



ОГЛАВЛЕНИЕ

Пленарные доклады

		Стр.
Моишеев А.А.	Проблемы обеспечения прецизионности крупногабаритных космических оптических конструкций	7
Ахметов Р.Н., Сторож А.Д., Стратилатов Н.Р., Шайда А.Н., Нонин А.С., Потапова Ю.В., Кудрявцев О.Б.	Проектирование адаптивного к действию градиентов температур размеростабильного корпуса космического телескопа	9
Семенов А.П., Абдулкадыров М.А., Игнатов А.Н., Патрикеев А.П.	Размерная стабильность зеркал из Астроситалла®	13
Сеник Б.Н., Тарасов А.П.	Размерная стабильность конструкций оптических модулей, изготовленных с использованием комплексной технологии глубокого оптического контакта	15
Архипов С.А.	Обобщенные модели размерной стабильности и обеспечение размерной стабильности конструкций космической информационной оптики	18

Секция

Проблемы размерной стабильности материалов, конструкций и приборов

Афанасов Д.С., Попов Н.Н.	Классификация материалов оптических и оптико-электронных приборов	26
Запотылько Н.Р., Катков А.А., Савельев И.И., Синельников А.О.	Тепловое расширение материалов, используемых в лазерной гироскопии	28
Химич Ю.П., Никитин Д.Б.	Свойства реакционно-связанного карбида кремния (сикара)	30
Химич Ю.П., Никитин Д.Б.	Размерная стабильность крупногабаритных облегченных зеркал из карбида кремния	31
Власенко О.В., Зверев А.В., Камышан З.И.	Пути снижения чувствительности отражающей поверхности облегченного крупногабаритного космического астрономического зеркала к объёмной деформации клея DP-190 в клеевом соединении между зеркалом и его оправой	33

Власенко О.В., Котов В.В.	Учёт влияния технологической разгрузки облегчённого крупногабаритного космического астрономического зеркала на форму его отражающей поверхности при проведении интерферометрического контроля	36
Бабаянц Г.И., Бабаянц К.Г., Суганеев В.С., Штрапенина Р.Б., Локтионов Ю.Д.	Оптический блок телескопа космического базирования из материалов на основе карбида кремния	39
Суганеев В.С., Бабаянц Г.И., Бабаянц К.Г.	Влияние основных геометрических параметров зеркала из карбида кремния на стабильность его характеристик	40
Коротаев В.В.	Контроль деформаций крупногабаритных конструкций, зданий и сооружений	42
Романова Т.Л., Сокольский М.Н., Трегуб В.П.	Служебные системы для контроля положения визирных осей объективов телескопа ДЗЗ относительно положения звездных датчиков на РСНК	45
Одинокоев С.Б., Колочкин В.Я., Морозов С.А., Ли А.В.	Оценка погрешностей голограммных компенсаторов, используемых для сборки-юстировки асферической оптики	48
Лельков М.В., Морозов А.Н.	Расчет и проектирование оптических схем фурье-спектрорадиометров, устойчивых к полевым условиям эксплуатации	50
Парвулюсов Ю.Б., Шкаманова М.В.	Обеспечение пространственной стабильности угломерного метрологического стенда	52
Виленский А.В., Лысой Б.Г., Пашков В.А.	Эффективные лазеры на алюмоиттриевом гранате с неодимом с диодной накачкой, работающие в широком интервале температур без температурной стабилизации диодов накачки	55
Архипов С.А., Заварзин В.И., Кравченко С.О., Морозов С.А.	Обеспечение размерной стабильности конструкций и сохранность фотограмметрических параметров оптико-электронной аппаратуры дистанционного зондирования Земли	56
Архипов С.А., Морозов С.А., Сальникова М.А.	Выбор материала и расчет параметров облегченного зеркала широкозахватной многоспектральной аппаратуры среднего разрешения	59
Архипов С.А., Беяев К.С., Морозов С.А., Сальникова М.А.	Оценка деформаций облегченного зеркала широкозахватной многоспектральной аппаратуры среднего разрешения под действием силы тяжести в различных схемах нагружения	63

