



10.22184/1993-7296.FRos.2024.18.2.116.120

# Инновационные разработки в области российского ультрапрецизионного станкостроения

С. В. Бурдак<sup>1</sup>, Е. М. Захаревич<sup>1</sup>, В. В. Лапшин<sup>1</sup>, М. А. Шавва<sup>1</sup>, Р. А. Пошехонов<sup>2</sup><sup>1</sup> ООО «Научно-производственное объединение Асферика», Москва, Россия<sup>2</sup> МГТУ им Н. Э. Баумана (НИУ), Москва, Россия

В статье представлены технические характеристики и основные конструктивные особенности ультрапрецизионного токарного станка нового поколения для обработки оптических поверхностей деталей, а также описание его узлов и опций.

**Ключевые слова:** ультрапрецизионное оборудование, аэростатические линейные направляющие, аэростатические шпиндельные узлы, контроль формы на станке, алмазное точение, обработка оптических материалов

Статья получена: 12.01.2024

Статья принята: 26.02.2024

## Innovative Developments in the Field of Russian Ultra-precision Machine Tools

S. V. Burdak<sup>1</sup>, E. M. Zakharevich<sup>1</sup>, V. V. Lapshin<sup>1</sup>, M. A. Shavva<sup>1</sup>, R. A. Poshekhonov<sup>2</sup><sup>1</sup> LLC «SPA Aspherica», Moscow, Russia<sup>2</sup> Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

The article presents the technical characteristics and main design features of a new generation ultra-precision lathe for processing optical surfaces of parts, as well as a description of its components and options.

**Keywords:** ultra-precision equipment, aerostatic linear stages, aerostatic spindle, on-machine measurement system, diamond turning, optical materials processing

Article received: 12.01.2024

Article accepted: 26.02.2024

ООО «НПО АСФЕРИКА» занимается разработкой и созданием современных ультрапрецизионных станков, предназначенных для обработки оптических поверхностей изделий различной формы и назначения. Сотрудниками нашей компании к сегодняшнему дню было разработано более 10 моделей ультрапрецизионных станков. В 2023 году нашим предприятием был разработан и изготовлен ультрапрецизионный токарный станок модели УТМ-250.03 (рис. 1), являющийся функциональным аналогом станка Nanoform X фирмы PRECITECH, но отличаю-

щийся от него увеличенными ходами и габаритами обрабатываемых деталей, а также вдвое превосходит по радиальной жесткости шпинделя.

Станок предназначен для обработки осесимметричных деталей оптики из цветных металлов и их сплавов (медь, алюминий, никельфосфор), а также некоторых видов кристаллов и различных пластиков методом алмазного точения. Форма обрабатываемой поверхности – плоская, сферическая, асферическая, также возможна обработка внеосевых поверхностей.

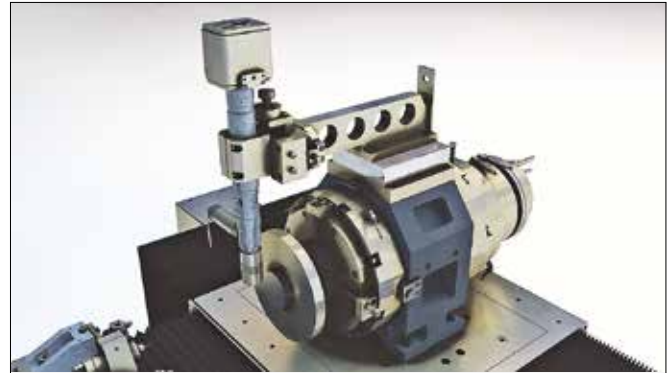


**Рис. 1.** Ультрапрецизионный токарный станок модели УТМ-250.03

В своем составе станок имеет две линейные оси Z, X, управляемые по положению и скорости (продольный и поперечный суппорты), а также одну круговую ось S (шпиндельный узел заготовки), управляемую по скорости.

Конструктивные особенности ультрапрецизионного токарного станка модели УТМ-250.03:

- Т-образная, термосимметричная станина изготовлена из натурального гранита;
- Направляющие и суппорта линейных перемещений выполнены из натурального гранита;
- Аэростатические опоры с пористыми ограничителями наддува с вакуумным прижимом для линейных направляющих обеспечивают плавное движение без трения, износа и гистерезиса;
- Бесконтактные демпферы с сверхвязкой кремнийорганической жидкостью, обеспечивающие сверхкритическое затухание собственных колебаний линейных суппортов;
- На линейных суппортах используются синхронные беспазовые U-образные двигатели и оптические линейки с нанометровым разрешением. Линейные суппорта работают по схеме «gantry», что увеличивает угловую жесткость и снижает отклонения от прямолинейности движения;
- Шпиндель изделия имеет сферические аэростатические опоры с пористым дросселированием, бесконтактный подвод вакуума к переднему фланцу для зажима заготовок



