

Станок новой конструкции для двухстороннего полирования оптических плоско-параллельных пластин прямоугольной формы

Г. Р. Сагателян, Е. Р. Пискунова, Н. Н. Дубовик, А. С. Кузнецов

Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана, Москва, Россия

Разработана методика полирования поверхности деталей, которые являются волноводами в оптических системах дополненной реальности. Из данной методики следует, что операцию шлифовки указанного класса прецизионных деталей следует производить групповым методом на станке для двухсторонней доводки, а операцию полирования – на разработанном станке новой конструкции индивидуального двухстороннего полирования. При этом после двухсторонней групповой шлифовки детали приобретают погрешность формы в виде двоякой выпуклости, а на операции двухстороннего индивидуального полирования за счёт применения расчётной наладки станка, обеспечивается возникновение отклонений от плоскостности полируемых поверхностей в виде вогнутости. Это позволяет на операции полирования компенсировать погрешности формы, возникшие при выполнении последней операции шлифовки.

Ключевые слова: Формообразование оптических поверхностей, Оптические плоско-параллельные пластины, Двухстороннее полирование, Отклонения формы, Выпуклость, Вогнутость, Компенсация отклонений формы.

Цитирование: Сагателян, Г. Р. Станок новой конструкции для двухстороннего полирования оптических плоско-параллельных пластин прямоугольной формы / Г. Р. Сагателян, Е. Р. Пискунова, Н. Н. Дубовик, А. С. Кузнецов // HOLOEXPO 2022: XIX Международная конференция по голографии и прикладным оптическим технологиям : Тезисы докладов. — Барнаул: ИП Колмогоров И. А., 2022. — С. 435–440.

В настоящее время всё большее распространение получают системы дополненной реальности, включающие очки специальной конструкции. Ключевой деталью таких очков являются оптические волноводы, которые предназначены для передачи как знаково-символьной информации, так и видеоизображений [1]. Оптические волноводы представляют собой плоскопараллельные пластины, к рабочим поверхностям которых предъявляются исключительно высокие требования по отклонениям от плоско-параллельности, которые должны находиться в пределах до 1 мкм на каждые 100 мм длины оптического пути лучей, несущих информацию о передаваемом изображении.

Обеспечение указанного требования методами традиционной оптической технологии, предусматривающей достижение требуемой плоскостности функциональных поверхностей поочерёдно, применяя перенаклеивание заготовки, представляется проблематичным, поскольку в это случае неизбежно возникают погрешности установки, связанные с неравномерностью толщины клеевого слоя, которая, в свою очередь, обусловлена неравномерностью нагрузки, прикладываемой как при наклеивании, так и при обработке, неомогенностью клеевого состава и т.п. Наиболее перспективным методом обеспечения

требуемой плоскопараллельности деталей в форме нежёстких оптических плоскопараллельных пластин представляется двухсторонняя доводка. Станки для двухсторонней доводки планетарного типа внедрены и применяются на НПО «Геофизика-Космос» в условиях серийного производства [2].

Существующие конструкции станков планетарного типа отличаются крупногабаритностью, что в условиях установившегося массового или серийного производства является их достоинством, однако в условиях единичного производства при проведении НИР и ОКР применение таких станков вряд ли целесообразно. Кроме того, конструкции таких станков не предусматривают разгрузку сепаратора, что может приводить к разрушению тонких пластин из хрупких материалов. В МГТУ им. Н.Э. Баумана для экспериментальных исследований возможностей технологических операций двухсторонней шлифовки и полирования образцов из оптического стекла разработан и изготовлен настольный станок эксцентрикового типа. (Рис. 1).

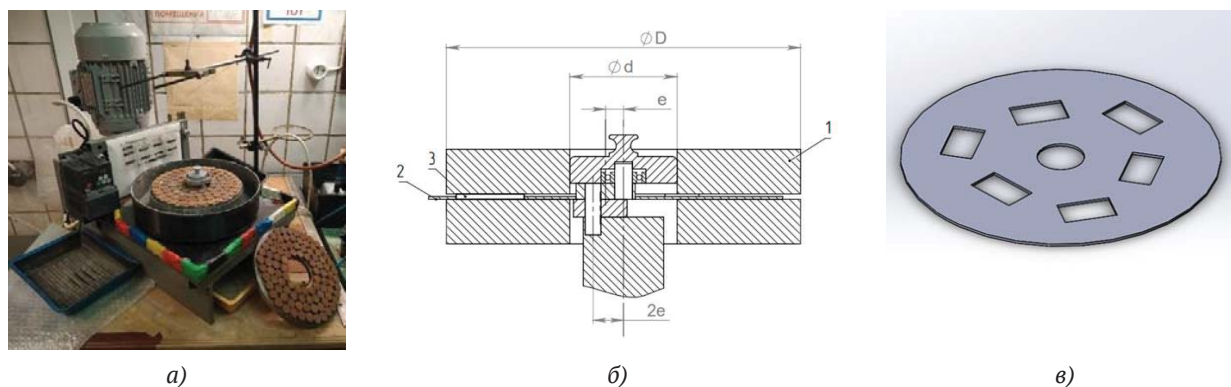


Рис. 1. Внешний вид (а), схема (б) и конструкция сепаратора (в) настольного станка для групповой двухсторонней доводки эксцентрикового типа

