

УДК 621,9

А.Д. Маляренко, д-р техн. наук
БНТУ, Минск, Беларусь**ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРЕЦИЗИОННОСТИ ВЫСОКОТОЧНОЙ ОБРАБОТКИ**

В статье изложены основные проблемы оптического производства и достижения заданных параметров исключительных поверхностей с возможностью регулировать получаемый размер и формы. Так же представлены наиболее перспективные способы управления процессом, позволяющие снизить трудозатраты, и, в конечном итоге, создать удобные для технологов-оптиков способы определения режимов обработки.

Ключевые слова: *оптика, производство, прецизионность, высокоточная обработка, оптическая деталь.*

A.D. Malyarenko

TECHNOLOGICAL SUPPORT PRECISION HIGH PRECISION PROCESSING

This paper outlines the basic problems of the optical output and achieve the desired parameters of surfaces with exceptional ability to control the resulting size and shape. Also presented the most promising control method that can reduce labor costs, and, ultimately, to create a comfortable methods mode processing for technologists-optician. The article deals with a problem of a polishing glass intensification

Keywords: *optics: manufacturing, precision, high-precision processing of optical components.*

Основной проблемой оптического производства на финишных операциях является обеспечение прецизионности, то есть стабильного достижения заданных параметров высокоточных поверхностей и возможность эффективного регулирования получаемых размеров и формы. Особенностью финишной обработки поверхностей оптических деталей является большое число различных взаимосвязанных факторов, влияющих на формообразование. Установление влияния этих факторов на процесс термуправляемой доводки позволит добиться оптимальных режимов обработки, снизить трудозатраты, и, в конечном итоге, создать удобные для технологов-оптиков способы определения режимов обработки. Учитывая, что допустимая величина погрешности формы подобных поверхностей составляет десятые доли световой волны, важно оценить влияние каждого из технологических факторов на окончательные результаты обработки.

Применяемые сегодня в производстве способы управления процессом доводки весьма трудоемки, требуют высокой квалификации и опыта рабочего персонала. Один из путей решения указанных проблем лежит в создании новых, более эффективных способов управления процессом формообразования. Наиболее перспективным способом представляется обратимая коррекция формы рабочей поверхности притира за счет термической деформации его корпуса при изменении температуры технологической среды. Для доведения указанного способа до практического применения необходимо выявить влияние конструкции притиров на прецизионность термуправляемой доводки высокоточных поверхностей, что и явилось целью исследований, результаты которых, представлены в данной статье.

Рассматривалось влияние характеристик материала корпуса притира, его формы, сплошности, а также параметров рабочей части (пенополиуретановой подложки) на характер формообразования обрабатываемой поверхности при изменении термического режима доводки. В процессе исследования осуществлялась обработка выпуклых сфе-

рических поверхностей оптических линз из стекла ЛК7. В качестве единицы измерения во всех экспериментах использовались обычные для оптического производства единицы интерферометрического контроля – количество интерференционных колец возникающих при прохождении света через изделия при наложении на контролируемое изделие эталонного (N) и отклонение этих колец от идеальной формы (ΔN). Одно интерференционное кольцо соответствует изменению контролируемого размера на 0,25 мкм.

Для определения влияния формы корпуса на стабильность получения заданных точностных показателей формы обрабатываемой поверхности при доводке использовались притиры, состоящие из корпусов из алюминиевого сплава АЛ2 ГОСТ 1521-76 и полировальных подложек из пенополиуретана ППМ-1-1 ТУ ОП.004 толщиной 1 мм, наклеенной на внутреннюю поверхность корпуса притира. Форма полировальной подложки проектировалась в соответствии с рекомендациями [1]. Корпуса отличались формой нерабочей поверхности, т.е. профилем поперечного сечения: расширяющимся, концентрическим и сужающимся от центра к краю.

В результате исследований установлено, что профиль корпуса притира оказывает влияние на стабильность получения заданных точностных показателей. поверхности при изменении температуры технологической среды вследствие различных термодформаций корпусов притиров. Притир с увеличивающейся от центра к периферии толщиной корпуса (расширяющимся профилем) показал максимальный разброс погрешности по общей (N) и местной (ΔN) ошибке формы (кривая 1 рис.1а) При повышенной частоте вращения нижнего звена (360 об/мин) для инструментов с расширяющимся и с концентрическим профилями (кривые 1 и 2 рис.1б) зависимость образования погрешности формы от температуры СОЖ становится линейной, что говорит о предпочтительности обработки на высоких скоростях.

