

ИССЛЕДОВАНИЕ И РЕАЛИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОБОЛОЧЕК ЗЕРКАЛ РЕНТГЕНОВСКОГО ТЕЛЕСКОПА ART-XC С ПРИМЕНЕНИЕМ ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

*Л. В. Канафеева, М. В. Штыров, А. А. Тарасов, И. Д. Гончаров, А. М. Горелов, Э. Ю. Горячев,
Е. В. Морозова, Э. А. Шаравин, В. Н. Яновский, Е. В. Санкин, В. П. Лазарчук*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

Введение

В 2009 состоялось подписание соглашения между Федеральным космическим агентством (Роскосмосом) и Германским аэрокосмическим центром (DLR) о сотрудничестве по проекту орбитальной астрофизической обсерватории «Спектр-Рентген-Гамма» (СРГ). Ожидается, что в результате работы обсерватории будет обнаружено множество новых активных ядер галактик, а так же новых скоплений галактик, в центре которых, предположительно, находятся сверхмассивные черные дыры. РФЯЦ-ВНИИЭФ в кооперации с Институтом космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН, г. Москва) в рамках указанного проекта разрабатывает телескоп ART-XC.

Прием и фокусировку рентгеновского излучения в телескопе (диапазон энергий от 4 до 35 кэВ) должна обеспечить рентгеновская зеркальная система (РЗС), представляющая собой систему коаксиальных трубок – зеркал с нанесенным на их внутреннюю поверхность рентгеноотражающим слоем. Изготовление таких трубок – зеркал – уникальный технологический процесс, разрабатываемый во ВНИИЭФ. На заготовку из сплава АМг6 наносят толстый слой химически восстановленного никеля. После термообработки в вакууме матрица полируется, и на нее наносится методом гальванопластики слой Ni либо Ni-Co для получения оболочки зеркала [1]. Оболочка зеркала в процессе работы не должна изменять своих геометрических параметров, заданных в КД, поскольку в противном случае фокусировка рентгеновских лучей в фокальной плоскости может быть недостаточно точной, что приведет к потере информации.

Механическая обработка матриц резанием. Финишное алмазное точение

Оболочки зеркал изготавливаются методом репликации (гальванопластики) с матриц, имеющих высокую точность геометрической формы и высокую чистоту поверхности. Цельнометаллическая заготовка матрицы изготавливается из сплава АМг6. Высокая точность геометрической формы матрицы после нанесения никелевого покрытия достигается в результате

финишного алмазного точения. Обработка поверхности прецизионной матрицы двойной конической формы диаметрами от 50 мм до 150 мм и длиной 580 мм возможна только на базе токарных обрабатывающих центров повышенной точности (см. рис. 1).

Инструментальная база для высокоточной обработки представлена мировыми лидирующими компаниями в области металлообработки, такими как Sandvik Coromant, Hoffmann Group, Korloy и т. д. [2]. Инструмент выделяется надежностью, взаимозаменяемостью, универсальностью и стойкостью, что, в свою очередь, несет помимо производительности и качество обрабатываемых изделий. Отечественный мерительный инструмент – с ценой деления 0,01 мм, высокоточный инструмент иностранного производства – с ценой деления 0,001 мм.

На этапе изготовления заготовки матрицы из сплава АМг6 под никелевое покрытие обработка ведется поликристаллическими алмазами с требуемой точностью и отклонениями формы, обеспечивая шероховатость не хуже Ra 0,1. При выполнении финишной токарной обработки натуральными алмазами (см. рис. 2) необходима предварительная настройка и разворот инструмента на углы, соизмеримые с углами матрицы для обеспечения минимально возможной шероховатости (не хуже Rz 0,032 мкм). При этом обязательны ряд условий: термостабилизация зоны обработки (или надзорный контроль за изменением температуры); подбор смазывающе-охлаждающей жидкости (СОЖ), ее напор (давление в сети) и направленность на зону обработки; базы и базирование и т. д.