Предусмотрена возможность применять как чугунные притиры, так и притиры на основе таблетированного инструмента. Также применяются как полировальники из вспененного полиуретана различной жесткости, так и смоляные полировальники. Сепаратор с заготовками помещается на нижний притир, а верхний притир вращается за счёт сил трения от деталей, находящихся в гнездах сепаратора, установленного с эксцентриситетом, относительно как верхнего, так и нижнего притиров. Такая схема обеспечивает разгрузку сепаратора, который может быть изготовлен с помощью 3D принтера, а также вырезанием из стеклотекстолита марки FR-4 [3], [4].

Станок предназначен для доводки как круглых, так и прямоугольных деталей или деталей более сложной конфигурации. В последнем случае в сепараторе могут быть выполнены отверстия соответствующей формы (см. рис. 1, в). Кроме ого может быть применена схема доводки «сепаратор в сепараторе», когда деталь произвольной конфигурации устанавливается в круглый сепаратор с отверстием в форме детали, который, в свою очередь, устанавливается в круглое отверстие основного сепаратора (рис. 2, а, б).

Конструкция «сепаратор в сепараторе» позволяет прямоугольным деталям проворачиваться вокруг собственной оси в процессе обработки. Этой же цели достигает и применение сепаратора с отверстиями сложной конфигурации. В частности, для доводки прямоугольных деталей формы рекомендуется применение отверстий в форме неправильных шестиугольников (см. рис. 2, в). Такая конструкция защищена патентом РФ [5].

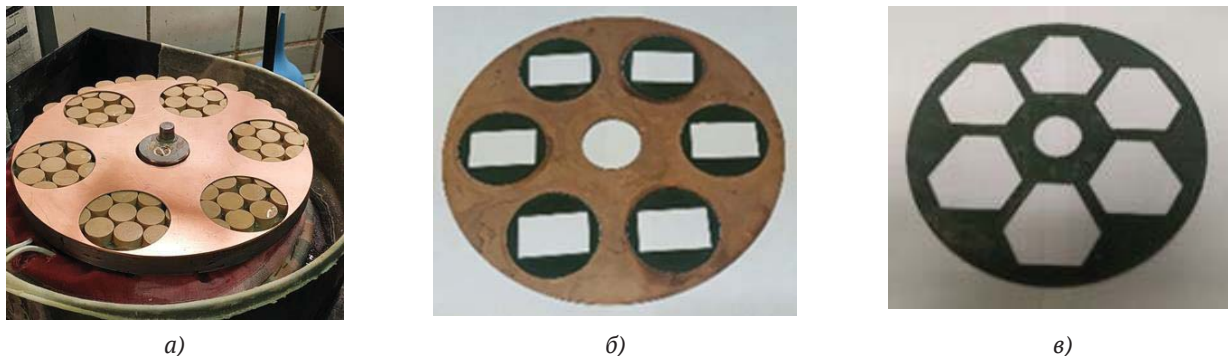


Рис. 2. Основной сепаратор (а), конструкция «сепаратор в сепараторе» (б) и сепаратор с отверстиями сложной формы применительно к доводке прямоугольных деталей

Однако экспериментальные исследования, проводимые как на планетарных и на эксцентриковых станках для двухсторонней доводки, показывают, что обработанные детали имеют систематическую погрешность формы – выпуклость – на обеих доведённых плоскостях.

Для решения этой проблемы рекомендуется следующая структура технологического процесса шлифовки и полирования оптических волноводов систем дополненной реальности. Операции оптической шлифовки, т.е. доводки свободным или связанным абразивом с формированием матовой поверхности, рекомендуется производить методом групповой обработки на настольном станке двухсторонней доводки эксцентрикового типа. При этом формируется систематическая погрешность формы функциональных плоских поверхностей в виде выпуклости. Целью этого этапа технологического процесса является технологическое обеспечение отклонений от плоско-параллельности, которые могут быть устранены за счёт формирования компенсирующей систематической погрешности на этапе полирования, т.е. при получении оптической прозрачности функциональных поверхностей.

Вогнутость как систематическая погрешность формы может быть технологически обеспечена применением метода индивидуальной двухсторонней доводки на станке эксцентрикового типа. При этом должны применяться полировальники относительно малого диаметра – сопоставимого с размером обрабатываемой заготовки.