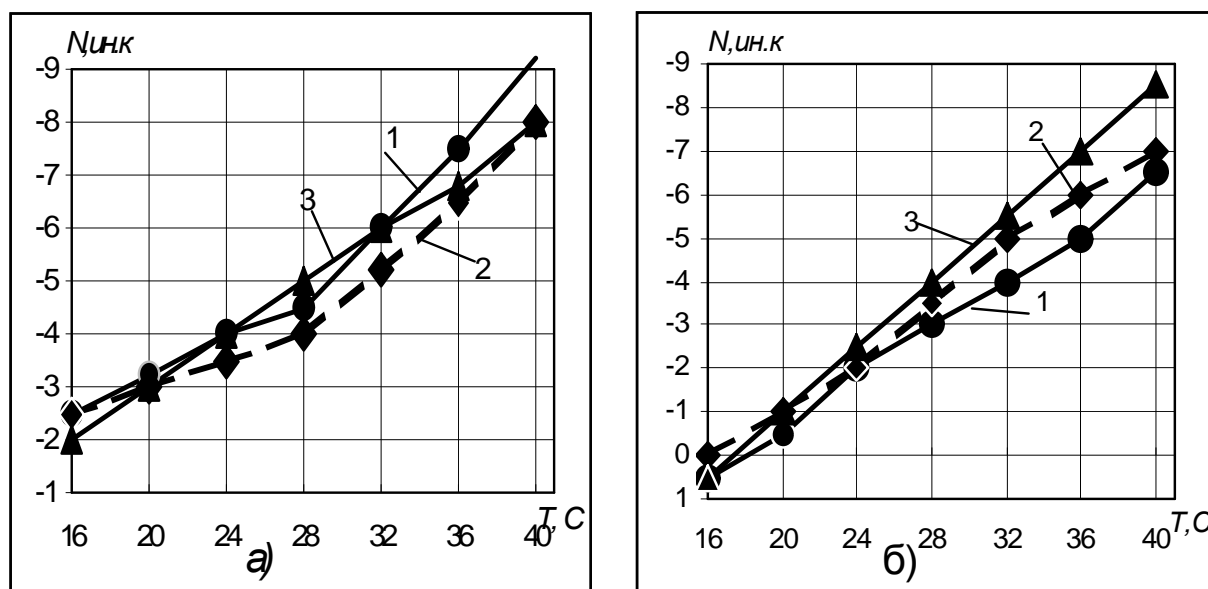


Рис.1 . Зависимость точности обработки N от температуры полировальной суспензии при частоте вращения нижнего звена 180 (а) и 360 об/мин. (б) при обработке притиром с различным профилем поперечного сечения корпуса: 1 – расширяющимся; 2 - концентрическим; 3 - сужающимся от центра к краю

Притиры с уменьшающейся от центра к периферии толщиной корпуса (сужающийся

профиль) показывают наиболее стабильную работу и линейную зависимость погрешности от температуры (кривые 3 рис.1а, б). Полученные результаты позволяют говорить о предпочтительности данной формы корпуса инструмента.

Кроме формы на термическую деформацию притира оказывает влияние материал корпуса инструмента. Для определения этого влияния было проведено исследование, в процессе которого детали обрабатывались инструментами, корпуса которых были изготовлены из различных материалов: 1). стали 20 ГОСТ 380-71 (температурный коэффициент линейного расширения $\alpha=12,0 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}$); 2). бронзы БрОЦС 4-4-4 ГОСТ 5017-74 ($\alpha=18,1 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}$); 3). алюминиевого сплава АЛ2 ГОСТ 1521-76 ($\alpha=21,1 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}$); 4). органического стекла СТ-1 ГОСТ 15809-70 ($\alpha=77 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}$).

На рисунке 2 представлены результаты зависимости общей погрешности N от температуры технологической среды, где номера кривых соответствуют приведенной нумерации материалов корпусов притиров. Анализ графиков показывает, что чем выше температурный коэффициент линейного расширения используемого материала, тем меньший перепад температур требуется для изменения формы на одно интерференционное кольцо. Данное явление можно использовать для настройки притира на размер. Учитывая, что доводка связана с переносом формы инструмента на деталь, а достигаемые размеры задаются с допусками в десятые и сотые доли микрометра, использование контрпритиров из различных материалов для наладки рабочих инструментов позволяет регулировать достигаемую точность в довольно широком диапазоне с высокой точностью.

