

УДК 681.7.055.32 + 681.7.02

## Основные пробные стёкла как эталонные мастер-матрицы для серийного и массового производства сферических зеркал и линз

© 2020 г. **А. В. Лукин, доктор техн. наук; А. Н. Мельников, канд. техн. наук**

АО «НПО «Государственный институт прикладной оптики», Казань

E-mail: gipo@telebit.ru

Поступила в редакцию 20.03.2020

DOI:10.17586/1023-5086-2020-87-08-49-52

---

Предложено использовать основные пробные стёкла первого класса точности и первой группы сопряжения в качестве эталонных мастер-матриц при организации серийного и массового выпуска сферических зеркал и линз на основе прецизионной репликации в полимерных слоях на заготовках с одной или двумя шлифованными рабочими поверхностями. Показана целесообразность применения в серийном производстве иерархии мастер-матриц, включающей эталонные, образцовые, контрольные и рабочие. Кратко рассмотрены ключевые вопросы практической реализации данного предложения.

**Ключевые слова:** основные пробные стёкла, эталонная мастер-матрица, серийное и массовое производство, сферические поверхности зеркал и линз, прецизионная репликация, полимерные слои.

**Коды OCIS:** 220.4610, 220.3630, 230.4040, 240.6700, 160.5470

---

Прецизионная репликация в полимерных слоях холодного отверждения элементов дифракционной и асферической оптики известна давно [1–4]. Следует отметить, что эта технология серийного тиражирования оптических элементов, разрабатываемая и применяемая в АО «НПО ГИПО» с начала 1960-х годов [5, 6], пригодна для получения любых видов оптических поверхностей, в том числе плоских, сферических, асферических, а также free-form, и отличается исключительной простотой реализации, относительно низкой себестоимостью, наличием и доступностью используемых малоусадочных полимерных материалов. Но особую практическую значимость представляет производство реплицированных сферических зеркал и линз. Ниже излагается возможный вариант организации их серийного выпуска.

Учитывая известные достоинства технологии прецизионной репликации, предлагаем на

одном из отечественных предприятий, занимающемся серийным выпуском оптики, создать централизованный банк эталонных мастер-матриц на основе использования имеющихся на российских предприятиях основных пробных стёкол (ОПС) первого класса точности и первой группы сопряжения. Целесообразно на этом же предприятии организовать участок прецизионного реплицирования для изготовления мастер-матриц всех иерархических уровней по заказам заинтересованных предприятий.

Основные этапы подготовки и реализации серийного и массового выпуска оптических приборов и систем на основе использования реплицированных оптических элементов (зеркал и линз) со сферическими рабочими поверхностями следующие:

- расчёт оптической системы, в том числе выбор параметров рабочих поверхностей оптических элементов;

- выбор эталонных мастер-матриц — эталонной пары из централизованного банка имеющихся ОПС с общей номенклатурой радиусов кривизны 2712 номиналов. Таким образом, эталонные сферические мастер-матрицы уже имеются;

- выбор и синтез полимерной композиции в зависимости от требуемой производительности, варианта полимеризации (фото-, термо- или химической) и других требований;

- разработка и изготовление необходимой технологической оснастки для осуществления операции реплицирования;

- изготовление образцовой мастер-матрицы — вогнутой или выпуклой — идентичной соответствующей эталонной мастер-матрице, но с заданными размерами и формой рабочей поверхности;

- изготовление контрольной мастер-матрицы заданных размеров и формы рабочей поверхности;

- изготовление рабочих мастер-матриц заданных размеров и формы рабочей поверхности. Материал и количество рабочих мастер-матриц определяются объёмом серийного производства и выбранным вариантом полимеризации;

- изготовление заданного количества заготовок с одной (зеркало) или двумя (линза) тонкошлифованными рабочими поверхностями путём «блочной» технологии или на оптических станках с числовым программным управлением (ЧПУ);

- изготовление партии идентичных оптических элементов и их паспортизация.

Изготовление мастер-матриц и тиражирование оптических элементов осуществляется путём прецизионной репликации.

Отметим, что идея о введении иерархических уровней мастер-матриц была высказана нами ранее [7]. Учитывая исключительную важность введения этой иерархии в процесс серийного производства оптических деталей, рассмотрим этот вопрос подробнее.

