



Рисунок 1 – Полученный образец полутонного клина на кварцевом стекле



Рисунок 2 – Полученный образец полутонного клина на органическом стекле

Статистическая обработка результатов, полученных с использованием микроинтерферометра МИИ – 4, блескомера ФБ-2, денситометра ДНС-2, экспертного опроса, показали, что для получения стабильного контура резки, высокохудожественного четкого и контрастного вида изображений, необходимой адгезии при заполнении изображения красителем, оптимальны следующие режимы лазерной обработки оптических материалов: мощность лазерного излучения 6 Вт, скорость лазерного гравирования 27,0 см/сек, разрешающая способность 500 dpi, частота импульсов 1000 Гц, диаметр сфокусированного лазерного луча на материале 0,1 мм.

Проведенные исследования показали, что для универсальности технологических режимов лазерной обработки прозрачных материалов перспективно использовать рекомендованные режимы. Образцы применения рекомендованных режимов лазерной обработки хрусталя и акрила представлены на рисунке 3.



Рисунок 3 – Применение лазерной обработки материалов в подарке молодоженам и письменном приборе [6]

Литература

1. Бутовский К.Г. Материалы приборостроения / К.Г. Бутовский А.В. Лясникова, Н.В. Протасова и др. – Саратов: Изд-во Саратов. техн. ун-та, 2005. –236 с.
2. Гормаков А.Н. Материаловедение и технология обработки конструкционных материалов в приборостроении / А.Н. Гормаков. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – 340 с.
3. Серова В.Н. Полимерные оптические материалы. – СПб.: Научные основы и технологии, 2015. – 384 с.
4. Приборостроение – XX век. / Сост. М.С. Шкабардия. М.: Совершенно секретно, 2004. – 768 с.
5. 提高使用激光技术进行识别的效率. Alekseev V.A., Usoltseva A.V., Usoltsev V.P. Increase in efficiency of use of laser technologies for identification / 上合组织国家的科学研究：协同和一体化 国际会议 参与者的英文报告 International Conference “Scientific research of the SCO countries: synergy and integration” Part 1: Participants’ reports in English 2019年12月11日。中国北京 December 11, 2019. Beijing, China, 2019 PRC, 2019. – 149–156 p. DOI: 10.34660/INF.2019.22.43468
6. Прибор письменный настольный. Усольцева А.В., Усольцев В.П., Черных М.М. Патент на промышленный образец RU 109645, 16.07.2018. Заявка № 2017500418 от 19.06.2017.

УДК 681.7.023.72

СПОСОБ, ПОВЫШАЮЩИЙ ТОЧНОСТЬ ОБРАБОТКИ КОНИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ И ЕГО КИНЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

Филонова М.И.¹, Козерук А.С.¹, Р.О. Диас Гонсалес^{1,2}

¹Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

²Университетский политехнический институт Сантьяго Мариньо
Мерида, Венесуэла

При обработке конических поверхностей в машиностроении используют в основном методы обработки в условиях геометрического замыкания на токарных станках.

Такая технология ввиду наличия вибрации в технологическом оборудовании не позволяет получить конические поверхности с высокой степенью точности ее образующей (прямолинейности и правильной геометрической формы поперечного сечения по всей высоте конуса с по-

грешностью не более $\pm 0,25$ мкм [1, 2]). Упомянутых недостатков можно избежать, если использовать метод свободного притирания.

Однако недостатком технологии обработки конических поверхностей по методу свободного притирания является непостоянство скорости вращения заготовки вокруг собственной оси симметрии, поскольку эта скорость обусловлена наличием между обрабатываемой поверхностью и рабочей поверхностью инструмента сил тре-

ния, которые носят нестабильный характер из-за неравномерного распределения обрабатывающей абразивной суспензии [3].

Отмеченное устраняется, если образующую конуса расположить в контактирующей с инструментом плоскости сепаратора, регулированием относительной и переносной скоростей которого по инструменту поддерживают необходимую плоскостность его рабочей поверхности.

Схема реализации обработки конических поверхностей по методу свободно притирания приведена на рисунке 1. Здесь на инструменте 1 расположен сепаратор 2, в отверстие *A* которого помещена конусообразная заготовка 3. Сепаратор закреплен на наклеенном инструменте 4, шарнирно соединенном с поводком 5 выходного звена исполнительного механизма базового станка. При этом инструмент, заготовка и сепаратор установлены с возможностью регулируемого вращения со скоростями ω_n , ω_3 и ω_c соответственно, причем сепаратор в процессе обработки совершает также возвратно-вращательное движение со скоростью $\omega_{в-в}$.

