

АЛМАЗНОЕ МИКРОТОЧЕНИЕ В ПРОИЗВОДСТВЕ СОВРЕМЕННЫХ ВЫСОКОТОЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ИНФРАКРАСНЫХ ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

© 2004 г. С. Е. Шевцов, канд. техн. наук

НИИ комплексных испытаний оптико-электронных приборов и систем,
г. Сосновый Бор, Ленинградская область
E-mail: shevtsov@protechn.ru

Приводится краткий обзор особенностей применения технологии алмазного микроточения для создания сложных оптических элементов. На основе экспериментальных исследований обоснован выбор усилия резания в качестве основного критерия точности формообразования оптических поверхностей методом алмазного микроточения.

Коды OCIS: 220.4610.

Поступила в редакцию 23.06.2004.

Требования, предъявляемые сегодня разработчиками современных инфракрасных оптических систем различного назначения к оптической элементной базе, ориентированы в первую очередь на создание высокоточных линз и зеркал со сложными оптическими поверхностями, на основе которых могут быть получены предельные характеристики приборов. Наиболее прогрессивной технологией для создания оптических поверхностей таких элементов при условии обеспечения высокой производительности и повторяемости достигаемых параметров общепризнанно считается алмазное микроточение (АМТ).

АМТ, по сравнению с альтернативными технологиями – в первую очередь с традиционным полированием, обладает значительными преимуществами:

1. Методом АМТ можно изготовить такие сложные поверхности, получение которых другими способами крайне сложно или практически невозможно, например, асферики с большим отклонением от ближайшей сферы, W-аксиконы, аксиконы с непрямолинейной образующей, дифракционную оптику.

2. Технология высокопроизводительная. В некоторых случаях технологический цикл формообразования оптической поверхности методом АМТ занимает несколько часов, в то время как на полирование пришлось бы затратить не меньше месяца. Это свойство можно использовать при разработке новых оптических систем и проверке теоретических расчетов. В НИИКИ ОЭП зачастую для проверки и испытания новых оптических систем элементная база изготавливается алмазным микроточением, даже если в дальнейшем оптические детали будут изготавливаться по другой технологии, например, вакуумным прессованием. Это обусловлено тем, что изготовление алмазным микроточением линзы из полиметилметакрилата гораздо быстрее и дешевле, чем изготовление пресс-форм с последующим прессованием такой же линзы.

3. При АМТ возможно осуществлять достаточный большой съем материала (при черновых проходах 10–20 мкм за один проход) с получением зеркальной поверхности, что позволяет значительно снизить требования к точности формы оптической поверхности на этапе предварительной механической обработки и применять интерферометрические методы контроля, исключив трудоемкие и недостаточно точные контактные методы контроля.

4. При АМТ отсутствует шаржирование обрабатываемой поверхности зернами абразива, что особенно важно для лазерной оптики.

АМТ осуществляется на сверхпрецизионных станках (радиальное и осевое биение шпинделя, точность направляющих составляют доли микрона), что позволяет получать не просто элементы с высококачественной оптической поверхностью, а детали точной механики с элементами оптики (рис. 1). Так, например, в самом простом случае правильно

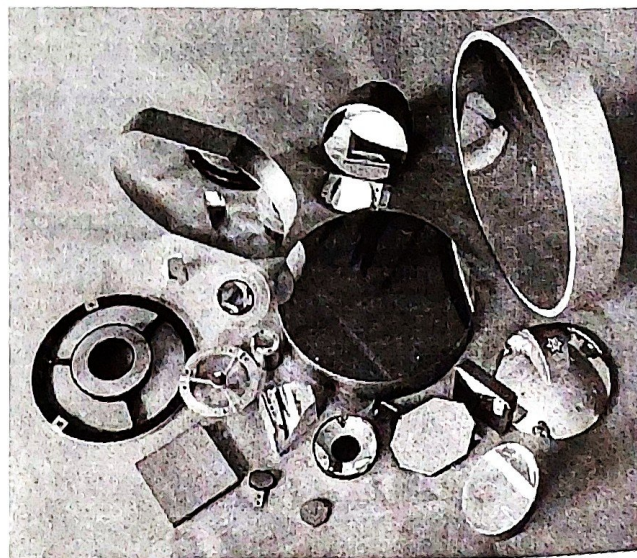


Рис. 1. Оптические элементы, изготовленные методом алмазного точения.