Высший уровень здесь занимают эталонные мастер-матрицы, которые (по аналогии с ОПС [8]) должны всегда изготавливаться максимального размера и только парами — выпуклая и вогнутая, что всегда гарантирует возможность взаимного интерферометрического контроля их рабочих поверхностей. Ниже следуют уровни: образцовая мастер-матрица,

контрольная мастер-матрица и рабочие мастер-матрицы (в необходимом количестве). При этом образцовые, контрольные и рабочие мастер-матрицы изготавливаются заданного размера и формы рабочей поверхности и только одного знака (выпуклые или вогнутые).

При массовом и долговременном производстве, по-видимому, целесообразно наносить на сферические поверхности рабочих мастер-матриц упрочняющие, в том числе алмазоподобные, покрытия.

Преимущества этой технологии формообразования в условиях серийного и массового производства оптических элементов состоят в следующем:

- высокая идентичность реплицированных сферических зеркал и линз (по радиусу кривизны, общим и местным ошибкам, классу чистоты и значению шероховатости). Это способствует упрощению сборочно-юстировочных операций оптических систем;

- высокая производительность, в том числе возможность конвейерной формы производства. При этом не требуется привлечение операторов с высокой квалификацией;

- уменьшение трудоёмкости формообразования рабочих поверхностей заготовок за счёт исключения операций полировки при реализации «блочной» технологии производства или на оптических станках с ЧПУ.

Отметим, что, как показывает наша практика, общие и местные ошибки, класс чистоты и шероховатость реплицированных поверхностей при соблюдении технологических режимов получаются практически идентичными аналогичным параметрам мастер-матриц. При этом температурная и механическая прочность, долговечность реплицированных оптических элементов (зеркал и линз) близки к «полностью» стеклянным аналогам.

Таким образом, получение оптических деталей путём прецизионной репликации при серийном и массовом производстве является самым производительным способом, так как в данном случае многократно сокращаются сроки и материальные затраты на подготовку серийного производства, а сам процесс формообразования рабочей поверхности зеркала или линзы не превышает нескольких минут. Так, например, в течение двух–пяти рабочих смен можно организовать подготовку производства и начать серийный выпуск реплицированных

изделий практически в неограниченных объёмах. При этом наибольшую значимость может получить серийное производство сферических зеркал и линз в силу наличия у предприятий

эталонных мастер-матриц высочайшей оптической точности в виде ОПС, а традиционное оптическое производство примет совершенно другой облик.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Герасимов Ф.М., Яковлев Э.А. Дифракционные решетки / Современные тенденции в технике спектроскопии. Новосибирск: Наука, 1982. С. 24–94.
2. Hutley M.C. Diffraction gratings. London — New York: Academic Press, 1982. 320 p.
3. Торбин И.Д., Нижин А.М. Применение полимеризующихся клеев для копирования оптических поверхностей // Оптико-механическая промышленность. 1973. № 3. С. 56–59.
4. Окатов М.А., Антонов Э.А., Байгожин А. и др. Справочник технолога-оптика / Под ред. Окатова М.А. СПб.: Политехника, 2004. 679 с.
5. Бейнарович Л.Н., Салимова Э.А., Мартынов В.П. Изготовление крупногабаритных зеркал из полимеров методом копирования // Оптико-механическая промышленность. 1971. № 10. С. 41–44.
6. Ахметов М.М., Белозёров А.Ф., Балоев В.А., Белокопытов А.А., Гайнутдинов И.С., Иванов В.П., Лукин А.В., Мельников А.Н., Могилюк И.А. Научно-производственный комплекс серийной прецизионной репликации элементов асферической и дифракционной оптики // Контенант. 2016. Т. 15. № 3. С. 39–42.
7. Лукин А.В., Мельников А.Н., Ахметов М.М., Берденников А.В., Гайнутдинов И.С., Жданова А.В., Иванов В.П., Лисова Е.Г., Могилюк И.А. Реплицированная асферическая оптика. Основные аспекты организации серийного и массового производства // Контенант. 2017. Т. 16. № 2. С. 167–172.
8. ГОСТ 2786–82. Стёкла пробные для проверки радиусов и формы сферических оптических поверхностей. Технические условия.