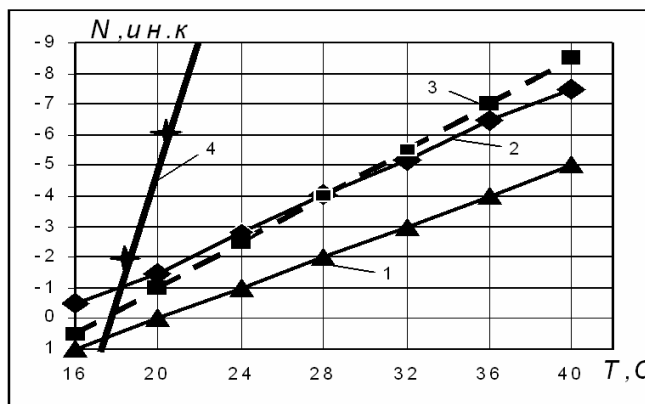


Рис.2. Зависимость точности обработки N от температуры полировальной суспензии при обработке притиром из: 1- стали; 2 – бронзы; 3 - алюминиевого сплава АЛ2; 4 - органического стекла СТ-1

Известно, что введение в зону обработки дополнительной энергии способствует увеличению производительности обработки. При использовании притиров с переменной поперечной жесткостью в зоне взаимодействия поверхностей инструмента и детали при обработке возникают дополнительные низкочастотные колебания, интенсифицирующие процесс [2]. Добиться переменной жесткости притира можно за счет создания продольных разрезов в корпусе инструмента. Для определения оптимального количества таких разрезов было проведено экспериментальное исследование, в процессе которого обрабатывались детали полировальниками с различным количеством радиальных разрезов. При проведении исследований было замечено, что время обработки необходимое для снятия матового слоя меньше, если использовать притиры с разрезами рис. 3б, причем на температурах больших $30 \text{ }^\circ\text{C}$ разница во времени обработки достигает 4-

5 минут. Данное повышение производительности можно объяснить возникновением дополнительных низкочастотных колебаний притира в процессе обработки из-за неравномерной радиальной жесткости его корпуса. Это также объясняет нелинейные зависимости общей погрешности формы обрабатываемых поверхностей от температуры полировальной суспензии при использовании разрезных притиров.

Результаты исследований показывают, что притиры с разрезами могут эффективно применяться для получения оптических поверхностей среднего класса, у которых заданная точность формы составляет $N=3..5$, $\Delta N=0,3..0,5$ интерференционных кольца.

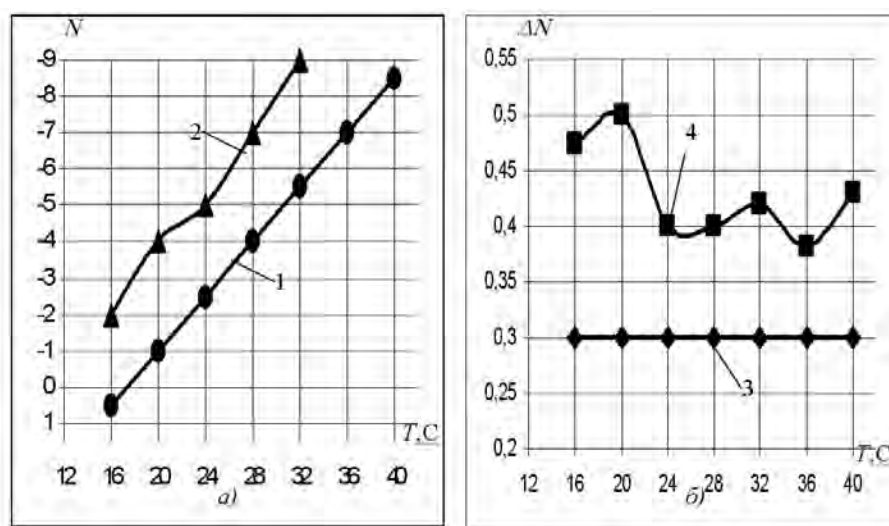


Рис. 4 Влияние конфигурации в плане (а) и толщины (б) пенополиуретановой полировальной подложки на общую N и местную ΔN погрешность формы оптических поверхностей при доводке притирами с различной формой полировальных подложек: 1 – полировальная подложка толщиной 1 мм с искривленными каналами СОЖ; 2 – подложка толщиной 1 мм с прямыми каналами СОЖ; 3 - полировальная подложка толщиной 1 мм с искривленными каналами СОЖ; 4 - полировальная подложка толщиной 0,5 мм с искривленными каналами СОЖ

Для установления влияния на процесс термоуправляемой доводки конфигурации в плане и толщины пенополиуретановой полировальной подложки использовались притиры сужающегося профиля с подложками различной толщины в виде четырех лепестков с прямыми и искривленными каналами СОЖ [3].

