

ОПТИЧЕСКОЕ ФОРМООБРАЗОВАНИЕ КРУПНОГАБАРИТНОГО АСФЕРИЧЕСКОГО ЗЕРКАЛА ИЗ КАРБИДА КРЕМНИЯ

© 2007 г. Ю. П. Химич, канд. физ.-мат. наук; Г. В. Евтеев, канд. техн. наук;
Д. Б. Никитин, канд. техн. наук

ВНЦ “Государственный оптический институт им. С.И. Вавилова”, Санкт-Петербург

Описан процесс оптической обработки поверхности крупногабаритного асферического зеркала диаметром 630 мм с максимальным значением асферичности, равным 71 мкм, и степенью облегчения более 70% из силицированного карбида кремния.

Коды OCIS: 220.0220.

Поступила в редакцию 20.06.2006.

Силицированный карбид кремния (СКК) представляет собой двухфазный композиционный материал, содержащий карбид кремния и кремний в соотношении по объему (80–85)/(15–20)% соответственно [1, 2]. Особенностью этого материала является его высокая стойкость к абразивному износу. Поэтому одной из основных проблем формообразования оптических поверхностей зеркал из СКК, в частности асферических, является разработка технологии, сочетающей разумную производительность с возможностью достижения требуемой точности оптической поверхности.

В случае обработки значительно облегченных зеркал (степень облегчения более 50%) попытки повышения производительности за счет увеличения давления на инструмент сталкиваются с ограничениями, связанными с появлением так называемого эффекта “простегивания”, заключающегося в регулярной неравномерности съема материала, в свою очередь зависящего от имеющейся структуры облегчения [3]. Поэтому, кроме уже описанных в работах [4–6] задач формообразования оптических поверхностей на СКК, внимание следует уделить проблеме уменьшения этой ошибки.

На рис. 1 приведена схема, иллюстрирующая механизм возникновения ошибки “простегивания”. При воздействии инструмента на поверхность облегченного зеркала лицевая пластина над ячейкой облегчения испытывает упругий прогиб, величина которого пропорциональна pa^4/Eh^3 , где p – давление на инструмент, a – расстояние между ребрами, h – толщина лицевой пластины, E – модуль упругости. В рассматриваемом зеркале характерный размер ячейки облегчения составляет 50–60 мм. Соответственно, толщина слоя абразивной суспензии становится неоднородной – в точках контакта с ребрами она меньше, чем в межреберной зоне, $e_1 < e_2$. Как известно, толщина слоя абразивной суспензии существенно влияет на интенсивность обработки – чем она меньше, тем выше интенсивность износа

[7]. Зависимость толщины абразивного слоя e от давления на инструмент p , полученная в работе [7] (кривая 1), и результаты наших расчетов (кривые 2 и 3) напряженно-деформированного состояния (НДС) системы инструмент–пластина, которое реализуется при воздействии перемещающегося инструмента, представлены на рис. 2.

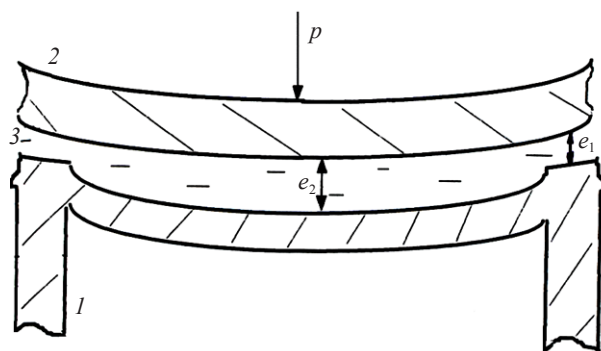


Рис. 1. Схема воздействия инструмента на элемент лицевой поверхности облегченного зеркала. 1 – обрабатываемый оптический элемент, 2 – инструмент, 3 – абразивная суспензия.

