

НОВЫЕ ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ АЛМАЗНОГО МИКРОТОЧЕНИЯ*

© 2005 г. С. В. Солк, канд. техн. наук; В. Е. Сабинин, канд. хим. наук

НИИ комплексных испытаний оптико-электронных приборов и систем,
г. Сосновый Бор, Ленинградская обл.

E-mail: solk@sbor.net

Рассмотрены возможности применения алмазного микроточения при изготовлении пресс-форм, изготовлении оптических элементов с несколькими рабочими поверхностями, в том числе асферическими, с заданными величинами угловой и линейной децентрировок. Рассмотрена технология совмещения формообразования и сборки. Предложена методика исследования технологической наследственности деталей.

Коды OCIS: 220.0220, 220.1250, 220.4610, 230.4040.

Поступила в редакцию 02.03.2005.

В настоящее время технология алмазного микроточения (АМТ) перестала быть “нетрадиционной”. Так, например, в справочнике технолога-оптика, изданном в 1983 г., АМТ даже не упоминается, а в том же справочнике, изданном в 2004 г., этой технологии посвящен целый раздел [1]. Совершенствуются станки, растет перечень материалов, для которых применимо АМТ. Однако следует отметить, что в основном АМТ используется для формообразования оптических поверхностей (в первую очередь асферических и крупногабаритных), а также для изготовления киноформных элементов. Реже АМТ используется для изготовления деталей точной механики. В данной работе рассмотрены некоторые дополнительные области применения технологии АМТ.

Совмещенные технологии

В оптическом приборостроении технологический процесс изготовления прибора, например объектива, включает этапы изготовления оптических элементов (ОЭ), механических деталей и сборки. На стадии сборки возможна расточка корпуса объектива, а также доработка ОЭ, например их центрировка. Формообразование ОЭ к моменту сборки всегда завершено.

При использовании АМТ в ряде случаев, с целью упрощения технологии и повышения точности взаимного расположения поверхностей, целесообразно совместить сборку с формообразованием ОЭ.

На рис. 1 показана схема сканирующей системы, состоящего из нескольких призм 1–6 с разными углами наклонов граней к основанию β_1 – β_6 и планшайбы 7, к которой призмы крепятся винтами. При традиционном технологическом процессе сначала изготавливаются планшайба и призмы, а затем при сборке выдерживаются углы α и β . Рабочие поверхности зеркал могут изготавливаться как АМТ, так и полированием.

* По материалам доклада на Международной конференции “Прикладная оптика-2004”.

Технология АМТ позволяет совместить процессы сборки и формообразования. Планшайба устанавливается на глобусном столе. К планшайбе крепится призма с наибольшим углом β . Затем на станке АМТ проводится обработка рабочей поверхности призмы. Глобусный стол разворачивается на углы α и β , устанавливается следующая призма и проводится ее формообразование. Последовательность установки и обработки призм должна обеспечивать выход резца (резец не должен касаться ранее установленных и обработанных призм).

Эксперименты показали, что такая технология позволяет обеспечить погрешность углов α и β в пределах $\pm 5''$ (при использовании глобусного стола

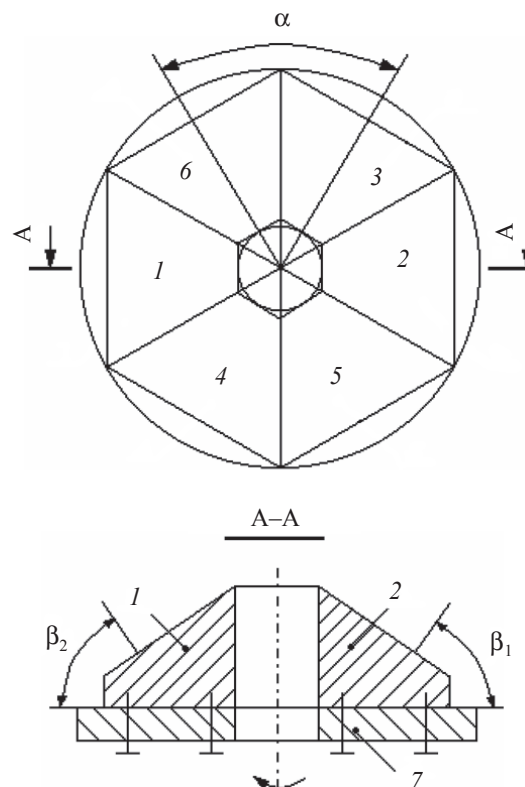


Рис. 1. Схема сканирующей системы (пояснения в тексте).

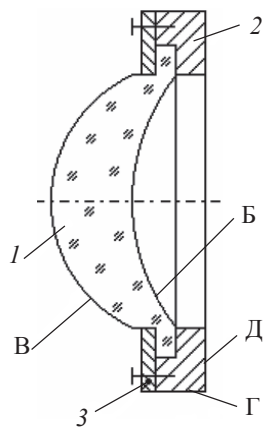


Рис. 2. Схема однолинзового ИК объектива (пояснения в тексте).