Перечисленные выше условия – это только часть комплекса мероприятий технологического обеспечения качества матрицы [3]:

– Базирование и закрепление детали на станке. Отсутствие деформаций при закреплении детали. Повторяемость положения детали при закреплении.

– Начальная установка режущего инструмента в заданные координаты. Контроль сохранения координат инструмента в процессе обработки детали. Отработка управляющей программы в целом, при изготовлении тестовой детали.

– Контрольные операции. Способы обеспечения точности измерений. Особые условия проведения измерений.

– Межоперационное хранение и транспортировка деталей. Предохранение поверхностей деталей от повреждений, потемнений, загрязнений.



Рис. 1. Токарно-обрабатывающий центр повышенной точности

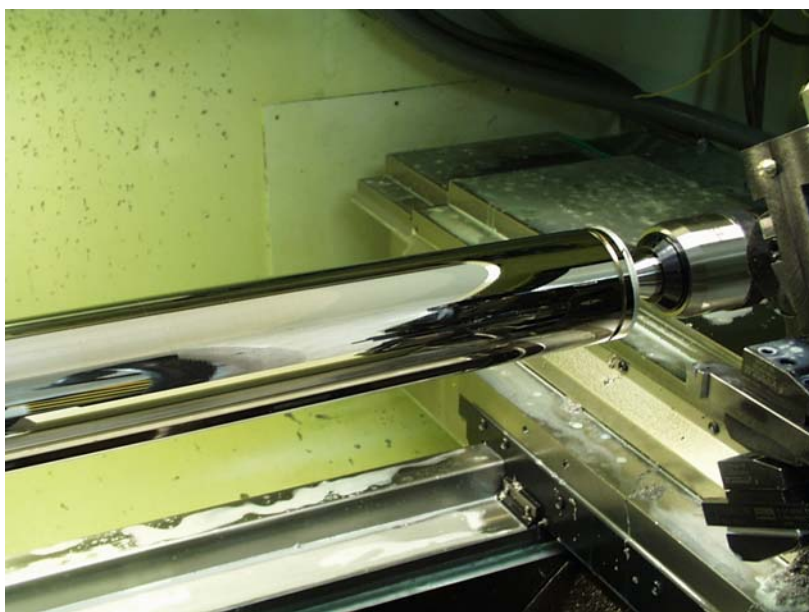


Рис. 2. Матрица после финишного алмазного точения

Суперфинишная полировка матриц

Для обеспечения высокой чистоты внутренней поверхности реплицируемой оболочки матрица полируется. Достижение высокой степени полировки матрицы возможно только с применением специального оборудования. Такое оборудование было разработано и изготовлено в виде «Стенда полирования» (см. рис. 3). В процессе проектирования стенда были рассчитаны оптимальные режимы обработки матриц [4]: скорости рабочих ходов продольной подачи, числа оборотов образующей конической поверхности зеркала. Расчеты проведены с учетом осевых моментов сопротивления при равномерном нагружении матрицы. По результатам расчетов выбраны приводы движения, обеспечивающие требуемые

режимы работы: высокий КПД, отсутствие вибрации, люфта и холостого хода, точность хода на рабочих режимах полировки до 0,2 %. В качестве рабочего инструмента полирования разработаны притиры с оптимальным покрытием обрабатываемой поверхности и применением материалов стандартных типов-размеров (дорогостоящей алмазной шкурки) [5]. Для обеспечения высокой степени полировки впервые в России применен метод полирования абразивной шкуркой с размером зерна до 1 мкм. Новая технология является более производительной и дешевой, не требующей специальной подготовки персонала, по сравнению с технологиями использования оптической смолы с абразивными частицами, применяемыми в ГОИ Вавилова (г. Москва) и ОФЛ (г. Санкт-Петербург).