Архипов С.А., Зубко А.В., Лалакин А.В.	Методика расчетной оценки снижения спектрального коэффициента пропускания оптических систем космической аппаратуры при длительном воздействии ионизирующих излучений космического пространства	66
Давыдов А.Н., Елизаров Д.А., Клебанов Я.М., Кирдина Л.Н., Козлов А.Н., Лившиц М.Ю., Лобан О.М.	Влияние нестационарных тепловых полей на качество передачи изображения в оптической системе	73
Архипов С.А.	Методика экспресс-оценки температурной расстраиваемости съемочной аппаратуры дистанционного зондирования Земли	75
Карфидов А.О., Свирин В.В., Миронов А.И., Королев П.А.	Предварительный анализ термических нагрузок методом конечных элементов	78
Вельтищева В.В., Кудрявцева Н.В., Морозов С.А., Тышкуннов Н.В.	Термоабберационный анализ объектива для ИК области спектра для аппаратуры ИКФС-2	80
Секция		
Технологические проблемы размерной стабильности и формообразования		
Филатов Ю.Д., Ковалев С.В.	Эффективность процесса высококачественной обработки деталей из неметаллических материалов для оптических и оптико-электронных приборов	84
Тимофеев А.Н., Богачев Е.А., Лахин А.В., Ларионов Н.В., Бабаянц Г.И., Бабаянц К.Г.	Покрытия из карбида кремния, полученные пиролизом ММС, на реакционно-связанном карбиде кремния	86
Сизенев В.С., Струля И.Л.	Изготовление облегченных сканирующих зеркал из бериллия для ИК аппаратуры космического базирования	87
Абдулкадыров М.А., Белоусов С.П., Патрикеев, В.Е.	Технология изготовления высокоточных крупногабаритных облегченных асферических зеркал с высокой стабильностью формы поверхности	89

Семенов А.П., Шаров Ю.А.		
Петасюк Г. А.	Исследование размерной однородности и морфологических характеристик микропорошков природного и синтетического алмаза	91
Кузин В.В., Федоров М.Ю., Федоров С.Ю.	Обеспечение эксплуатационной стабильности керамических инструментов	93
Лавриненко В.И., Проц Л.А.	Соотношение между высотными параметрами шероховатости как показатель затратности процесса обработки	95
Бурькин В.В., Манохин А.С.	Высотные параметры шероховатости поверхности оптических изделий полученных методом алмазного микроточения	97
Филатов А.Ю., Пащенко Е.А., Сидорко В.И., Ковалев В.А.	Закономерности размерной алмазно-абразивной обработки прецизионных поверхностей оптических деталей	100
Вайнер Ю.А., Зорина М.В., Пестов А.Е., Салащенко Н.Н., Торопов М.Н., Чхало Н.И.	Проблемы изучения шероховатости и формы сверхточных оптических поверхностей	102
Зорина М.В., Нефедов И.М., Пестов А.Е., Салащенко Н.Н., Суслов Л.А., Торопов М.Н., Чурин С.А., Чхало Н.И.	Формирование прецизионных оптических элементов методом ионно-пучкового травления	104
Филатов Ю.Д., Маслов В.П.	Нарушенный слой поверхности при алмазно-абразивной обработке оптических деталей	106
Гречишников В. А., Петухов Ю. Е., Тарасов А. В., Романов В. Б., Домнин А. В., Рубец А. А., Чулин И.В.	Фреза с регулируемыми элементами из СТМ для обработки мерных пазов деталей оптики	107

Гречишников В.А., Петухов Ю.Е., Тарасов А.В., Романов В.Б., Домнин П.В., Рубец А.А., Чулин И.В.	Исследование инструментов с многогранными пластинами, оснащенными СТМ для обработки деталей оптических приборов	109
Пасичный О.О.	Использование структурированного шлифовального инструмента для управления формой микропрофиля обработанной поверхности	111
Терёшин М.В., Ляпусов С.Г.	Влияние износа инструментальной пластины на стабильность геометрических параметров и шероховатость детали.	113
Ведутенко В.В.	Оборудование Shimadzu для определения физико-химических свойств материалов	115
Савельев В.Ф., Корнетова Н.В., Пулин Ю.И., Савельев А.В., Альянов А.В.	ВСЕ-биоволногенез нестабильности техногенной безопасности	117
Савельев В.Ф., Корнетова Н.В., Овчинников В.В., Резчиков Е.А., Мороз В.Г.	Размерная стабильность в свете волновой теории Всеединства	119

Пленарные доклады

Проблемы обеспечения прецизионности крупногабаритных космических оптических конструкций

Моишеев А.А.