**Рис. 2.** Цифровая оптическая система контроля и привязки инструмента

или отсоса стружки и синхронный встроенный двигатель;

- Для привязки и измерения радиуса режущего инструмента имеется оптическая система контроля инструмента с разрешением менее 1 мкм (рис. 2);
- Станок оснащен системой подачи СОЖ в виде масляного тумана;
- Кабинетное ограждение для защиты оператора (рис. 3);
- Система ЧПУ позволяет программировать линейные перемещения с дискретностью 1 нм.
- Станок оснащен измерительной системой на базе волнового интерферометра с разре-



**Рис. 3.** Кабинетное ограждение станка УТМ-250.03

шением 2 нм для контроля детали на станке в двух режимах:

- бесконтактное измерение нецилиндричности, некруглости, непрямолинейности, а также неплоскостности торцев (используется для обмера деталей, не допускающих контактного измерения, а также при юстировке основных узлов станка);
- контактное измерение сферических и асферических поверхностей при помощи специально разработанного аэростатического стилуса с усилием прижима от 0,5 грамма (рис. 4), смещение которого контролируется интерферометрическим датчиком (используется для контроля погрешностей формы обработанных поверхностей и коррекции траектории движения инструмента);
- Пассивная система виброизоляции обеспечивает собственные частоты как жесткого целого не более 5 Гц и обеспечивает самовыравнивание при смещении линейных суппортов;
- Двигатели станка имеют системы термостабилизации с водяным или воздушным охлаждением.

Для работы с системой контроля инструмента и с измерительной системой на базе волнового интерферометра разработано специальное программное обеспечение, имеющее следующие возможности:

- обмер режущей кромки инструмента: расчет радиуса и координат привязки;
- компенсация отклонения формы шарика контактного щупа по результатам обмера эталонной сферы;
- контроль формы обработанной поверхности;

- коррекция управляющей программы обработки поверхности заготовки по итогам измерений.

Процедура коррекции управляющей программы состоит из следующих этапов:

- обработка поверхности;
- обмер поверхности непосредственно на станке с помощью измерительной системы с волновым интерферометром;
- построение полученной формы и сравнение ее с заданной;
- повторная обработка поверхности с учетом коррекции погрешности формы.

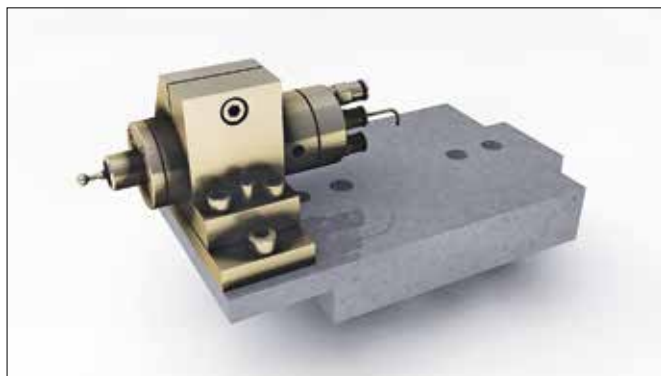
Для достижения максимально точности формы оптической поверхности возможно последовательное выполнение процедуры коррекции несколько раз.

Технические характеристики и параметры точности ультрапрецизионного токарного станка модели УТМ-250.03 представлены в таблице.

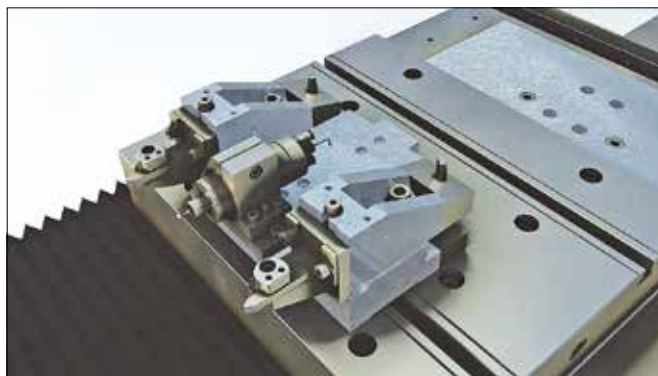
Для минимизации центральных дефектов обработанных поверхностей на станке используется специальный резцедержатель для регулировки по высоте (рис. 5). Резцедержатель имеет грубую (диапазон перемещения до 10 мм) и тонкую регулировку высоты режущей кромки, при этом минимальное реализуемое перемещение резца по высоте составляет 100 нм.