Рис. 3. Стенд полирования

Процесс полирования рабочей поверхности до максимальной чистоты производился в несколько этапов:

- полирование начиналось с применением шкурки с размером зерна 15 мкм с быстрой продольной подачей притира при медленном вращении матрицы, что позволяет убрать уступы, оставленные резцом при предварительной обработке на микроуровне, за минимально возможное время;

- дальнейшая обработка велась шкуркой с размером зерна 9 мкм и 3 мкм с обильной подачей дистиллированной воды в область полирования;

- при окончательной обработке применялась алмазная шкурка с размером зерна 1 мкм, что позволило добиться высокой степени чистоты. На сегодняшний день достигнута чистота поверхности 10 Å.

Нанесение твердого никелевого покрытия.

Изготовление оболочек

Постоянно совершенствуется технология получения на матрице прочносцепленного толстого покрытия никель-фосфор АМг6 с заданными свойствами [6]. Толщина и качество NI-P покрытия (нанесенного за один прием) зависит от многих параметров: подготовки поверхности покрываемого материала, состава химического никелирования, температуры и соотношения объема раствора никелирования к площади покрываемой поверхности (V/S). Исследование влияния соотношения V/S включает по сути исследование двух важных составляющих процесса никелирования: скорости осаждения никеля, что влияет на механические свойства покрытия, и максимальной толщины покрытия в растворе без коррировки. Зависимости для последнего соотношения при фиксированных остальных (температуре 85–87 °С) получают только эмпирически (см. рис. 4). Исследованы соотношения V/S 1:1, 1:2, 1:3, 1:4, 1:5, 1:12 и результаты покрытий заготовок матриц на стенде P0714 ART-XC и модуле Э400. Практически, для исправления геометрии матриц, возникает необходимость в покрытиях более 100 мкм, поэтому при проектировании специализированного гальванического модуля Э400 объем ванны химического никелирования был выбран из соотношения $V/S = 3,5-4$ для матрицы максимального диаметра (~150 мм). Химическое никелирование в указанной ванне матрицы минимального диаметра (~50 мм) будет идти при соотношении $V/S = \sim 12$, т. е. с повышенной скоростью осаждения. Для сужения диапазона изменения соотношения V/S в модуле запланировано применение емкостей – вставок для уменьшения объема раствора никелирования с уменьшением размеров матриц (см. таблицу). Сопутствующий положительный эффект: повышается степень полезной выработки раствора, уменьшаются объемы отработанного раствора, следовательно, уменьшается себестоимость изготовления матриц, что важно при масштабном изготовлении матриц и оболочек.

Наименование, размеры емкости, мм	Средние диаметры матриц, мм	Соотношение V/S
Ванна гальваническая, 400*400	145–100	3,4–5,4
Вставка 1, 310*330	100–83,5	3,4–4,2
Вставка 2, 290*290	83,5–72	3,4–3,9
Вставка 3, 270*270	72–62,5	3,4–4,0
Вставка 4, 250*250	62,5–48,6	3,4–4,4

Для обеспечения качественного покрытия кромок и защиты установочных поверхностей разработана КД и изготовлены комплекты технологической оснастки 28 типоразмеров матриц. Параметры оснастки подбирались экспериментально по критериям качества кромок NI-P покрытия и равномерности распределения электрического поля по цилиндрической поверхности покрываемых деталей при изготовлении оболочек. Изготовление покрытий на модуле в условиях вращения и вибрации потребовали введения специальных стяжек, предотвращающих раскручивание винтовых соединений.

Значительные масштабы изготовления штатных оболочек с высокими точностными параметрами и при стабильном качестве возможны только на специализированном гальваническом модуле с автооператором (см. рис. 5), который обеспечит:

- максимальное качество и стабильность технологических процессов (непрерывная фильтрация и перемешивание растворов и электролитов, струйная промывка деионизированной водой, вращение и «встряхивание» (вибрация) покрываемой детали и др.);
- максимальный контроль и регулирование параметров технологических процессов;
- минимизацию ручных работ.