Станок, предназначенный для двухстороннего полирования деталей диаметром 50 мм или деталей прямоугольной формы, вписывающихся в этот размер при использовании сепаратора, собран на основе применения миниатюрного настольного вертикально-сверлильного станка (рис. 3).

Верхний полировальник размещён на плоской торцевой поверхности грибовидной оправки, цилиндрическая часть которой устанавливается в патроне на шпинделе сверлильного или координатно-расточного станка. Этот полировальник является ведущим звеном в кинематической схеме обработки. Заготовка укладывается на нижний полировальник, который закреплён на фланце вала дополнительно изготовленного подшипникового узла. Таким образом заготовка при обработке располагается между нижним и верхним полировальниками, установленными соосно. При этом ось вращения заготовки смещена на величину задаваемого эксцентриситета относительно общей оси вращения верхнего и нижнего полировальников. Базирование заготовки, предотвращающее её смещение в собственной плоскости, заключается в применении системы из трёх подшипников качения. Несущие эти подшипники колонны закреплены на платформе, перемещением которой устанавливают задаваемую величину эксцентриситета e .

Единственное движение в схеме обработки, а именно вращение, сообщается верхнему полировальнику. Нижний полировальник имеет возможность свободного вращения в подшипниках качения. Верхний полировальник, вращаясь с частотой n , прижимается к заготовке с усилием P . Под действием возникающих сил трения заготовка совершает вращение вокруг своей оси. Поскольку ось вращения заготовки смещена на величину эксцентриситета e относительно общей оси вращения верхнего полировальника, точки её верхней поверхности перемещаются по рабочей поверхности верхнего полировальника по циклоидальным траекториям, что и обеспечивает механическое полирование.

Аналогично, благодаря наличию трения между нижней поверхностью заготовки и нижним полировальником, последний также приводится во вращение относительно смещённой на величину эксцентриситета оси. В относительном движении точки нижней поверхности заготовки также перемещаются по нижнему полировальнику по циклоидальным траекториям. Вследствие наличия усилия прижима происходит споллирование стекла с верхней и нижней поверхностей заготовки.

