

Дополнительные и низкозатратные возможности серийного формообразования оптических поверхностей методом прецизионного реплицирования на основе использования малоусадочных полимерных композиций холодного отверждения

А. В. Лукин¹, А. Н. Мельников¹, Е. Г. Лисова¹, А. И. Садрутдинов¹, Н. А. Гурин^{2,3}

¹ Акционерное общество «Научно-производственное объединение «Государственный институт прикладной оптики», Казань, Россия;

² Акционерное общество «Новосибирский приборостроительный завод», Новосибирск, Россия;

³ Институт автоматики и электрометрии Сибирского отделения Российской Академии наук, Новосибирск, Россия

В докладе рассматриваются дополнительные и низкозатратные возможности серийного формообразования оптических поверхностей методом прецизионного реплицирования на основе использования малоусадочных полимерных композиций холодного отверждения. В качестве иллюстрации приводится пример изготовления комбинированного оптического элемента с асферической рабочей поверхностью.

Ключевые слова: Оптическая поверхность, Серийное производство, Метод прецизионного реплицирования, Малоусадочная полимерная композиция холодного отверждения.

Цитирование: Лукин, А. В. Дополнительные и низкозатратные возможности серийного формообразования оптических поверхностей методом прецизионного реплицирования на основе использования малоусадочных полимерных композиций холодного отверждения / А. В. Лукин, А. Н. Мельников, Е. Г. Лисова, А. И. Садрутдинов, Н. А. Гурин // HOLOEXPO 2023: 20-я Международная конференция по голографии и прикладным оптическим технологиям : Тезисы докладов. — СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2023. — С. 311–314.

В результате значительного роста в последние годы потребностей рынка оптики и фотоники в объективах различного назначения для широкой спектральной области (смартфоны, планшеты, цифровые фотоаппараты, видеопроекторы, системы видеонаблюдения и безопасности, оптические приборы для дистанционного зондирования Земли и др.) возникла необходимость существенного увеличения производительности, повышения точности, оптимизации затрат и снижения себестоимости изготовления базовых оптических элементов [1, 2].

Эта актуальная проблема может быть кардинально решена путем организации серийного и массового производства оптических элементов с рабочими поверхностями любого вида (плоские, сферические, асферические, а также «free-form») на основе низкозатратной технологии прецизионного реплицирования с использованием полимерных композиций холодного отверждения [3 – 8]. При этом получают так называемые комбинированные оптические элементы (КОЭ), состоящие, как правило, из стеклянной основы с относительно тонким одним или двумя слоями полимера, которые имеют внешние поверхности заданной

формы. Использование малоусадочных полимерных композиций холодного отверждения гарантирует:

- отсутствие термических деформаций у подложек;
- высокую идентичность однотипных КОЭ в каждой партии.

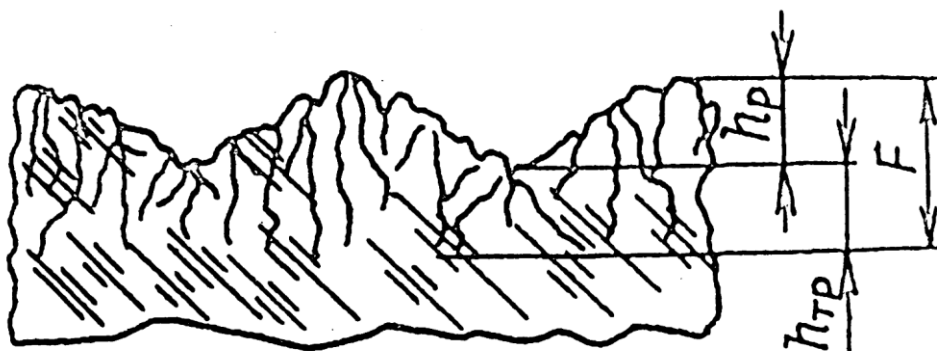
КОЭ обладают высокими механическими и оптическими свойствами «стеклянной» оптики, но при этом себестоимость их серийного и массового изготовления многократно ниже. В качестве иллюстрации приводится пример изготовления КОЭ с асферической рабочей поверхностью.

Нами установлено, что по форме поверхности ($N, \Delta N$), классу чистоты (P) и параметрам шероховатости (R_z, R_a) реплицированные поверхности идентичны рабочей поверхности их мастер-матрицы. Кроме того, по сохраняемости и стойкости к климатическим воздействиям КОЭ практически не уступают соответствующим «чисто» стеклянным аналогам, что было установлено по результатам проведения многократных комплексных испытаний различных типов КОЭ в течение многих лет [8].

В данной работе рассматриваются такие дополнительные возможности низкочестного получения КОЭ, как:

- восстановление оптических элементов из брака по форме поверхности ($N, \Delta N$), классу чистоты (P), параметрам шероховатости (R_z, R_a) и «провалу» по толщине¹;
- реплицирование на подложки с мелко-, средне- и грубошлифованными рабочими поверхностями.

При этом мы предположили, что *побочным, но исключительно ценным и важным*, технологическим эффектом может быть возможность снижения или полного исключения негативного влияния трещиноватого слоя [2, 9 – 11]. На рис. 1 приведено схематическое изображение его структуры, характерное для оптических стекол, шлифованных свободным абразивом [9].



h_p — рельефный слой, $h_{тр}$ — трещиноватый слой, F — нарушенный слой

Рис. 1. Строение поверхности стекла, разрушенной шлифующим абразивом [4]

Предлагаем не избавляться от него путем трудоемкой технологии ГШП (глубокая шлифовка и полировка), как это принято в современном оптическом производстве [9], а *нейтрализовать* его вредоносные свойства на начальной стадии реплицирования, в том

¹Первые результаты по реализации этой возможности представлены в нашей работе [4].