В модуле реализуются технологии, отработанные в процессе НИР и на стенде P0714 ART-XC.

Разнотолщинность оболочек, изготовленных на стенде P0714 ART-XC, достигала 40 мкм. Этот показатель, удовлетворительный по меркам гальванических покрытий, выходит за пределы жесткого допуска, заданного в КД. Существенное повышение качества оболочек, достигнутое в модуле Э400 за счет непрерывной фильтрации электролита с перемешиванием, равномерного температурного поля ванны, непрерывного вращения матрицы, позволило снизить разнотолщинность оболочек до 25 мкм.

Параллельно с развитием технологического процесса изготовления зеркал идет конструкторская отработка составных частей телескопа, для которых используются зеркала с некоторыми допущениями. Так на этапе изготовления комплекта оболочек РЗС для ЛОИ допуск на отклонение от геометрической формы матриц был расширен до 3–5 мкм, чистота поверхности – до уровня 10 А°, оболочки без рентгеноотражающего покрытия.

По указанным выше технологиям изготовлен и передан на сборку комплект оболочек зеркал РЗС для ЛОИ (см. рис. 6).

Наращение толщины Ni-P покрытия

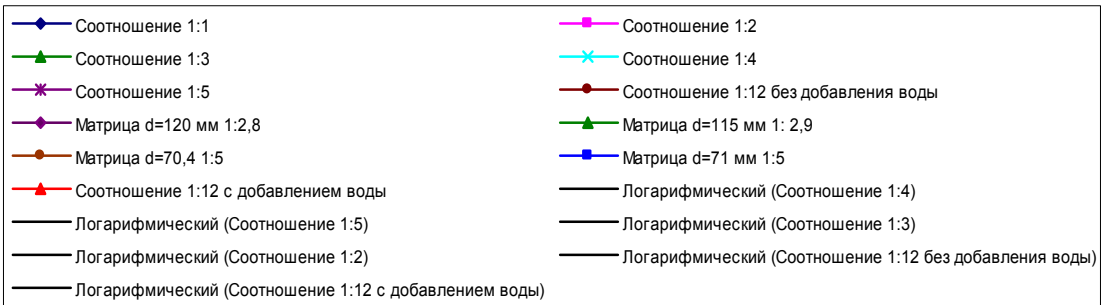
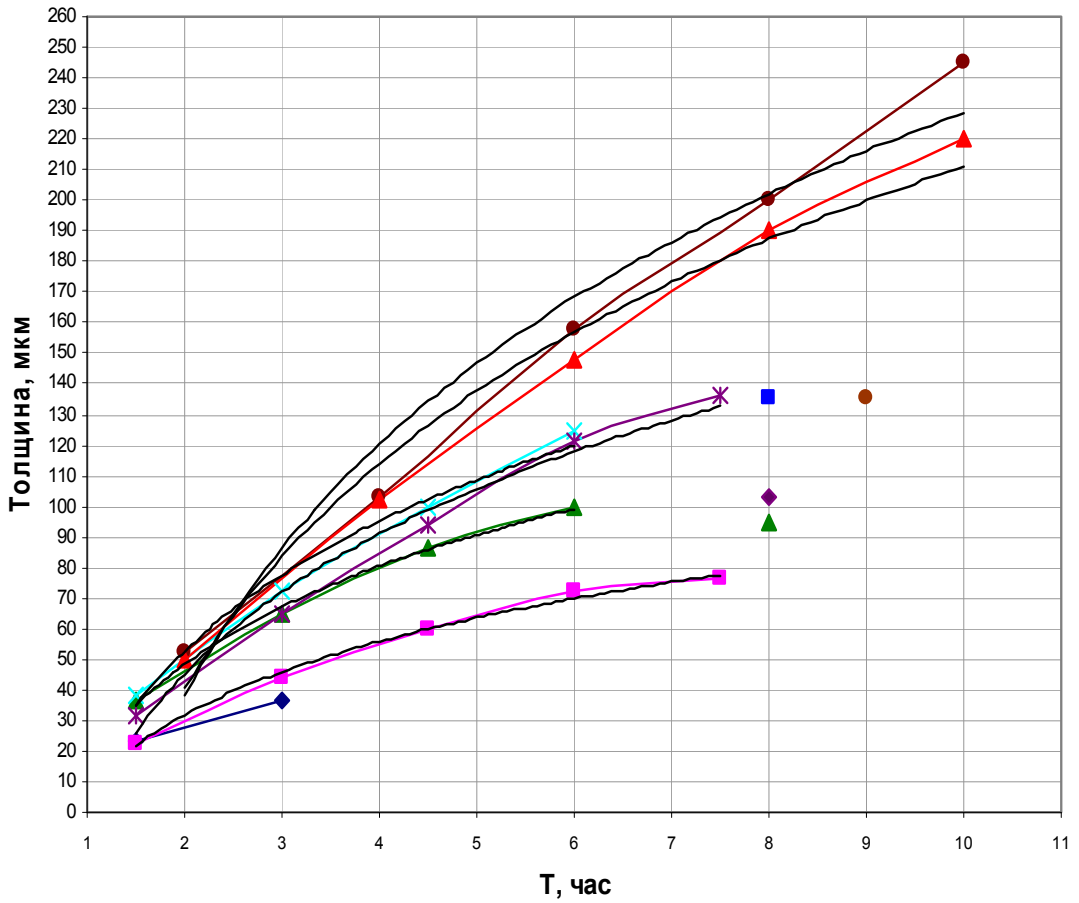