Дополнительно станок УТМ-250.03 может быть оснащен:

- инструментальным шпинделем: для реализации алмазного фрезерования «летучим» резцом, скоростным инструментальным шпинделем для реализации операций наружного круглого шлифования или скоростным инструментальным шпинделем для опера-



**Рис. 4.** Контактный аэростатический стилус для контроля формы обработанной поверхности



**Рис. 5.** Специальные регулируемые резцедержатели и контактный аэростатический стилус



**Таблица.** Технические характеристики и параметры точности ультрапрецизионного токарного станка модели УТМ-250.03

Основные		
Максимальный диаметр обрабатываемой заготовки	мм	300
Максимальная длина заготовки	мм	150
Шероховатость обрабатываемой поверхности, не более	нм	Rz < 50
Точность формы обработанной поверхности	нм	100
Шпиндель изделия (ось S)		
Диапазон рабочих частот	об/мин	0–3 600
Номинальный крутящий момент	Н·м	0,9
Максимальный крутящий момент	Н·м	2–3
Радиальное биение оси шпинделя	мкм	0,07
Осевое биение оси шпинделя	мкм	0,03
Осевая жесткость	Н/мкм	440
Радиальная жесткость на фланце	Н/мкм	280
Суппорт продольного/поперечного перемещения (ось Z/X)		
Перемещение по осям Z/X	мм	250/400
Разрешение датчика обратной связи, не более	мкм	0,01
Скорость рабочих перемещений	м/мин	0–0,5
Прямолинейность перемещения продольного суппорта в горизонтальной плоскости на длине 250 мм	мкм	0,1
Прямолинейность перемещения поперечного суппорта в горизонтальной плоскости на длине 400 мм	мкм	0,15
Жесткость в горизонтальном направлении	Н/мкм	600
Жесткость в вертикальном направлении	Н/мкм	1 000
Другие данные		
Давление подводимого воздуха, не более,	атм	8
Степень фильтрации подводимого воздуха,	мкм	0,01
Суммарная мощность	кВт	26
Масса станка в базовой комплектации	кг	6000
Контактный аэростатический стилус		
Диапазон измерения:		
грубый режим	мм	10
точный режим	мм	0,5
Частота измерения:		
грубый режим	Гц	1
точный режим	Гц	10
Минимальное усилие прижима	г	0,5
Разрешение	нм	2



**Рис. 6.** Общий вид ультрапрецизионного токарно-фрезерного станка модели УТМ-250.01



**Рис. 7.** Расположение шпиндельных узлов токарно-фрезерного станка модели УТМ-250.01 (ось Z – шпиндель изделия, ось X – инструментальный шпиндель)

ций внутреннего шлифования или микрофрезерования;

- аэростатическим поворотным столом собственной разработки;
- вертикальной осью на прецизионных подшипниках качения (может быть интегрирована с инструментальным шпинделем).

В 2022 году был разработан, а в 2023 году был введен в эксплуатацию у заказчика ультрапрецизионный токарно-фрезерный станок модели УТМ-250.01 схожей компоновки (рис. 6, 7). Его отличие от базовой модели состоит в наличии инструментального шпинделя для реализации алмазного фрезерования «летучим» резцом с системой удаления токсичной стружки.

После точения тестовой детали из меди марки М06 был проведен метрологический контроль. Его результаты показали, что шероховатость торцевой поверхности составила Ra 0,01 мкм. Точность формы (неплоскостность) составила 200 нм на диаметре 60 мм. Кроме того, на данном станке была внедрена технология определения наиболее благоприятной ориентации кристаллов КРС-5 при фрезеровании плоского зеркала [1].

## REFERENCES

1. **Lapshin V. V., Zakharevich E. M., Kuznetsov M. S., Zaramenskikh K. S., Osipov A. V.** Technology of machining optical parts made of KRS-5 crystals by diamond turning and milling. *Photonics Russia*. 2021;15(1):18–29. **Лапшин В. В., Захаревич Е. М., Кузнецов М. С., Зараменских К. С., Осипов А. В.** Технология обработки оптических деталей из кристаллов КРС-5 методом алмазного точения и фрезерования. *Фотоника*. 2021; 15(1):18–29.

## АВТОРЫ

Бурдак Сергей Викторович, ген. дир., ООО «НПО Асферика», Москва, Россия.  
Захаревич Евгений Мефодьевич, гл. технолог, ООО «НПО Асферика», Москва, Россия.