с погрешностью $\pm 2''$). При обычной технологии допуск составляет $\pm 30''$.

На рис. 2 показан однолинзовый германиевый объектив со сферической поверхностью Б и асферической В, входящий в состав ИК интерферометра. Жесткие требования к торцевому биению этих поверхностей относительно базовых Г и Д потребовали разработки специальной технологии. После изготовления заготовки линзы 1 обрабатывается сферическая поверхность Б. Затем линза устанавливается в корпус 2 и закрепляется кольцом 3, после этого осуществляется центрировка, например при помощи трубки Забелина или датчика линейных перемещений, по поверхности Б с обработкой поверхностей Г и Д. По завершении операции линза в оправе устанавливается на станок АМТ с базированием по поверхностям Г и Д, и осуществляется формообразование асферической поверхности В.

Точность, обеспечиваемая такой технологией, зависит от используемого оборудования и радиусов рабочих поверхностей линзы. Проведенные эксперименты показали, что торцевое биение асферической поверхности не превышает 1,5 мкм.

Исследование технологической наследственности

Поверхность, обработанная посредством АМТ, представляет собой дифракционную решетку, параметры которой зависят от режимов резания (подачи и глубины резания) и используемого инструмента (радиуса заточки резца). Поэтому при оценке качества обработанной поверхности могут быть использованы методики и приборы, применяемые для контроля дифракционных структур.

На рис. 3 показана схема такой измерительной установки. Луч гелий-неонового лазера 1 падает на точеную поверхность 2 под углом 45° или иным и, отражаясь от нее, образует на экране 3 дифракционное изображение. Если вместо экрана установить

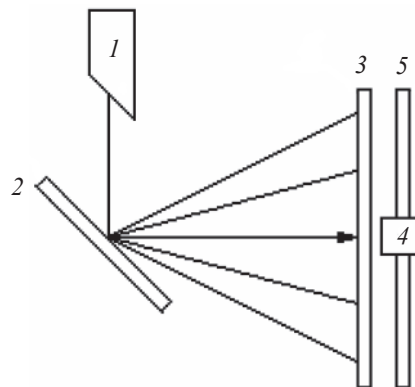


Рис. 3. Схема установки для исследования точечной поверхности (пояснения в тексте).

приемник излучения 4, перемещающийся по линейке 5, то можно проводить измерения распределения энергии по дифракционным максимумам и расстояний между ними.

Проведенные эксперименты показали, что образцы из одних и тех же материалов, обработанные на станке АМТ при одинаковых режимах одним и тем же резцом, дают различные дифракционные картины, если образцы имеют разную технологическую наследственность, т. е. прошли различные механическую и термическую предварительные обработки. Результат интересен тем, что с помощью профилометра-профилографа такие эффекты обнаружить не удастся.

Технологический процесс изготовления ОЭ может быть длительным и трудоемким. Так, при изготовлении глубоководохлаждаемых металлических зеркал проводится ряд циклов термической и термоциклической обработок [1]. Нарушение технологического процесса изготовления проявит себя лишь при охлаждении зеркала до рабочей температуры. Для таких ОЭ методика исследования технологической наследственности при нормальной температуре может представлять определенный интерес.

Изготовление сложных ОЭ

Возможность последовательной обработки при фиксированной установке заготовки на станке АМТ позволяет изготавливать ОЭ с заданным взаимным расположением рабочих поверхностей [2]. Так, например, на рис. 4а показан изготовленный нами ОЭ с двумя сферическими поверхностями, центры кривизны которых не совпадают лишь на доли микрона. Такой ОЭ был использован в экспериментальной установке для исследования термодформаций.

На рис. 4б показан ОЭ с асферической рабочей поверхностью А, которая имеет линейную Δ и угловую ϕ децентрировки. С помощью дополнительных юстировочных приспособлений, например цен-

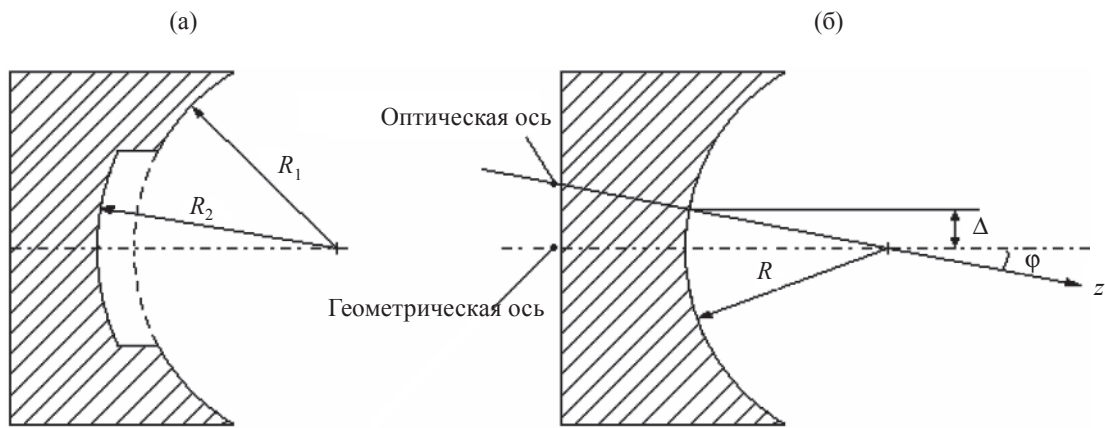


Рис. 4. Оптические элементы сложной формы (пояснения в тексте).