Рис. 4. Толщина никелевого покрытия в зависимости от V/S



Рис. 5. Специализированный гальванический модуль Э400



Рис. 6. Оболочки зеркал РЗС для ЛОИ

Выводы

1. Проведены исследования процессов механической обработки и никелирования матриц. По разработанным технологиям изготовлен и передан на сборку комплект оболочек зеркал РЗС для ЛОИ с параметрами: точность геометрической формы матриц 3–5 мкм, чистота поверхности менее 10 А°, разнотолщинность оболочек менее 25 мкм с применением высокотехнологического оборудования (точение – токарно обрабатывающий центр, полирование – стенд полирования, покрытия – специализированный гальванический модуль Э400).

2. С целью достижения уникального качества штатных оболочек (точности геометрической формы матриц 0,5–1 мкм, точности углов двойной конической поверхности менее 0,12', чистоты поверхности не более 4 А° и разнотолщинности оболочек не более 20 мкм) технология их изготовления непрерывно совершенствуется:

– механическая обработка алюминиевой заготовки матрицы и ее никелированной поверхности – применением комплекса мероприятий технологического обеспечения качества изделия;

– технологии полирования – доведением режимов полирования никеля до чистоты 4 А° путем экспериментального подбора полирующих материалов;

– покрытие матрицы – стабилизацией свойств никелевого слоя, при изготовлении оболочек гальваническим методом – регулированием химического состава электролита.

Литература

1. Садаков Г. А. Гальванопластика: Справочное пособие. М.: Машиностроение, 2004.
2. Металлорежущий инструмент [Текст]: каталог / KORLOY. С-П., 2003. 448 с.
3. Вентцель Е. С. Исследование операций: задачи, принципы, методология [Текст]. М.: Наука, 1983. 203 с.
4. Баранчиков В. И., Жаринов А. В., Юдина Н. Д., Садыхов А. И. Прогрессивные режущие инструменты и режимы резания металлов. М.: Машиностроение, 1990.
5. Драгун А. П., Карпов С. Г., Сафронов И. И., Азамаскова Ж. И., Семенов А. А. Прогрессивная оснастка, приспособления и инструмент. ЛЕНИЗДАТ, 1979.
6. Горбунова К. М., Никифорова А. А. Физико-химические основы процесса химического никелирования. М.: Издательство академии наук СССР, 1960.