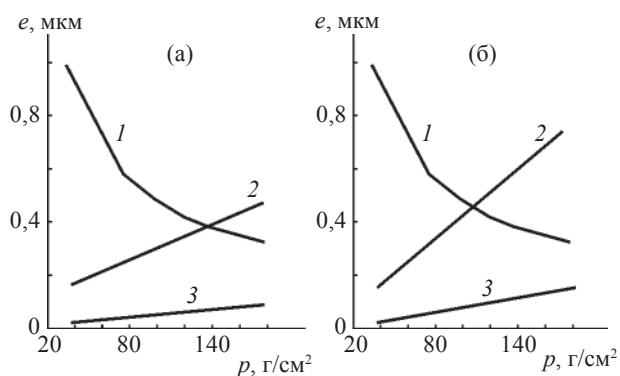


Рис. 2. Зависимости толщины абразивного слоя e от давления на инструмент p . а – инструмент дисковой формы, б – секторный инструмент. 1 – по данным [7], 2 – максимальный прогиб лицевой пластины, 3 – максимальный прогиб инструмента.

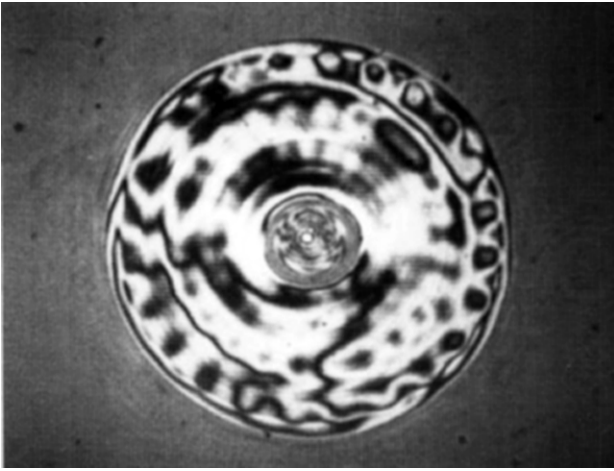


Рис. 3. Интерферограмма поверхности зеркала с ошибкой типа “простегивание”.

Количественно интенсивность износа в разных точках для анализируемого случая различается в 3–4 и более раз, что подтверждается результатами сравнительных интерференционных измерений.

Типичная интерферограмма поверхности зеркала с ошибкой типа “простегивание” приведена на рис. 3.

Для определения допустимых пределов значений технологических параметров финишной обработки зеркал из карбида кремния малоразмерным инструментом было проведено многофакторное моделирование технологического процесса.

Предварительно рассчитывалось НДС зеркала под воздействием различных полировальных инструментов, имеющих смоляную или пенополиуретановую подложку, в широком диапазоне прилагаемых нагрузок. Далее учитывалось предполагаемое изменение толщины жидкостного слоя от параметров обработки, вклад гидродинамического давления, влияние коэффициента покрытия при использовании малоразмерного инструмента и соответственно вводились корректирующие коэффициенты для функции материалосъема, используемой при реализации автоматизированной и осевой технологий оптического формообразования.

После получения сферической поверхности с ошибкой волнового фронта по $RMS = 0,1\lambda$ осуществлялась установка штатных узлов крепления зеркала с последующим интерферометрическим контролем. На этапе предварительной асферизации использовался контактный метод контроля асферометром. По достижении устойчивой интерференционной картины с RMS порядка $(1,5-2)\lambda$ измерения и их анализ проводились в интерферометрической системе ZYGO “Mark IV”. Дальнейшая обработка проводилась в режиме периодической