числе за счет использования капиллярных свойств рельефа и микротрещин нарушенного слоя.

Формообразование оптических поверхностей методом прецизионного реплицирования открывает возможность снижения или полного исключения негативного влияния нарушенного слоя. При этом оказывается возможным использование подложек с мелко-, средне- и даже грубошлифованными рабочими поверхностями. Это, очевидно, обеспечивает существенное снижение трудоемкости и себестоимости процесса формообразования оптических поверхностей подложек КОЭ.

В качестве иллюстрации на рис. 2 представлены микрофотографии двух плоских грубошлифованных (использовался абразивный шлиф-порошок М100) образцов из стекла марки К8. На один из них было произведено реплицирование с высококачественной плоской мастер-матрицы (её общее отклонение от плоскостности $N < 0,1$ интерференционной полосы; местное отклонение от плоскостности $\Delta N < 0,05$ интерференционной полосы). Видно, что качество его реплицированной рабочей поверхности достаточно высокое, хотя и заметны местные отклонения $\sim 0,5$ интерференционной полосы, наличие которых, по-видимому, объясняется влиянием исходного (до процесса реплицирования) большого отклонения этой грубошлифованной поверхности от плоскостности и влиянием остаточной усадки полимера.



а) поверхность после грубой шлифовки (обработка шлиф-порошком М100)



б) реплицированная поверхность (с использованием малоусадочной фотополимерной композиции)

Рис. 2. Фотоснимки, полученные в микроинтерферометре Линника

В настоящее время работы по данному научно-технологическому направлению продолжают в части разработок и их реализации в оптическом производстве.

Список источников

- [1] **Photonics. Industry Report 2013. Key Data** // Электрон. дан. — ЕС, 2013. — Заглавие с экрана. — Режим доступа: http://www.photonics21.org/download/Photonics_industry_report_2013/photronics_industry_report_2013.pdf.
- [2] **Развитие фотоники в России и мире:** публичн. аналит. доклад / Под рук. д-ра экон. наук И.Г. Дежиной. — М.: Битуби, 2016. — 432 с.

- [3] **Лукин, А. В.** Реплицированная асферическая оптика: основные аспекты организации серийного и массового производства / А. В. Лукин, А. Н. Мельников, М. М. Ахметов, А. В. Берденников, И. С. Гайнутдинов, А. В. Жданова, В. П. Иванов, Е. Г. Лисова, И. А. Могилюк // Контенант. — 2017. — Том 16. — № 2. — С. 167–172.
- [4] **Лукин, А. В.** Опыт применения технологии прецизионного реплицирования для восстановления оптических деталей из брака при серийном производстве / А. В. Лукин, Н. А. Гурин, А. Н. Мельников, Е. Г. Лисова, А. А. Свистунова // Оптический журнал. — 2023. — Том 90. — № 7. — С. 107–115. — DOI: 10.17586/1023-5086-2023-90-07-107-115
- [5] **Серова, В. Н.** Полимерные оптические материалы / В. Н. Серова. — СПб.: Изд-во НОТ, 2015. — 382 с.
- [6] **Патент на изобретение № 2722622 РФ.** Способ изготовления комбинированного оптического элемента / А. В. Лукин, А. Н. Мельников. — Заяв. 17.09.2019. — Оpubл. 02.06.2020.
- [7] **Бейнарович, Л. Н.** Изготовление крупногабаритных зеркал из полимеров методом копирования / Л. Н. Бейнарович, Э. А. Салимова, В. П. Мартынов // Оптико-механическая промышленность. — 1971. — № 10. — С. 41–44.
- [8] **Лукин, А. В.** Прецизионное реплицирование всех видов оптических поверхностей – научно-технологическая основа кардинальных преобразований в современном оптическом производстве / А. В. Лукин, А. Н. Мельников // Оптический журнал. — 2022. — Том 89. — № 10. — С. 42–50. — DOI: 10.17586/1023-5086-2022-89-10-42-50
- [9] **Окатов, М. А.** Справочник технолога-оптика / М. А. Окатов, Э. А. Антонов, А. Байгожин и др.; Под ред. М. А. Окатова. — СПб.: Политехника, 2004. — 679 с.
- [10] **Захаревич, Е. М.** Современные направления и тенденции в области обработки оптических материалов / Е. М. Захаревич, М. А. Шавва // Лазер-Информ. — 2021. — № 4 (691). — С.1–3.
- [11] **ОСТ 3–6043–86** Заготовки оптических деталей. Припуски на обработку глубоким шлифованием и глубоким полированием. — М.: Изд-во ЦНИИ «Комплекс», 1986. — 9 с.

Additional and low-cost possibilities of serial shaping of optical surfaces via precision replication method based on the use of low-shrinkage cold-setting polymer compounds

A. V. Lukin¹, A. N. Melnikov¹, E. G. Lisova¹, A. I. Sadrutdinov¹, N. A. Gurin^{2,3}

¹ JSC “Scientific and Production Association “State Institute of Applied Optics”, Kazan, Russia

² JSC “Novosibirsk Instrument-Building Plant”, Novosibirsk, Russia

³ Institute of Automatics and Electrometry of the Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia

This report considers additional and low-cost possibilities of serial shaping of optical surfaces via precision replication method based on the use of low-shrinkage cold-setting polymer compounds. As an illustration, an example of a combined optical element with an aspherical working surface is given.

Keywords: Optical surface, Serial production, Precision replication method, Low-shrinkage cold-setting polymer compound.