ФГУП «НПО им. С.А. Лавочкина», г. Химки

moisheev@laspace.ru

Одной из важных проблем создания крупногабаритных космических оптических конструкций, является решение задачи обеспечения размерной стабильности базовой конструкции в условиях внешнего воздействия факторов космического пространства. Космическое пространство характеризуется многими особенностями и свойствами, которые необходимо учитывать при разработке прецизионных космических конструкций. Это, прежде всего глубокий вакуум, отсутствие гравитации, высокая интенсивность ультрафиолетового и инфракрасного излучения, ослепляющая яркость видимого света Солнца, губительные дозы ионизирующих (проникающих) излучений (космические лучи и гамма-кванты, рентгеновское излучение и др.), наличие метеорных частиц, своеобразие теплового режима в условиях космоса и т. д. В космическом вакууме любой материал выделяет газы и пары, примеси и добавки, адсорбированные на поверхности и абсорбированные в объеме материала. Определенную проблему создает также процесс осаждения сублимированных компонентов на оптические поверхности, изменяя тем самым их функциональные характеристики (проницающую способность, коэффициенты отражения и пр.). Влияние этих факторов на создаваемую конструкцию необходимо моделировать и при необходимости исследовать при наземной экспериментальной отработке.

Выходные параметры оптического прибора, такого как космический телескоп, во многом зависят от площади собирающей поверхности (апертуры), что, конечно, ведет к увеличению габаритов и массы целевой аппаратуры. И чем больше габариты прибора, тем сложнее обеспечить его прецизионность при жестком ограничении массовых характеристик. Под **прецизионностью** конструкции следует понимать сохранение ее геометрических параметров при всех видах внешних воздействий. Однако, поскольку абсолютно неизменяемые конструкции в настоящее время создать невозможно, то при проектировании закладываются ограничения на величины деформаций, которые напрямую могут влиять на значения точностных параметров.

При проектировании космических оптических приборов оптимизация конструктивно-технологических решений обеспечения прецизионности базируется на следующих рекомендациях:

- при выборе силовой схемы конструкции предпочтительна статически определяемая, во многом определяющая размерную стабильность;
- разработать меры по минимизации воздействия внешних факторов на прецизионные конструкции;

- целенаправленный выбор конструкционных материалов, максимально реализующих физико-механические свойства с целью минимизации деформаций от внешних воздействий и не оказывающих негативных воздействий на оптические элементы прибора;
- введение в структуру прибора систем, позволяющих анализировать поведение конструкций под воздействием внешних факторов и корректировать параметры, определяющие его прецизионность;
- возможность применения специальных методик, оборудования и средств измерения, обеспечивающих наземную отработку прецизионных конструкций.

При выборе конструкционных материалов предпочтение надо отдавать тем, у которых значения $\frac{\sigma_R}{\gamma}$ и $\frac{E}{\gamma}$ наибольшие, при минимальном соотношении коэффициента термического расширения α к коэффициенту теплопроводности λ и коэффициенту теплоемкости C . Наиболее благоприятное сочетание этих критериев у бериллиевых сплавов, композиционных материалов, таких, как алюминий-бор и алюминий-углерод, углепластик, карбид кремния. Однако на сегодняшний день важно реально оценивать технологичность применения того или иного материала с анализом стабильности реализуемых характеристик.

Важной составляющей дестабилизации геометрических размеров конструкции является внутреннее напряженное состояние конструктивных элементов. Остаточные внутренние напряжения ($\sigma_{вн}$) провоцируют квазирелаксацию конструкционного материала, т.е. способность изделий к самопроизвольному изменению формы и размеров, что является значительным препятствием на пути создания прецизионных конструкций, так как изменение с течением времени размеров деталей может привести к недопустимому искажению конечных геометрических параметров. Самопроизвольное изменение размеров изделий является следствием двух факторов:

- нестабильности фазового или структурного состояния материала;
- релаксации остаточных внутренних напряжений, возникающих в процессе различных технологических операций.