ORCID: 0000-0001-6997-3335

ID Scopus: 6507318766

ID РИНЦ: 611219

Лапшин Василий Владимирович, ст. инж.-исслед., ООО «НПО Асферика», Москва, Россия.

ORCID: 0000-0002-6971-8534

ID Scopus: 569579058

ID РИНЦ: 752203

Шавва Мария Александровна, к. т. н., ООО «НПО Асферика», Москва, Россия

ORCID: 0000-0002-4676-2567

IR: Q-5682-2017

ID Scopus: 56958444300

ID РИНЦ: 734645

Пошехонов Роман Александрович, к. т. н.,

ФГБОУ ВО МГТУ им. Н. Э. Баумана (НИУ), Москва, Россия.

ORCID: 0000-0003-2188-7854

IR: Q-6206-2016

ID Scopus: 57189362231

ID РИНЦ: 734645

## AUTHORS

Burdak Sergey Viktorovich, CEO LLC «The Scientific and Production Association Aspherica», Moscow, Russia.

Zakharevich Evgeniy Mefodievich, chief technologist, LLC «SPA Aspherica», Moscow, Russia.

ORCID: 0000-0001-6997-3335

ID Scopus: 6507318766

ID RSCI: 611219

Lapshin Vasilii Vladimirovich, senior engineer researcher, LLC «SPA Aspherica», Moscow, Russia.

ORCID: 0000-0002-6971-8534

ID Scopus: 569579058

ID RSCI: 752203

Shavva Mariia Aleksandrovna, Cand. of Sc. (Tech.), LLC «SPA Aspherica», Moscow, Russia.

ORCID: 0000-0002-4676-2567

IR: Q-5682-2017

ID Scopus: 56958444300

ID RSCI: 734645

Poshekhonov Roman Aleksandrovich, Cand. of Sc. (Tech.), Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia.

ORCID: 0000-0003-2188-7854

IR: Q-6206-2016

ID Scopus: 57189362231

ID RSCI: 734645



# ЭЛЕКТРО СТЕКЛО



Приглашаем Вас на выставку  
**«Фотоника.  
Мир лазеров и оптики»**,  
Номер стенда FD033

ООО «Электростекло» – многопрофильное предприятие по производству оптических материалов и кристаллов, оптических компонентов, оптических покрытий, разработка и изготовление оптоэлектронных приборов. Имеется участок роста кристаллов, шесть цехов по изготовлению оптики, участок по изготовлению осевой и внеосевой асферической оптике размером до 1-го метра с точностью  $\lambda/80$  (стекла, кварца, ситалла, церодура и карбида кремния), участок по производству призм высокой точности, участок нанесения оптических покрытий, участок изготовления микрооптики на ЧПУ станках фирмы Optotech, участок алмазного микроточения из материалов (ZnSe, ZnS, Ge, Si, металлооптика).

Организация, являясь разработчиком и производителем автоматизированных интерферометров, а также измерительных комплексов на их основе, обладает значительным научно-технологическим и метрологическим заделом в области обработки и анализа результатов исследований параметров поверхностей изделий. Для обеспечения возможностей абсолютных измерений параметров крупногабаритных оптических деталей разработаны средства интерферометрии с высоким пространственным разрешением. Налажен выпуск серийных изделий, обеспечивающего контроль параметров поверхностей оптических изделий в I – IV диапазонах пространственных частот. Приборы успешно прошли государственные испытания и введены в Реестр средств измерений РФ.

ООО «Электростекло» совместно с иностранным партнером Laser Science Service India Pvt Ltd. разработало и ведет активное производство аппаратов ручной волоконной лазерной сварки (мощностью 1,5, 2 и 3 кВт); аппаратов резки/спайки металла, пластмасс, резиновых уплотнителей и пленок; гравировки, очистки и других технологических операций.

Также одними из основных направлений деятельности ООО «Электростекло» являются: разработка и производство приборов исследований и анализа параметров оптических поверхностей с внесем в государственный реестр РФ в качестве средств измерений, разработка и производство лазерных (CO<sub>2</sub>) источников излучения; изготовление крупногабаритных оптических (осевой и внеосевой асферической оптике размером апертуры до 1000 мм) деталей для оптоэлектронной и космической отраслей; разработка и внедрение специального программного обеспечения для прецизионных оптических станков с ЧПУ; разработка и изготовление высокопрецизионных оптических станков (станки алмазного микроточения, станки алмазного микрофрезерования, шлифовальные и полировальные станки для обработки асферических поверхностей, а также поверхностей, описываемых сложными функциями, доводочные многокоординатные комплексы).

ООО «Электростекло»  
zapros@elektrosteklo.ru  
Тел.: +7 495 234 59 52  
Факс: +7 (910) 485-67-82