В процессе исследований установлено, что в рассматриваемом диапазоне температур технологической среды от 16 до 40 °С применение искривленных лепестков позволяет снизить общую погрешность формы N не менее чем на 3 интерференционных кольца (смотри рис. 4а), а при увеличении толщины полировальной подложки с 0,5 мм до 1 мм местная погрешность ΔN (смотри рис. 4б) с повышением температуры полировальной суспензии снижается с 0,5 интерференционного кольца (при $T_{n.c}=16^{\circ}\text{C}$) до 0,3 (при $T_{n.c}>30^{\circ}\text{C}$).

Выводы.

1. Проведенные исследования позволили установить, что зависимость точности

формы оптических деталей, обрабатываемых инструментом с пенополиуретановой подложкой от температуры полировальной суспензии связана с изменением радиуса кривизны полировального инструмента.

2. Отработаны оптимальные для существующего оборудования режимы обработки на операции.

3. Выработаны требования к конструкции обрабатываемого инструмента, включающие геометрические характеристики корпуса притира, рекомендации по выбору его материала и требования к полировальной подложке. Геометрические параметры инструмента, обеспечивающего стабильность получения результатов, следующие: - отношение радиуса кривизны обрабатываемой поверхности притира к его диаметру соответствует $R/d = 0,63$; - отношение толщины в центре к толщине на краю $h_0/h = 3$.

4. При использовании притиров, корпус которых выполнен в виде сужающегося профиля, линейность изменения общей погрешности формы от температуры суспензии не нарушается. Коэффициент изменения радиуса кривизны ($K_{рк}$) обрабатываемой поверхности при обработке притиром с таким профилем постоянен во всем диапазоне температур и составляет $K_{рк}=0,592$ мкм/°К.

5. На процесс термоуправляемой доводки оптических поверхностей существенное влияние оказывает материал, из которого изготовлен корпус притира. Чем выше температурный коэффициент линейного расширения используемого материала, тем меньший перепад температур требуется для изменения формы на одно интерференционное кольцо.

6. Толщина полировальной подложки также оказывает влияние на процесс термоуправляемой доводки. Как показали исследования, данный процесс протекает стабильно при использовании притиров с толщиной полировальной подложки в диапазоне 0,8...1 мм. При применении «толстых» (с толщиной более 1 мм) подложек наблюдается искажения линейной зависимости изменения радиуса кривизны обрабатываемой поверхности от температуры полировальной суспензии. При использовании «тонких» (с толщиной менее 0,5 мм) подложек существенное негативное влияние на стабильность процесса доводки оказывает клеевая прослойка, ведущая к ухудшению рабочих характеристик обрабатываемого материала и нарушению процесса доводки.

7. Проектирование формы полировальной подложки с искривленными каналами для выхода полировальной суспензии с учетом гидродинамических явлений в зоне обработки позволяет повысить прецизионность обработки.

Литература:

1. Маляренко А.Д., Филонов И.П. Технологические основы формообразования оптических поверхностей. – Мн.: ВУЗ-ЮНИТИ БГПА, 2009. – 212 с.
2. Филонов И.П., Маляренко А.Д., Митенков М.В. Исследование возможности интенсификации финишной обработки оптических поверхностей// Прогрессивные технологии и системы машиностроения. Междун. Сб. Научн. Трудов. – Донецк: ДГТУ, 2012, - Вып. 12 – с. 229-233
3. Патент Республики Беларусь ВУ 5702 С1 МПК В24В 13 /00 Способ обработки сферических поверхностей / И.П. Филонов, А.Д. Маляренко, В.И. Юринок, М.В. Митенков; Белорусский национальный технический университет. - № а19990942; Заявл. 1999.10.18; Зарегистр. 2003.07.22

Поступила в редколлегию 16.04.2015 г.