

07; 12

© 1990

## О ВОЗМОЖНОСТИ СОЗДАНИЯ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ОПТИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ОСНОВЕ МНОГОСЛОЙНЫХ СОТОВЫХ СТРУКТУР

В.В. Аполлонов, В.С. Колесов,  
А.М. Прохоров, В.А. Шмаков, В.В. Элксин

Реальные условия эксплуатации крупногабаритных оптических элементов в большинстве случаев выдвигают противоречивый набор требований, существенно усложняющих процесс изготовления. Обладая малым весом и высокой удельной жесткостью, оптические элементы должны сохранять работоспособность при интенсивном одностороннем нагреве и быстро изменяющейся температуре среды. Вместе с тем увеличение размеров зеркал при сохранении заданного уровня искажений оптической поверхности приводит к резкому возрастанию массы.

На путях снижения массы крупногабаритных оптических элементов при условии сохранения жесткости их конструкций наряду с такими новыми подходами, как применение материалов с синтезированными физико-техническими свойствами, перспективным является и поиск новых решений проблемы облегчения крупногабаритных оптических конструкций. В известных решениях уменьшение массы оптических элементов достигается благодаря созданию в них внутренних пустот с достаточно крупными ячейками [1, 2]. Это позволяет уменьшить их массу в 2.5–4 раза при максимальной величине искажения оптической поверхности под действием собственного веса, составляющей 0.7–0.8 от величины искажения монолитного зеркала. Однако в таких оптических элементах сложно осуществить систему термостабилизации без существенной потери жесткости.

Другим способом уменьшения массы оптических элементов является применение высокопористых ячеистых материалов [3]. Такой подход позволяет облегчить конструкцию зеркала в 7–8 раз по сравнению с монолитным изделием и успешно решить вопрос его термостабилизации. Однако трудности технологического характера (создание переходных слоев, пайка и др.) не позволяют пока в полной мере использовать конструкции зеркал на основе высокопористых ячеистых материалов.

В настоящей работе исследуется возможность создания облегченных крупногабаритных оптических элементов на основе многослойных композиций с сотовым наполнителем. Такие композиции обладают сравнительно небольшой массой при высокой удельной жесткости, хорошими теплоизолирующими свойствами, высоким коэффициентом поглощения упругих колебаний. При этом использо-

вание многослойных композиций обеспечивает также и возможность создания системы термической стабилизации.

При осесимметричном тепловом нагружении задача о термических искажениях оптической поверхности охлаждаемого многослойного сотового зеркала может быть решена аналитически. В этом случае для расчета температурных полей в оптическом элементе рассматривается задача для многослойного цилиндра, на торцах и боковой поверхности которого задаются потоки тепла, а внутри слоев тепло снимается теплоносителем. Термоперемещения оптической поверхности определяются как сумма нормального температурного расширения элемента и его изгиба

$$W = W_H + W_{изг},$$

где  $W_H = \int_0^H \beta(z) \cdot T(z, r)$  - нормальное расширение,  $\beta(z)$  - коэффициент линейного расширения,  $T(z, r)$  - температура,  $H$  - толщина оптического элемента.

$$\text{Изгиб } W_{изг} \text{ определяется из уравнения } \nabla^4 W_{изг} = -\nabla^2 \frac{M_T}{D},$$

где

$$M_T = \int_{z_0-H}^{z_0} \frac{E \beta z}{1-\nu} T(z, r) dz - \text{температурный момент,}$$

$$D = \int_{z_0-H}^{z_0} \frac{E z^2}{1-\nu} dz - \text{жесткость на изгиб,}$$

$E$  - модуль Юнга,  $\nu$  - коэффициент Пуассона. Приведенный коэффициент Пуассона  $\tilde{\nu}$  и положение нейтральной поверхности определяются из условий

$$\int_{z_0-H}^{z_0} \frac{E}{1-\nu^2} (\tilde{\nu} - \nu) dz = 0, \quad \int_{z_0-H}^{z_0} E \cdot z \cdot dz = 0,$$

$$W_{изг}(r) = C_1 + C_2 \ln r + C_3 r^2 + C_4 r^2 \ln r + \frac{1}{D} \int_0^z \frac{1}{\rho} \int_0^\rho \xi \cdot H(\xi) \cdot d\xi \cdot d\rho.$$

Постоянные  $C_1, C_2, C_3, C_4$  определяются из краевых условий.

