

**ПРИМЕНЕНИЕ КАРБИДОКРЕМНИЕВОЙ КЕРАМИКИ  
ДЛЯ СБОРНЫХ ПОДЛОЖЕК ОПТИЧЕСКИХ ЗЕРКАЛ**

**Ильющенко А.Ф., Бабура Д.В., Осипов В.А.**

*Государственное научное учреждение «Институт порошковой металлургии  
имени академика О.В. Романа», г. Минск, Республика Беларусь,  
[Babura.dima@mail.ru](mailto:Babura.dima@mail.ru)*

Научно-технические достижения последнего времени в области астрономии, космической и лазерной технологии для изучения космического пространства и мониторинга состояния атмосферы Земли и ее поверхности стали возможными благодаря появлению новых высокоточных оптических наземных и космических телескопов с оптическими зеркалами, размеры которых постоянно увеличиваются.

В отличие от зеркал наземных телескопов, условия эксплуатации космических зеркал принципиально отличаются вследствие воздействия невесомости, космических тел, резких перепадов температур. К зеркалам космических телескопов предъявляются повышенные требования по жесткости, сохранению формы и размеров в процессе эксплуатации, возможность соединения их с несущими конструкциями телескопа. Кроме того, зеркала космических телескопов ограничены по размерам и массе, так как выводятся на орбиту с помощью спутника.

Для уменьшения массы зеркал необходимо применять материалы с низкой плотностью. Однако они должны обладать необходимым комплексом механических и теплофизических свойств.

Одним из самых перспективных материалов для крупногабаритных облегченных зеркал является карбидокремниевая керамика. Обладая невысокой плотностью ( $3,2 \text{ г/см}^3$ ), карбид кремния имеет необходимые физико-механические характеристики для изготовления подложек зеркал. Превосходя стеклообразные материалы, которые применяют в настоящее время для изготовления оптических зеркал, на два порядка по теплопроводности, он даже при относительно высоких значениях ТКЛР обладает приемлемым значением коэффициента термодформаций  $\alpha/\lambda_t$ , сочетает удельную жесткость бериллия с температурной стабильностью лучших сверхнизкорасширяющихся материалов. [1].

Одним из вариантов получения крупногабаритных подложек зеркал сложной формы из карбидокремниевого материала, в тех случаях, когда методом прессования изготовить такие изделия не представляется возможным, является разработанная в Институте порошковой металлургии технология пайки отдельных элементов, названная «реакционной пайкой».

Сущность технологического процесса заключается в соединении простых по форме деталей в изделия сложной конфигурации с применением паст специальных составов и последующим реакционным спеканием таких изделий по определённому режиму.

Использование составной конструкции подложки зеркала была вызвана трудностью изготовления из керамических материалов крупногабаритных заготовок (площадью более  $350 \text{ см}^2$ ) с использованием имеющегося прессового и термического оборудования.

Отдельные элементы из карбидокремниевой керамики получали методом прессования на гидравлическом прессе и последующего реакционного спекания. Такая технология приемлема для получения из керамических материалов изделий площадью не более  $300 \text{ см}^2$ .

В работе составную конструкцию подложки зеркала получали пайкой семи шестигранных элементов размером 70 мм (рис. 1).



Рисунок 1 – Сборная конструкция подложки зеркала и отдельный шестигранный элемент подложки

Для изготовления шестигранных элементов из карбидокремниевой керамики, предназначенных для получения сборной конструкции использовалась порошки карбида кремния марки 64С и технический углерод, который вводили в количестве 15 мас. %. Предварительное спекание шестигранных элементов и реакционная пайка этих элементов в сборную конструкцию осуществлялись в высокотемпературной вакуумной печи ВС-16-22У.

Для оценки возможности использования сборной конструкции оптического зеркала из карбидокремниевой керамики в условиях нагрузок, возникающих при доставке изделия на околоземную орбиту и эксплуатации его в условиях космоса, проведены испытания на определение усилия и характера разрушения опытного образца при статическом нагружении по центру изделия. Испытания проводились на поверенной универсальной машине «Tinius Olsen H150 KU» по согласованной с Заказчиком схеме статического нагружения. Нагрузка прикладывалась со стороны полостей в шестигранных элементах, что создавало высокую концентрацию сжимающих напряжений с одной стороны и растягивающих - с другой.

Учитывая весьма сложную схему нагружения и напряжений, возникающих в такой конструкции при внешнем воздействии, полученное абсолютное значение усилия разрушения может быть интерпретировано как прочность конструкции. Такие испытания могут свидетельствовать о характере разрушения конструкции, а также о возможных мерах по оптимизации формы и размеров составных элементов и конструкции в целом.

Характер разрушения сборной конструкции, подвергнутой статическому сжатию центрального шестигранного элемента, показал (рис. 2), что три шестигранных элемента выдержали нагрузку без разрушения, разрушение происходит по телу спаиваемых карбидокремниевых элементов, а не по паяному шву, усилие разрушения при этом составило 14000 Н.

Таким образом, разработанная технология пайки отдельных элементов позволяет использовать ее для получения масштабных подложек оптических зеркал из карбидокремниевой керамики.



Рисунок 2 – Сборная конструкция подложки зеркала из шестигранных карбидкремниевых элементов после нагружения

Литература

1. Алтухов, С.В. Перспективные конструкционные материалы космических телескопических систем. [Текст]/ С.В.Алтухов, В.С.Тулъев, И.В.Тетерина, А.Г.Флейшер. // Сб. трудов III конференции «Будущее оптики».- СПб., 30 марта - 2 апреля 2015 г. -С.10-11.