В крупногабаритных космических конструкциях перспективным направлением в современный период является применение адаптивных систем, с помощью которых можно корректировать геометрические параметры прецизионных элементов, добиваясь наилучшего качества изображения, что в сочетании с вышеперечисленными приемами обеспечивает надежное функционирование сложных оптических систем в орбитальном полете.

Проектирование адаптивного к действию градиентов температур размеростабильного корпуса космического телескопа

Ахметов Р.Н., Сторож А.Д., Стратилатов Н.Р., Шайда А.Н., Нонин А.С.,
Потапова Ю.В., Кудрявцев О.Б.
ФГУП ГНП РКЦ «ЦСКБ-Прогресс», г. Самара
csdb@samspace.ru

В современной космической технике при проектировании и создании космических телескопов, работающих при различных температурах, возникает термооптическая абберация увеличения и расфокусировки оптической системы, за счет изменения размеров силового корпуса, связывающего оптическую систему.

Одним из путей уменьшения изменения размеров корпусов космических телескопов, обусловленных воздействием неравномерного поля температур, является использование конструктивных элементов, выполненных из материалов с низким коэффициентом линейного расширения, типа ИНВАР, $\alpha=0,8 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}$, $\gamma=8,2 \text{ г/см}^3$, высоко термостабильной композиционный материал на основе углепластиков типа КМУ-4Л, $\alpha=1 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}$, $\gamma=1,6 \text{ г/см}^3$.

Уменьшить температурные деформации можно также за счёт создания требуемого теплового режима, обеспечивающего снижение перепадов температур на корпус телескопа, за счёт применения активных и пассивных средств обеспечения теплового режима [1].

Применение неметаллических материалов на основе углепластиков не позволяет в полной мере обеспечить достаточную геометрическую стабильность корпуса конструкции телескопа, поскольку эта характеристика напрямую зависит от значения коэффициента линейного расширения, применяемого полимерного композитного материала, который является нестабильным, хотя и имеет малую величину.

Таким образом, существует потребность в простом и надёжном способе обеспечения размерной стабильности корпусов космических телескопов.

Рассматриваемый в настоящей статье метод проектирования адаптивных к действию градиентов температур корпусов телескопов апробирован в конструкциях КА ДЗЗ, разрабатываемых ГНПРКЦ «ЦСКБ-Прогресс».

В перспективном космическом аппарате предполагается изготовление силового корпуса фотоприемного устройства (ФПУ ИК) и поворотного корпуса радиатора - излучателя в виде рамы из биметаллических пластин, что позволит снизить массу конструкции и для ФПУ ИК улучшить целевой параметр (разрешение).

На рис. 1, 2 изображён общий вид фермы космического телескопа с высокой геометрической стабильностью по длине B и диаметру D при действии неравномерного поля температур.

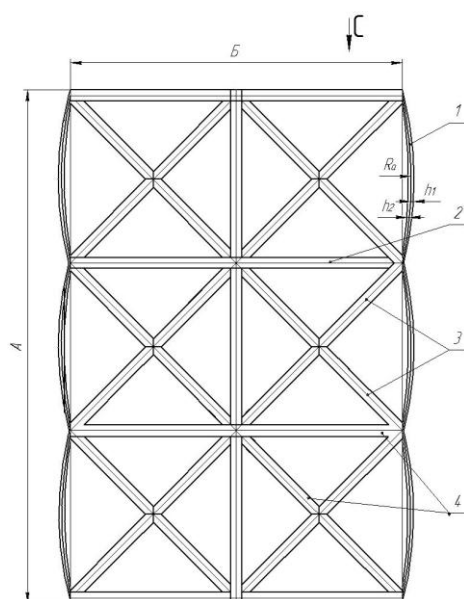


Рисунок 1
Корпус космического телескопа

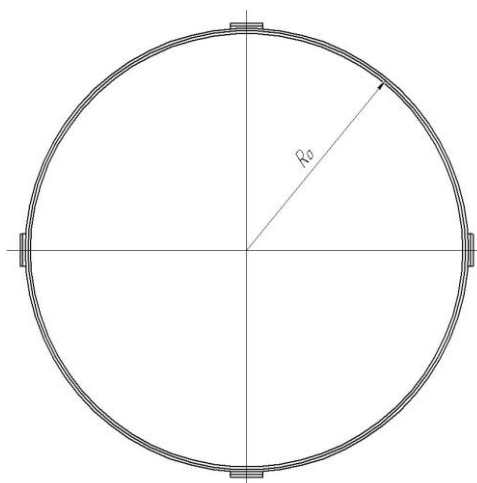


Рисунок 2
Корпус космического телескопа

Силовой корпус состоит из продольных, поперечных и диагональных криволинейных биметаллических пластин 1, 2, 3, соединенных между собой в узлах пересечения 4.