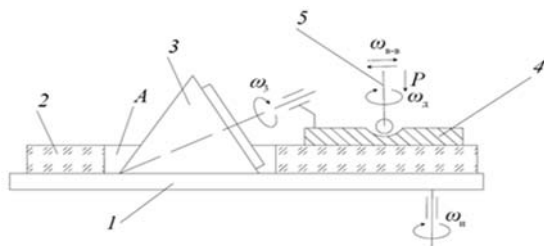


Рисунок 1 – Схема обработки конической детали

Предлагаемая схема обработки конических поверхностей может быть реализована на серийном рычажном станке [4]. Для управления процессом обработки на этом технологическом оборудовании, при котором обеспечивается равномерное срабатывание рабочей поверхности инструмента, непосредственно влияющей на прямолинейность образующей конуса, выполнили [5] структурный анализ исполнительного механизма рычажного станка, кинематическая схема которого представлена на рисунке 2.

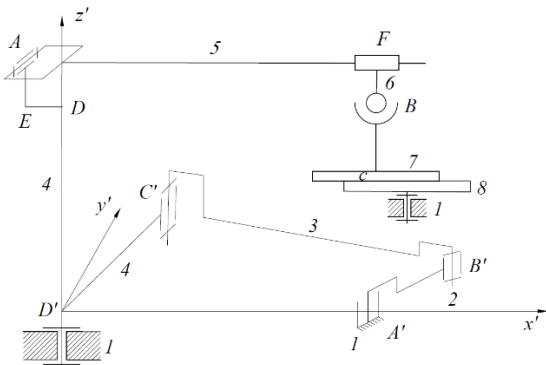


Рисунок 2 – Кинематическая схема исполнительного механизма рычажного станка

Звенья 2 и 3 этого механизма расположены в плоскости $Dx'y'$, а звенья 4, 5 и 6 – в плоскости, перпендикулярной $Dx'y'$. Звено 2 с неподвижным звеном 1, а также звенья 2 и 3, 3 и 4, 4 и 1, 4 и 5, 8 и 1 образуют вращательные кинематические пары, звенья 5 и 6 – поступательную пару. Верхнее звено 7 образует сферическую пару со звеном 6 и плоскую с нижним звеном 8. При этом звенья 1, 2, 3, 4 образуют шарнирный четырехзвенник [6].

Механизм шарнирного четырехзвенника работает следующим образом. Вращательное движение кривошипа 2 через шатун 3 преобразуется в возвратно-вращательное движение звена 4 и рычага 5. Последний через поводок 6 вызывает возвратно-вращательное перемещение верхнего звена 7 относительно нижнего 8.

В результате анализа определены геометрические параметры возвратно-вращательного движения верхнего звена, которое определяется движением центра *C* его рабочей поверхности (рисунок 3).

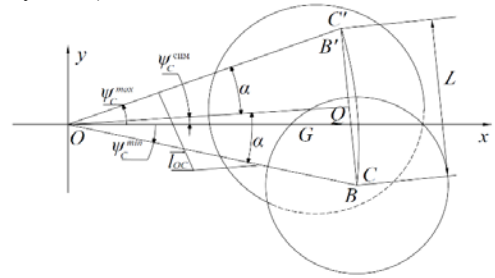


Рисунок 3 – Траектория возвратно-вращательного движения центра с рабочей поверхности верхнего звена

Поскольку при обработке плоских поверхностей центр шарика поводка и центр *C* рабочей поверхности верхнего звена находятся на одной вертикальной линии, то расстояние между крайними положениями центра *C* также равно *L*.

В рычажных станках величина *L* регулируется посредством изменения длины кривошипа *l*₂, следовательно, необходимо установить аналитическую связь между этими геометрическими параметрами.

Введем обозначение (см. рис. 3): $\alpha = \frac{\psi_C^{\max} - \psi_C^{\min}}{2}$. Тогда $\psi_C^{\max} = \psi_C^{\text{снм}} + \alpha$, $\psi_C^{\min} = \psi_C^{\text{снм}} - \alpha$

Учитывая выражение для угла α , получаем:

$$\psi_C^{\max} = \psi_C^{\text{снм}} + \arcsin \frac{L}{2l_{OC}}, \quad \psi_C^{\min} = \psi_C^{\text{снм}} - \arcsin \frac{L}{2l_{OC}}.$$

Аналогичные равенства можно записать и для угла φ_4 :

$$\varphi_4^{\max} = \varphi_4^{\text{снм}} + \arcsin \frac{L}{2l_{OC}}, \quad \varphi_4^{\min} = \varphi_4^{\text{снм}} - \arcsin \frac{L}{2l_{OC}}.$$

Учитывая приведенные зависимости, определим выражение для *l*₂:

$$l_2 = \sqrt{l_1^2 + l_4^2 - 2l_1l_4 \cos \left(\varphi_4^{\text{снм}} + \arcsin \frac{L}{2l_{OC}} \right)} - l_3.$$

Выводы:

1. Проведенные исследования шарнирного четырехзвенника исполнительного механизма станка позволили установить аналитическую связь между входным и выходным звеньями этого механизма, что дало возможность рассчитать длину первого из отмеченных звеньев в зависимости от требуемой величины амплитуды колебательного движения второго из них.