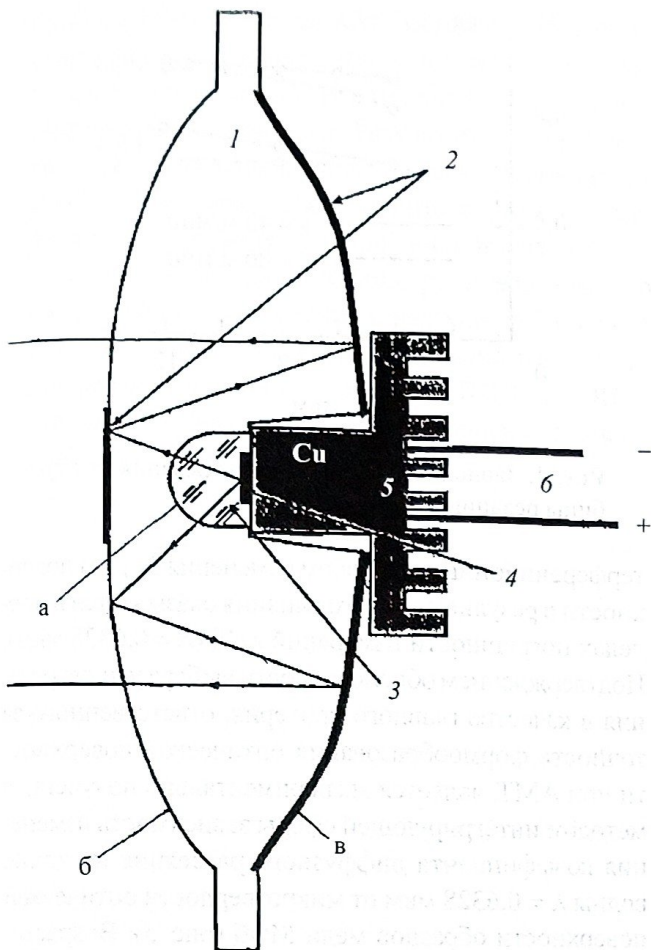


Рис. 2. Схема концентратора излучения светодиодов: 1 – оптический элемент, 2 – зеркальные участки, 3 – плоскость излучающего кристалла, заполненная иммерсионной средой, 4 – излучающий кристалл, 5 – теплоотвод, 6 – электрические выводы.

спроектированный элемент не требует последующего центрирования [1].

Значительная эффективность достигается при сочетании высокой технологии формообразования оптических поверхностей методом АМТ с дешевой технологией прессования (литья) деталей из полиметилметакрилата. При этом алмазное микроточение позволяет создавать матрицы оптических поверхностей сложных форм, а серийное прессование оптических элементов определяет их невысокую стоимость.

На основе изложенного подхода разработана конструкция и выпущена опытная партия концентраторов излучения светодиодов (КИС) [2]. При относительной дешевизне (в условиях крупносерийного производства стоимость КИС должна быть около 1 доллара США за штуку) эти системы имеют уникальные характеристики, которые могут быть воспроизведены только с применением АМТ. Более того, прессование оптических деталей из полиметилметакрилата позволяет приносить в систему такие элементы, которые не могут быть получены методом АМТ, например, полированная оптическая полусфера радиусом менее 1 мм (рис. 2).

КИС диаметром 40 мм выполнен вакуумным прессованием из полиметилметакрилата и имеет три рабочие поверхности (а, б, в) сложной формы. Излучающий кристалл помещается в фокусе оптического элемента, рассчитанного таким образом, что любой луч, исходящий из источника диаметром 0,5 мм в угле π рад, после двух отражений и преломления выходит из элемента параллельно оптической оси. Особенностью схемы является то, что отражение от поверхности б осуществляется либо на зеркальном участке, либо на прозрачном за счет эффекта полного внутреннего отражения. Зеркально отражающие вакуумные покрытия из серебра обеспечивают минимальные потери в видимом и ближнем ИК диапазонах спектра. На поверхность б наносятся широкополосные просветляющие покрытия, которые обеспечивают высокое пропускание в рабочем диапазоне, а также уменьшают долю ультрафиолетового излучения, попадающего внутрь концентратора. Последнее обстоятельство повышает срок службы оптического элемента за счет замедления процесса фотодеструкции полимера. Кроме того, просветляющее покрытие обеспечивает устойчивость к атмосферным воздействиям, включая влагостойкость, а также защиту от химически активных по отношению к полиметилметакрилату сернистых и хлористых соединений, часто присутствующих в атмосфере.