На рис. 3 изображен общий вид размеростабильной биметаллической пластины силового корпуса КТ.

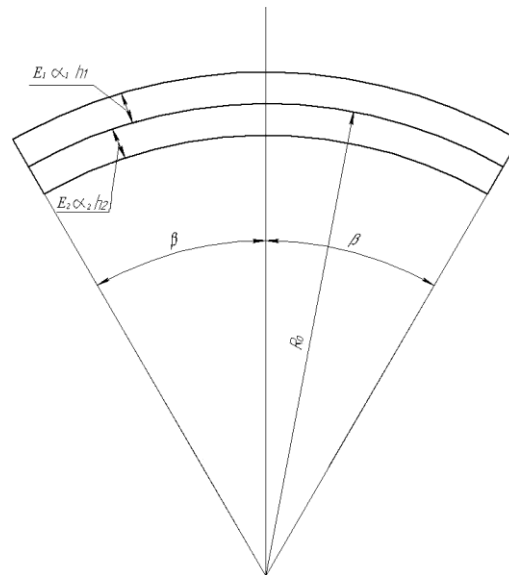


Рисунок 3

Определено соотношение геометрических размеров нормальных биметаллических пластин и физико-механических характеристик применяемых материалов обеспечивающее равенство нулю перемещение краев пластин:

$$\frac{\alpha_1 \cdot h_1 + \alpha_2 \cdot h_2}{\alpha_1 - \alpha_2} = K \cdot R_0 (1 - \beta \operatorname{ctg} \beta);$$

$$E_1 \cdot h_1^2 = E_2 \cdot h_2^2.$$

где K – коэффициент учитывающий упругость пластин корпуса в местах их соединения в узлах.

Для шарнирного соединения пластин можно принять $K = \frac{3}{2}$.

Учитывая, что корпус состоит из множества размеростабильных от действия температуры биметаллических пластин, то и в целом он будет размеростабильным по длине и по ширине.

Определенный интерес представляет неметаллический корпус космического телескопа, в котором активный слой пластины толщиной h_1 с коэффициентом линейного расширения α_1 выполнен из стеклопластика, а инертный слой толщиной h_2 с меньшим коэффициентом линейного расширения α_2 из углепластика.

Предложенный метод проектирования позволяет создать размеростабильный адаптивный к действию температур силовой корпус, обеспечивающий минимальную дефокусировку телескопа при действии температур, которая определяется точностью измерения деформаций с помощью лазерного трекера APJ-Radian и фотограмметрической системы V-STARs – 7 и 10 микрон соответственно.

Применение в корпусе космического телескопа криволинейных биметаллических пластин позволяет уменьшить массу корпуса и повысить его термическую стабильность.

Область применения предлагаемой конструкции не исчерпывается космической техникой. Простота, надежность, технологичность и низкая стоимость позволяют предположить, что данная конструкция может найти широкое применение во всех случаях, когда нужно создать конструкцию с минимальным изменением ее размеров от действия температур.

Литература

1. Ахметов Р.Н. Проектирование, адаптивный к действию градиентов температур размеростабильной силовой фермы космического телескопа [Текст] / Ахметов Р.Н., Стратилатов Н.Р., Шайда А.Н., Максимов С.В. / Научно-технический сборник статей – 2012. – Выпуск 1. Космическая техника и вооружение. Днепропетровск: ГП «КБ «Южное».

2. Фомин Г.Е. Проектирование адаптивных к действию градиентов температур размеростабильных силовых конструкций летательных аппаратов [Текст]/ Фомин Г.Е., Шайда А.Н., Байкин В.Д./ Полет.- 2000.- №06.- С. 42-45.