2. Созданы предпосылки для разработки инженерных методов управления процессом формообразования высокоточных конических поверхностей в условиях свободного притирания.

3. Обеспечена возможность исключить предварительные трудоемкие эксперименты по выявлению оптимальных наладочных параметров технологического оборудования в каждом конкретном случае.

Литература

1. Бардин А.Н. Технология оптического стекла / А.Н. Бардин. – М.: Высшая школа, 1963. – 519 с.
2. Зубаков В.Г. Технология оптических деталей / В.Г. Зубаков, М.Н. Семибратов, С.К. Штандель; под ред. М.Н. Семибратова. – М.: Машиностроение, 1985. – 368 с.
3. Козерук А.С. Управление формообразованием прецизионных поверхностей деталей машин и приборов на основе математического моделирования: дис. ... д-ра техн. наук: 05.03.01, 05.02.08 / А.С. Козерук. – Минск, 1997. – 317 с.
4. Сулим А.М. Производство оптических деталей / А.В. Сулим. – М.: Высшая школа, 1969. – 303 с.
5. А.С. Козерук, Р.О. Диас Гонсалес, М.И. Филонова, В.О. Кузнецик, Е.Н. Варопай. Кинематический анализ способа, повышающего точность обработки конических поверхностей Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя фізіка-тэхнічных навук. – 2019. – Т. 64, № 4. – С. 429–437.
6. Артоболевский И.И. Теория механизмов и машин / И.И. Артоболевский – М.: Наука, 1988. – 640 с.

УДК 535.243:391.2

СИСТЕМА КОНТРОЛЯ КОЭФФИЦИЕНТА ОТРАЖЕНИЯ МНОГОСЛОЙНЫХ ОПТИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ НА СФЕРИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЯХ МИКРОЛИНЗФильчук А.С.¹, Фёдорцев Р.В.²¹ООО «ЭссентОптика»

Минск, Республика Беларусь

²Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

В последние десятилетие наблюдается тенденция к миниатюризации оптико-электронных приборов в целом и их оптических компонентов в частности. Наиболее широкий класс таких деталей составляют фокусирующие элементы: первые линзы сверхсильных иммерсионных микроскопов, линзы объективов в фотографических камерах смартфонов, наконечники эндоскопов, лазерные модули, волоконная связь и многие другие.

К миниатюрным относятся оптические детали с геометрическими размерами: диаметром $D = 0,5 \pm 0,001 - 10 \pm 0,01$ мм, при световом диаметре $> 85 - 95$ %, отношением $R/D = 1,0 - 0,5$, децентричностью $0,02 - 0,01$ мм, точностью формы сферической поверхности $\lambda/2 - \lambda/10$ при 633 нм, шероховатостью $Rz0,1$ мкм, чистота поверхности Р IV. Одним из определяющих параметров для микролинз является качество формируемого изображения: диаметр фокального пятна составляет $2,3 - 2,8$ мкм. Материалом для изготовления микролинз являются: оптическое стекло К8; кварц КУ-1, КВ и КИ; кристаллы Ge, Si, ZnSe, ZnS, KRS5, CaF₂, BaF₂, MgF₂, LiF, Al₂O₃, а также другие материалы из каталогов ГОСТ, Schott и OHARA [1]. Серийное технологическое производство микрооптики осуществляется преимущественно на оборудовании компании «Optotech», а нанесение оптических покрытий для УФ, видимого и ИК-диапазона на установках компании «Leubold Optics».

Для уменьшения влияния отраженного света на итоговое изображение объектива на рабочие поверхности микролинз наносят просветляющие оптические покрытия, повышающие коэффициент пропускания вплоть до $99,9$ %.

Поэтому возникает необходимость в контроле качества нанесенного просветляющего оптического покрытия на поверхности микролинз с помощью спектрофотометра. Однако в настоящее время на рынке оптико-электронных приборов не представлено ни одного спектрофотометра, позволяющего контролировать качество покрытий на сферических поверхностях малых диаметров и радиусов кривизны.

Контроль просветляющего покрытия на сферических поверхностях микролинз на пропускание, т. е. измерение света после прохождения через поверхности линзы, будет вносить дополнительную погрешность измерения. Так как в этом случае свет пройдет через обе поверхности линзы.

Согласно закону сохранения энергии падающий световой поток (принятый равным единице) при переходе из менее плотной среды в более плотную, представляет собой сумму коэффициентов пропускания, отражения, поглощения и рассеяния: $\tau + \rho + \gamma + \alpha = 1$

Так как коэффициенты поглощения и рассеяния на поверхностях с просветленным оптическим покрытием достаточно малы по отношению к коэффициентам пропускания и отражения, то