В таблице приведены некоторые характеристики нескольких образцов КИС, имеющих конкретные прикладные значения.

Приоритетным направлением совершенствования технологии АМТ является исследование физических эффектов процесса резания материала при формообразовании оптической поверхности с целью получения предельных точностных характеристик оптической поверхности.

При правильной юстировке станка АМТ основную ответственность за точность получаемой формы оптической поверхности несут упругопластические деформации системы резец–деталь и тепловое состояние в зоне резания. Снижение отклонения получаемой формы оптической поверхности от заданной достигается оптимизацией входных технологических параметров: скорости и глубины резания, подачи резца на оборот детали, геометрии режущей кромки резца, интенсивности подачи смазы-

	Параметры трех образцов КИС		
	10	40	200
Диаметр КИС, мм	10	40	200
Размер светящейся площадки светодиода, мм	0,35	0,5	10
Толщина КИС, мм	2,5	10	45
Угловая расходимость, угл. град	$\pm 3,5$	± 2	± 7

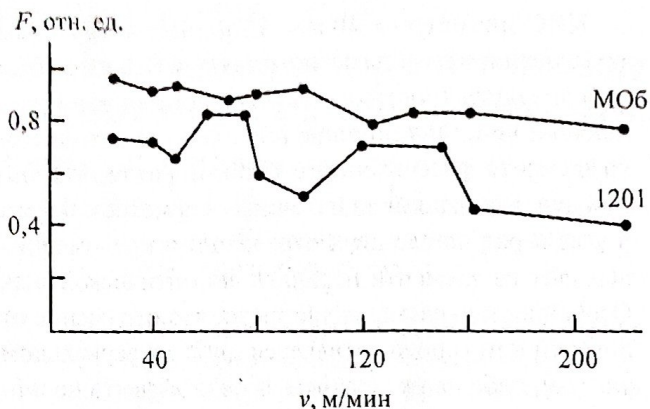


Рис. 3. Зависимость осевой силы резания от скорости резания.

вающе-охлаждающей жидкости (СОЖ) в зону резания, некоторой функцией которых является осевая сила резания. Влияние перечисленных параметров на точность формообразования достаточно сложно и меняется при замене материала оптического элемента, поэтому требует дальнейшего экспериментального исследования.

С целью контроля осевой силы резания непосредственно в ходе технологического процесса формообразования оптической поверхности на станках АМТ разработан и изготовлен датчик осевой силы резания на основе пьезокерамики. Датчик позволяет измерять силу резания при оборотах шпинделя от 100 до 3000 об/мин с чувствительностью не менее 0,001 Н. Исследование влияния режимов резания проводилось на станке АМТ МО-500С на плоских зеркалах из бескислородной меди марки МОБ и алюминиевого сплава 1201. Диапазон варьирования технологических параметров выбирался в рабочей области, определенной по критерию достижения максимальных оптико-физических характеристик обработанной поверхности.

Результаты измерений показали отсутствие зависимости осевой силы резания от скорости подачи резца. Зависимости силы резания F от скорости v и глубины h резания представлены на рис. 3 и рис. 4 соответственно. Зависимость F от скорости носит убывающий характер с локальными экстремумами, более выраженными для алюминиевого сплава 1201, в то время как для МОБ кривая носит более монотонный характер. С увеличением глубины резания осевое усилие на резец возрастает, причем с изменяющейся динамикой при различных скоростях резания. Общий уровень сил резания для более пластичного материала МОБ выше, чем для сплава 1201.