3. Биткин В.Е. Особенности проектирования стержневых размеростабильных крупногабаритных космических конструкций [Текст]/ Биткин В.Е., Сальников И.В., Шайда А.Н./ Сборник научно-технических статей по ракетно-космической тематике.- 1991.- С. 43-49.

4. Фомин Г.Е. Проектирование размеростабильных стержневых конструкций рефлекторов антенн, адаптивных к действию градиентов температур [Текст]/ Фомин Г.Е., Шайда А.Н./ Сборник научно-технических статей по ракетно-космической тематике.- 1991.- С. 61-64.

Размерная стабильность зеркал из Астроситалла®

Семенов А.П., Абдулкадыров М.А., Игнатов А.Н., Патрикеев А.П.
 ОАО «Лыткаринский завод оптического стекла», г. Лыткарино
lastro@lzos.ru

Требования к материалу заготовок включают в себя: коэффициент термического линейного расширения (КТЛР, СТЕ), однородность заготовки по КТЛР, точность измерения КТЛР, пузыри и включения, свили, двулучепреломление. Оптический Астроситалл® в основном выпускается в заготовках, имеющих форму дисков, квадратных или прямоугольных пластин. При необходимости могут быть произведены заготовки нестандартных форм. Современное оборудование и инструмент позволяют создавать все основные геометрические формы заготовки, форму эллипса, многогранника и др. могут выпускаться заготовки с заложенными сферическими и асферическими поверхностями с двух сторон заготовки.

ОАО ЛЗОС обладает полным циклом изготовления оптических деталей, от стадии изготовления заготовок до стадии готовой детали.

Влияние длительных воздействий внешних условий на астрономические зеркала из Астроситалла® неоднократно проверялись после их эксплуатации в течение 20-30 лет, когда они возвращались на переполіровку или замену отражающего покрытия. Контроль данных зеркал показал, что форма поверхности зеркал стабильна во времени и не изменяется в соответствии с требованиями спецификации.

Тем не менее, были проведены исследования на влияние естественных условий внешней среды в процессе ускоренных испытаний, имитирующих воспроизведение климатических циклов эквивалентных определенному сроку эксплуатации – 50 лет. Состав одного годового климатического цикла эксплуатации по воздействующим факторам и длительность их воздействия приведен в таблице 1.

Таблица 1. Процедура испытаний образцов

Условия эксплуатации зеркала телескопа	Вид и характеристика воздействующего фактора	Продолжительность воздействия (сутки)
1. Макроклиматический район с сухим тропическим климатом	Повышенная температура плюс $70^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$	13 суток
2. Закрытое помещение без искусственно регулируемых климатических условий	Относительная влажность $95\% \pm 3\%$ при $t=40^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$	1 сутки
3. Неотапливаемое хранилище	Пониженная температура минус $60^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$	1 сутки

Продолжительность одного годового климатического цикла – 15 суток. Образец подложки зеркала подвергается воздействию 50-ти климатических циклов продолжительностью 15 суток каждый. Суммарное проведение испытаний: $T=(13+1+1)*50=750$ суток.

Для проведения испытаний использовались заготовки диаметром 500 и 450 мм и толщиной соответственно 70 и 55 мм. Для них определялась форма отраженного волнового фронта и механические параметры деталей. Кроме того, испытаниям подвергались 20 образцов для измерения КТЛР (СТЕ) и образцы с отражающим покрытием.

По результатам данных испытаний можно сделать главный вывод:

- форма оптической поверхности не изменяется в пределах погрешности измерений $СКО < 6$ нм,

- КТЛР также меняется в допустимых пределах. Погрешность измерений $5 \times 10^{-9} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$.

Для измерения изменений КТЛР в процессе испытаний использовалась заготовка толщиной 250 мм. Образцы выбирались из верхнего и нижнего слоя по 10 штук. По результатам испытаний длительностью 40 циклов получены результаты, представленные на рис. 1, график среднего значения КТЛР по образцам верхнего и нижнего слоя в процессе испытаний за 40 циклов, соответствующих 40 годам и виден градиент КТЛР в пределах 5×10^{-9} на толщине заготовки в 250 мм.