трировочного патрона, установленных на станке АМТ, можно задать заготовке определенное положение относительно оси вращения шпинделя станка и изготавливать ОЭ с децентрировками Δ и φ , имеющими заданные величины и положение.

Такие ОЭ могут быть использованы в целях проверки обоснованности допусков, заданных расчетчиком оптической системы, для компенсации погрешностей изготовления корпусных деталей и в иных случаях.

Изготовление пресс-форм

При изготовлении ОЭ в условиях крупносерийного и массового производства широкое распространение получили технологии прессования и литья под давлением. Пресс-формы (ПФ), необходимые для этих технологий изготавливаются из специальных сортов стали и имеют рабочие поверхности оптического качества. Стоимость таких ПФ может составлять десятки тысяч долларов. К сожалению, конструкция ПФ не поддается точному расчету и обычно требует поэтапной доработки. Но на стадии проектирования и изготовления макетного образца и проверки идей, заложенных в конструкцию, бывает важно изготовить и испытать хотя бы один образец устройства. На практике, например, линзы из полиметилметакрилата (ПММК) заменяют на линзы из оптического стекла марки ЛК с близким показателем преломления. Но если используется материал, не обрабатываемый АМТ или который невозможно заменить другим материалом с близким показателем преломления, либо конструкция ОЭ такова, что использование других технологий невозможно, то прессование остается единственным способом изготовления. Например, на рис. 5 показан ОЭ из ПММК, рабочую поверхность А которого можно изготовить только прессованием.

Изготовление ПФ, позволяющей получить тысячи таких ОЭ, дорого и трудоемко. Из-за усадки мате-

риала и других технологических факторов после изготовления и контроля пробной партии ОЭ часто оказывается необходимой корректировка рабочих поверхностей ПФ. При высоких требованиях к точности формы рабочих поверхностей ОЭ такой процесс может повторяться несколько раз. Использование стали оказывается невозможным из-за быстрого разрушения алмазного резца. В этом случае детали ПФ с поверхностями оптического качества изготавливаются из алюминиевых сплавов или специальных сортов латуни, и их формообразование осуществляется на станке АМТ [3]. Использование станка АМТ с компьютерным управлением позволяет получать высокоточную, в том числе асферическую, поверхность ПФ, а также оперативно корректировать ее по результатам измерений изготовленных ОЭ.

Нами были проведены эксперименты по прессованию ПММК и ИК стекол с апертурой до 40 мм и толщиной 5–8 мм с плоскими и сферическими поверхностями. Измерения показали, что при таком подходе возможно получение 5–10 экземпляров ОЭ с погрешностью формы порядка $N/\Delta N = 5/1$ для ПММК и $8/4$

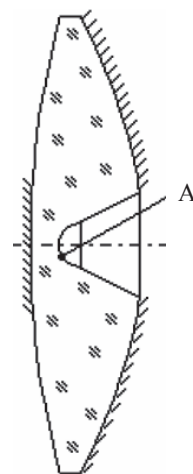


Рис. 5. Оптический элемент, полученный прессованием ПММК.

для ИК стекла при среднеквадратичной шероховатости рабочих поверхностей порядка 60 Å.

Приведенные выше примеры показывают, что технологические возможности АМТ используются технологами и конструкторами в приборостроении еще далеко не полностью. Широкие возможности открывает АМТ и в научных исследованиях. Управляя скоростью и глубиной резания, подачей, используя иные факторы, можно получать поверхности с требуемым рельефом и свойствами. Полученные таким образом ОЭ могут быть использованы, например, при проведении исследования рассеяния света шероховатой поверхностью, а также при исследовании поверхностных электромагнитных волн [4].

ЛИТЕРАТУРА

1. Справочник технолога оптика / Под ред. Окатова М.А. 2-е изд. СПб.: Политехника, 2004. 679 с.
2. *Solk S., Shevtsov S., Iakovlev A.* Designing of optical elements manufactured by diamond turning // Proc. SPIE. 2000. V. 4231. P. 181–188.
3. *Сабинин В.Е., Солк С.В.* Проблемы проектирования и изготовления оптики из полимерных материалов // Оптический журнал. 2002. Т. 69. № 1. С. 61–64.
4. *Либенсон М.Н., Макин В.С., Трубаев В.В.* Гетеродинамная интерферометрия // Оптический журнал. 1996. № 12. С. 20–23.