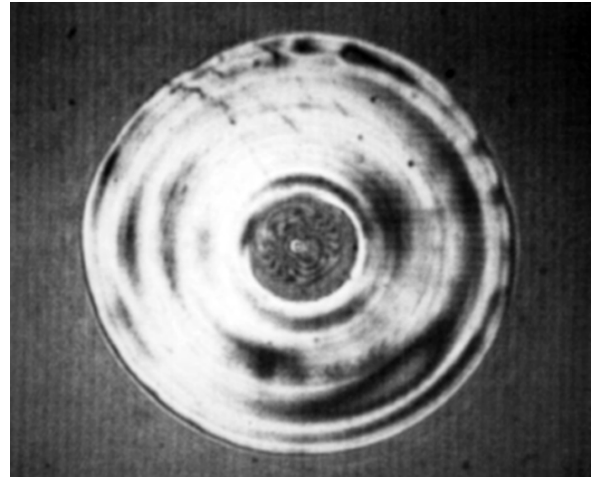


Рис. 4. Интерферограмма асферической поверхности с $RMS_{WFE} = 0,07\lambda$. (Оценивается ошибка волнового фронта WFE.)

смены применяемого технологического оборудования (осевые оптические станки, автоматизированный комплекс).

Уменьшение ошибки типа “простегивание” оценивалось средним значением локальных отклонений на оптической поверхности.

Интерферограмма изготовленного асферического зеркала показана на рис. 4.

Обработка и анализ данных при проведении аттестационных измерений волнового фронта от зеркала выполнялись с использованием программного обеспечения ZYGO “Mark IV” и пакета прикладных технологических программ “ADMOD” [8]. Получаемые результаты и характеристики поверхности по обеим программам оценки качества поверхности отличались не более чем на 5%.

Долевой вклад отдельных ошибок в общую ошибку на оптической поверхности иллюстрируют данные таблицы.

При создании этого зеркала наибольший вклад в RMS вносили местные нерегулярные ошибки, зональные ошибки отсутствовали полностью.

Проведенные исследования позволили сделать следующие выводы:

1. При обработке облегченных зеркал напряжения и деформации, возникающие в зеркале под действием инструмента, существенным образом влия-

Долевой вклад отдельных ошибок в общую ошибку

Тип ошибки	Вклад ошибки, %	
	ПО “Mark IV”	ПО “ADMOD”
Местные ошибки	85	90
Допускаемая кома в схеме контроля	<6	<6
Астигматизм	<9	<4

ют на предельно достижимое качество оптической поверхности.

2. Прежде чем приступить к процессу формообразования необходимо провести моделирование НДС зеркала при формообразовании и рассчитать параметры инструмента, давление на деталь, скоростные режимы обработки, используемые траектории перемещения и временные ограничения обработки в отдельных зонах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Любарский С.В., Химич Ю.П. Оптические зеркала из нетрадиционных материалов // Оптический журнал. 1994. № 1. С. 76–83.
2. Любарский С.В., Химич Ю.П. Карбид кремния – перспективный материал для различных применений // Научно-технич. журнал “Вестник НОУ–ХАУ”. 1993. № 5. С. 79–80.
3. Krim M.H. Ultralightweight mirror // Technical News. 1977. V. 6. № 1.
4. Евтеев Г.В., Есин Д.Р., Никитин Д.Б. Формообразование оптических поверхностей из нетрадиционных материалов на автоматизированных станках // Тез. докл. на семинаре “Технология изготовления прецизионных оптических элементов”. СПб.: АООТ “ЛОМО”, 1996. Ч. 2. С. 5.
5. Евтеев Г.В., Есин Д.Р., Никитин Д.Б. Принципы построения управляемого процесса формообразования оптических поверхностей // Тез. докл. Междунар. конф. “Прикладная оптика-96”. СПб.: ГОИ, 1996. С. 54.
6. Евтеев Г.В., Есин Д.Р., Никитин Д.Б. Опыт комплексного использования осевых оптических станков и X-Y машин при формообразовании крупногабаритных поверхностей // Тез. докл. семинара “Технология изготовления прецизионных оптических элементов”. СПб.: АООТ “ЛОМО”, 1996. Ч. 2. С. 3.
7. Винокуров В.М. Исследование процесса полировки стекла. М.: Машиностроение, 1967. 196 с.
8. Евтеев Г.В., Никитин Д.Б., Подгорбунских И.В. Пакет прикладных технологических программ для обработки крупногабаритных поверхностей оптических деталей // ОМП. 1992. № 7. С.57–59.