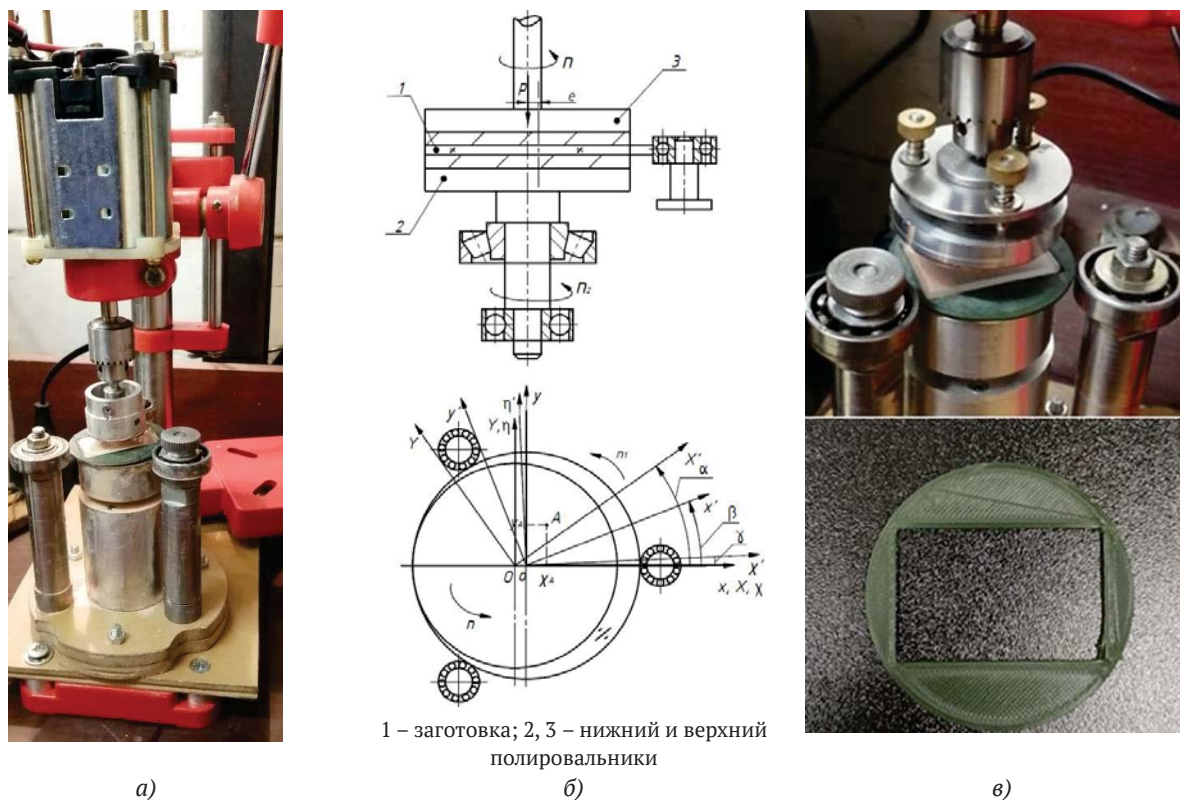


Рис. 3. Предлагаемый станок новой конструкции для индивидуального двухстороннего полирования круглых и имеющих сложную форму оптических деталей: а) внешний вид; б) расчётная схема формообразования оптических поверхностей; в) применяемая конструкция сепаратора

Образующаяся форма обработанных поверхностей детали зависит от сочетания геометрических и кинематических факторов процесса.

Управляя этими факторами, а именно размерами полировальников и величиной эксцентриситета, добиваются преимущественного съёма обрабатываемого материала в центральной области заготовки по сравнению со съёмом материала по её периферии, формируя на обработанных поверхностях детали вогнутость. Процесс полирования должен быть остановлен при достижении величиной вогнутости значения, которое сформировалось по результатам выполнения операций шлифовки на предыдущем этапе. При этом глубина полирования не должна быть меньше глубины трещиноватого слоя шлифованных поверхностей.

Таким образом показано, что минимизация отклонений от плоско-параллельности оптических функциональных поверхностей волноводов систем дополненной реальности возможна применением двухсторонней доводки на станках эксцентрикового типа.

При этом операции двухсторонней шлифовки следует производить на станках для групповой обработки с формированием отклонений от плоскостности в форме выпуклости, величина которой не должна существенно превосходить глубину трещиноватого слоя, с обеспечением минимальности последней.

Полирование заготовок следует производить методом индивидуальной обработки на станке предложенной конструкции с применением того сочетания величины эксцентриситета и размеров полировальников, которое обеспечивает вогнутую форму отклонений от плоскостности функциональных поверхностей. Для достижения эффекта исправления погрешностей формы, сформировавшихся на операции шлифовки, необходимо соответствие минимальной глубины полирования глубине трещиноватого слоя заготовки.

Список источников

- [1] **Yan, Z.** Virtual display design using waveguide hologram in conical mounting configuration / Z. Yan, W. Li, Y. Zhou, M. Kang // *Optical Engineering*. – 2011. – Vol. 50(9). – DOI:094001.
- [2] **Кондратенко В.С.** Двухстороннее шлифование оптических деталей связанным алмазно-абразивным инструментом / В.С. Кондратенко, Г.Р. Сагателян, А.В. Бобков // *РНТК ФТИ* – 2020. – С. 38 – 43.
- [3] **Сагателян, Г. Р.** Новый станок эксцентрикового типа для двухсторонней доводки оптических плоскопараллельных пластин / Г. Р. Сагателян, А.В. Бобков, Н. Н. Дубовик // *Сборник докладов конференции Российской научно-технической конференции с международным участием «Оптические технологии, материалы и системы»*. М.: РТУ МИРЭА. – 2020. – С. 80 – 87.
- [4] **Сагателян, Г. Р.** Особенности двухсторонней обработки оптических плоскопараллельных пластин на эксцентриковом станке настольного исполнения / Г. Р. Сагателян, А. В. Бобков, Н. Н. Дубовик, Д.П. Сладков // *РНТК ФТИ-2021. Секция 9*. – М.: РТУ МИРЭА. – С. 48 – 51.
- [5] **Дубовик Н.Н.** Сепаратор плоских пластин прямоугольной формы для их двухсторонней обработки на плоскопроводочном станке / Н.Н. Дубовик, Г.Р. Сагателян Патент РФ № 205 870. В24В 37/04. Бюл. № 23 от 11.08.2021.

A new design machine for double-sided polishing of optical plane-parallel rectangular plates

G. R. Sagatelian, E. R. Piskunova, N. N. Dubovik, A. S. Kuznetsov

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

A technique for polishing the surfaces of parts that are waveguides in optical augmented reality systems has been developed. It follows from the above methodology that the grinding operation of the specified class of precision parts should be performed by a group method on a machine for double-sided lapping, and the polishing operation - on a developed machine new design for individual double-sided polishing. This is due to the fact that after two-sided group lapping, the parts acquire a shape error as a double convexity, and during the operation of two-sided individual polishing using the calculated adjustment of the machine, deviations from the flatness of the polished surfaces are ensured to be concavity. This allows the polishing operation to compensate the shape errors that occurred during the last optical grinding operation.

Keywords: Shaping of optical surfaces, Optical plane-parallel plates, Double-sided polishing, Shape deviations, Convexity, Concavity, Compensation of shape deviations.