Результаты расчета показывают, что при поглощенном тепловом потоке  $\sim 10$  Вт/см<sup>2</sup>, искажения оптической поверхности зеркальных элементов на основе многослойных сотовых структур из инвара не превышают 0.7 мкм на диаметре 1 м. Постоянная термостабилизации (время выхода на стационарный режим работы), которая определяется из решения нестационарной задачи, для таких конструкций составляет десятые доли секунды.

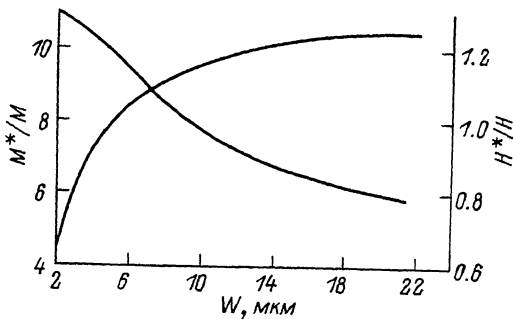


Рис. 1. Зависимость массы и толщины сотового зеркала из инвара диаметром 2 м от уровня требований, накладываемых на величину искажений оптической поверхности.

Особенностью работы облегченных конструкций зеркал с сотовым наполнителем является то обстоятельство, что в сравнительно нежестком наполнителе могут возникать деформации сдвига и поперечного сжатия наполнителя, заметно влияющие на работу оптического элемента как целого. В связи с этим возникает задача его оптимизации. Этот вопрос рассмотрен нами в рамках задачи нелинейного программирования, которая в общем виде состоит в определении вектора проектных параметров  $\vec{x}$  в  $n$ -мерном Евклидовом пространстве

$$\vec{x} = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) \in R^n,$$

минимизирующей целевую функцию (массу конструкции)

$$m = m(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$$

и удовлетворяющей ограничениям в форме неравенств

$$\varphi_i(\vec{x}) \geq 0 \quad i=1, 2, 3, \dots, J,$$

$$\psi_j(\vec{x}) \geq 0 \quad j=1, 2, 3, \dots, J.$$

Здесь  $x_1 \geq 0, x_2 \geq 0, \dots, x_n \geq 0$ .  $R^n$  - допустимое множество задачи;  $\varphi_i(\vec{x})$  - ограничения, задаваемые на размеры проектных параметров (параметрические ограничения);  $\psi_j(\vec{x})$  - функциональные ограничения, обеспечивающие требуемый уровень искажений оптической поверхности. Относительное смещение оптической поверхности от действия гравитационной, механической и тепловой нагрузок определялось методом конечных элементов.

На рис. 1 приведены зависимости  $\frac{M^*}{M}$  и  $\frac{H^*}{H}$  от величины допус-