Результаты экспериментов неплохо коррелируют с моделью резания, приведенной в [3]. При правильно выбранных технологических режимах АМТ влияние усилий резания на точность формообразования оптической поверхности мало и прямое измерение ин-

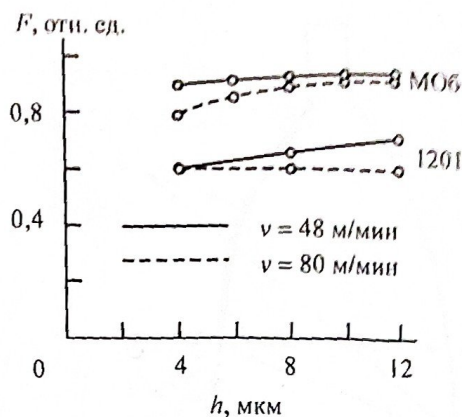


Рис. 4. Зависимость осевой силы резания от глубины резания.

терференционным способом изменения формы поверхности в результате такого влияния оказывается в пределах погрешности измерений $\lambda/10$ ($\lambda = 0,6328$ мкм). Подтверждением обоснованности выбора усилия резания в качестве главного критерия, ответственного за точность формообразования оптической поверхности при АМТ, является экспериментально полученная методом интегрирующей сферы зависимость изменения коэффициента диффузного рассеяния на длине волны $\lambda = 0,6328$ мкм от микротвердости оптической поверхности образцов меди МОБ (рис. 5). Возрастающие значения микротвердости оптической поверхности получались путем увеличения усилий резания за счет варьирования технологических режимов АМТ при переходе от образца к образцу и измерялись на

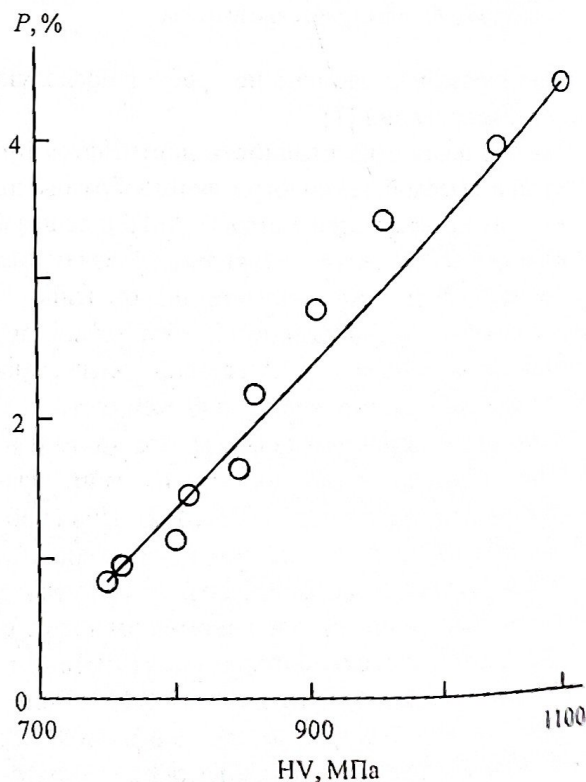


Рис. 5. Зависимость коэффициента диффузного рассеяния ($\lambda = 0,6328$ мкм) от микротвердости оптической поверхности.

приборе ПМТ-4. После АМТ образцы подвергались отжигу при температуре 100 °С в течение 50 ч для релаксации напряжений пластической деформации на оптической поверхности. Результаты измерений показывают близкую к линейно возрастающей зависимость изменения коэффициента диффузного рассеяния от полученных значений микротвердости.

Применение при подборе режимов алмазного микроточения оптических поверхностей в качестве главного технологического критерия осевого усилия резания позволило создать в НИИКИ ОЭП указанным методом целую гамму сложных высокоточных оптических элементов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Солк С.В., Шевцов С.Е., Яковлев А.А. Особенности изготовления методом алмазного точения оптических элементов для систем транспортировки лазерного излучения // Оптический журнал. 1999. Т. 66. № 11. С. 87–89.
2. Сабинин В.Е., Солк С.В. Проблемы проектирования и изготовления оптики из полимерных материалов // Оптический журнал. 2002. Т. 69. № 1. С. 61–64.
3. Соболев В.Г., Шевцов С.Е. Модель образования оптической поверхности на пластичных материалах при алмазном микроточении // Оптический журнал. 1994. Т. 61. № 11. С. 59–61.