и сравнение ее с заданной;
- повторная обработка оптической поверхности с учетом коррекции погрешности формы;

Описанная процедура заложена в систему ЧПУ и выполняется автоматически. Для достижения

максимально возможной точности формы оптической поверхности возможно последовательное выполнение процедуры несколько раз.

По требованию заказчика на созданном ультрапрецизионном станке «Сфера 100-Ф4» была обработана оптическая деталь типа «Оболочка» с толщиной 0,3 мм в виде полусферы с радиусом 4,8 мм. Материал детали – бескислородная медь М0б. К детали были предъявлены следующие требования: точность формы внутренней сферы – 1 мкм,



Рис. 2. Процесс обмера щупом обработанной поверхности



Рис. 3. Специальный режущий инструмент

шероховатость поверхности внутренней сферы – Ra 0,01 мкм.

Для осуществления обработки был спроектирован и изготовлен комплект специального режущего инструмента, состоящий из алмазных и твердосплавных резцов (рис. 3). Алмазные резцы с радиусом 200–300 мкм использовались для чистовой обработки внутренней сферической поверхности, а резцы с радиусом 25–45 мкм предназначены для обработки выточки. Твердосплавные инструменты использовались для обработки наружной цилиндрической поверхности. Все резцы имели передний угол $\gamma=0^\circ$ и задний угол $\alpha=12^\circ$.

Для закрепления обрабатываемой детали на станке был разработан и изготовлен комплект оснастки, состоящий из двух оправок (рис. 4):

- 1) для базирования детали по внутренней сферической поверхности при обработке наружной сферы;

- 2) для базирования детали по наружной сферической поверхности при обработке внутренней сферы;

Каждая оправка имеет в своем составе отверстие. Вакуумная станция создает в отверстиях оправок разрежение, которое позволяет удерживать заготовки во время обработки в определенном положении и с минимальными искажениями формы.

Обработка заготовок с припуском под окончательную обработку осуществлялась на прецизионном токарном станке.

На станке «Сфера 100-Ф4» реализована следующая последовательность процесса обработки детали типа «Оболочка»:

1. Обработка наружной сферической поверхности и выточек твердосплавным резцом.
2. Обработка внеосевых отверстий.
3. Окончательная обработка выточек алмазным резцом и окончательная обработка наруж-

Таблица 2. Точностные характеристики основных узлов станка «Сфера 100-Ф4»

Параметры	Значение
Шпиндель главного движения	
радиальное и осевое биение оси шпинделя главного движения, нм	< 50
точность позиционирования круговой оси «С», угл. сек.	1
Поворотный стол	
радиальное и осевое биение оси поворотного стола, нм	< 50
точность позиционирования поворотной оси «В», угл. сек.	1
Продольный и поперечный суппорт	
прямолинейность перемещения суппорта оси «Z» (на длине 200 мм), мкм	0,5
прямолинейность перемещения суппорта оси «X» (на длине 400 мм), мкм	0,75



Рис. 4. Оснастка для закрепления детали на станке



Рис. 5. Обработка внутренней сферической поверхности алмазным резцом

- ной сферической поверхности твердосплавным резцом с последующим обмером детали.
4. Установка на станок оснастки для обработки внутренней сферы и переворот детали.
 5. Обработка внутренней сферической поверхности и выточек твердосплавным резцом.
 6. Окончательная обработка выточек и внутренней сферической поверхности алмазным резцом с последующим обмером детали.

Результаты метрологического контроля показали, что шероховатость внутренней сферической поверхности после алмазного точения составила $Ra\ 0,01-0,011\ \mu\text{m}$. Точность формы внутренней сферической поверхности после точения твердосплавным резцом составила $2-3\ \mu\text{m}$. Результаты по точности формы, полученные после обработки алмазным резцом, будут получены в ближайшее время. ■