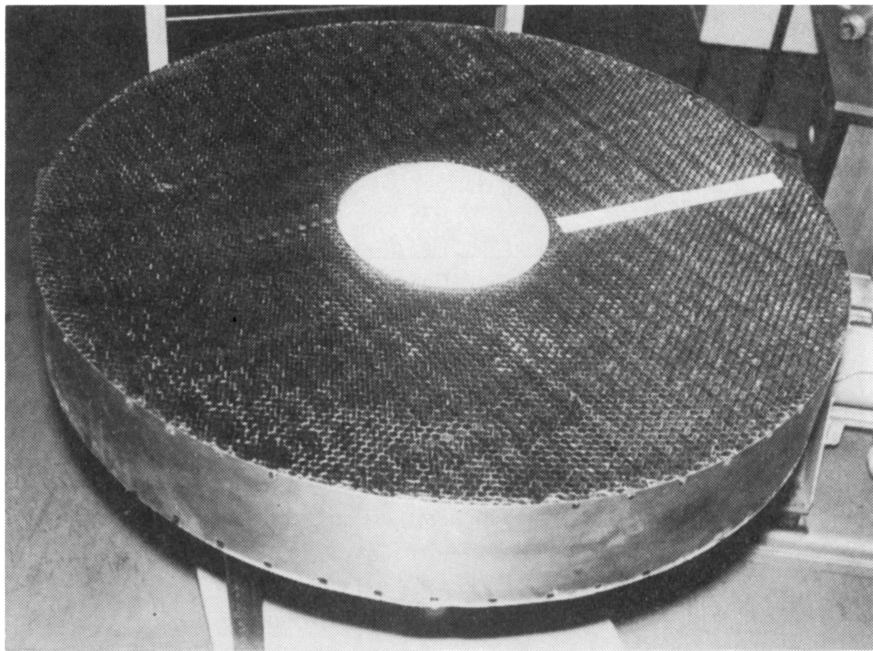


Рис. 2. Фотография заготовки многослойного сотового зеркала диаметром 1 м из инвара.

тимого искажения оптической поверхности под собственным весом. Здесь  $M^*$  и  $H^*$  – масса и толщина монолитной круглой плиты, а  $M$  и  $H$  – масса и толщина трехслойной сотовой структуры диаметром 2 м из инвара. Как следует из графика, эффективность многослойной сотовой композиции возрастает по мере ужесточения требований, налагаемых на величину допустимого искажения оптической поверхности. Из рисунка также следует, что при определенных соотношениях параметров структуры может быть обеспечена минимальная величина искажений оптической поверхности.

Пример использования многослойных сотовых структур при изготовлении крупногабаритных оптических элементов диаметром 1 м показана на рис. 2. Серия крупногабаритных облегченных зеркал, изготовленных из инвара, применяется в настоящее время в лазерных технологических установках и подтверждает их высокую эффективность.

Таким образом, в настоящей работе показана перспективность использования многослойных сотовых структур для создания облегченных крупногабаритных оптических элементов, позволяющих создать высокоэффективную систему термостабилизации.

- [1] Т е б о А. // Laser Focus. 1988. N 6. P. 79-92.  
[2] Р о д к е в и ч Г.В., Р о б а ч е в с к а я В.И. // ОМП.  
1977. № 9. С. 3-7.  
[3] А л е к с е е в В.А., А н ц и ф и р о в В.Н., А п о л л о -  
н о в В.В., Б и л и б и н С.В., Г а д ж и е в М.Г., К у -  
н е в и ч А.П., Н а р у с б е к Э.А., П р о х о р о в А.М.,  
Х о м и ч В.Ю. // Письма в ЖТФ. Т. 11. В. 22. С. 1350-1354.

Институт общей физики  
АН СССР, Москва

Поступило в Редакцию  
21 ноября 1989 г.

Письма в ЖТФ, том 16, вып. 2

26 января 1990 г.

07; 12

© 1990

## КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ В КРУПНОГАБАРИТНОЙ ОПТИКЕ

В.В. А п о л л о н о в, Г.И. Б а б а я н ц,  
М.В. Г а р т м а н, В.М. Г о л о м а з о в,  
Ю.Д. Л о к т и о н о в, Ю.М. П и р о г о в а,  
Г.В. П л о т ц е в, А.М. П р о х о р о в, В.А. Ш м а к о в

Одним из важнейших направлений современной оптики является развитие физико-технических и технологических основ создания крупногабаритных оптических элементов и их систем. Прогресс в этой области в значительной степени обеспечивается быстрым развитием новых технологий и разработкой материалов с принципиально новыми свойствами. Необходимость такого развития связана с постоянно расширяющимся кругом задач, стоящих перед современной наукой и практикой ее технических приложений.

Так, в Национальной оптической астрономической обсерватории США уже введен в действие телескоп с 3.5-метровым зеркалом, заканчиваются работы по созданию 8-метрового и планируется изготовление 16-метрового зеркала из стеклокерамики с сотовой структурой [1]. Оптическая система лазерной установки "Аврора" [2] содержит крупногабаритное зеркало из пирекса с апертурой 1 метр. Зеркала из этого материала, по мнению авторов, имеют поверхность более высокого качества и выдерживают большие световые потоки, чем из традиционных для оптики материалов: кварца, ситалла.

Общим недостатком применяемых в оптической астрономии и лазерной технике крупногабаритных зеркал из стекла, стеклокерамики, плавленого кварца, ситалла и др. является низкая теп-