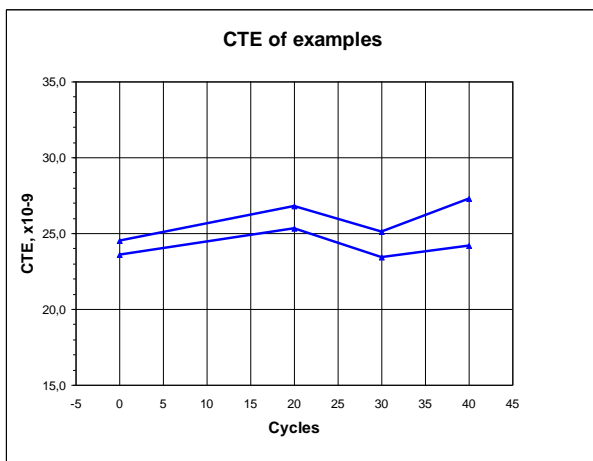


Рис. 21: среднее значение КТЛР по образцам верхнего и нижнего слоев. Показывающее наличие градиента

Таким образом, ОАО "ЛЗОС" имеет производственные мощности, технологию и квалифицированный персонал для изготовления заготовок требуемых габаритов для различных телескопов наземного и космического базирования.

В течение последнего десятилетия было изготовлено много зеркал различных габаритов. КТР в заготовках концентрируется в районе $0.1 \div 0.2 \times 10^{-7}$. Вообще же существуют критерии отбора заготовок по КТЛР и возможен процесс изготовления заготовки с заданной величиной КТЛР.

Результаты проведенных испытаний показали, что материал Астроситалл[®] СО-115М при деформациях с натяжениями в диапазоне от -10 МПа до $+10$ МПа и при воздействии температуры в диапазоне от -40 °С до $+105$ °С, остается упругим в пределах 10 нм $СКО_{\text{поверхности}}$.

Размерная стабильность конструкций оптических модулей, изготовленных с использованием комплексной технологии глубокого оптического контакта.

Сеник Б.Н., Тарасов А.П.

ОАО «Красногорский завод им. С.А. Зверева», г. Красногорск Моск. обл.
bogdan_senik@mail.ru

В современном оптико-электронном приборостроении предельные выходные оптические и тактико-технические характеристики достигаются за счёт расчётов совершенных оптических трактов с высокими точностными параметрами, как отдельных элементов, так и оптических модулей, жёсткой размерной стабильностью применяемых оптических материалов и покрытий в условиях реальной эксплуатации. В частности, в основе разработки и создания оптико-электронных комплексов с высоким пространственным разрешением, многоканальных оптических приборов лежат комплексные промышленные технологии изготовления прецизионных плоскостных и призматических модулей.

Для технологического обеспечения производства вышеуказанных оптико-электронных комплексов с предельными тактико-техническими параметрами необходимо создание технологии изготовления прецизионных призматических сборок с точностью позиционирования в пределах $\pm 1''$ и кроме того модульных конструкций, позволяющих реализовать предъявленные к ним требования, которые касаются:

- обеспечения заданного положения деталей с высокой точностью;
- надёжности крепления;
- минимизации деформаций в оптических деталях при климатических и механических воздействиях;
- стабильности положения и оптических характеристик в заданных пределах при эксплуатации;
- улучшения массогабаритных характеристик.

Соединение оптических элементов с применением оптических марок клея является надёжным, технологичным, экономичным. Но, наряду с явными преимуществами клеевого соединения, толщина клеевого слоя является относительно большой (от 50 до 200 мкм) и неоднородной. В этих оптически толстых слоях имеет место рассеяние и поглощение излучения. Эти соединения не выдерживают мощное оптическое излучение, не являются термически и химически устойчивыми. Этими причинами и объясняется большая актуальность в проведении комплекса теоретических и экспериментальных работ в области технологии прецизионного соединения оптических компонентов без использования различных марок клея.

Одним из эффективных технологических методов получения высоких точностных и эксплуатационных параметров призматических сборок, необходимых для обеспечения предельно достижимых оптических параметров оптико-электронных систем, является технология глубокого оптического контакта (ГОК).

Метод ГОК - бесклеевой способ монолитного соединения полированных оптических элементов с сохранением геометрии и качества соединяемых

поверхностей и точности в пределах $\pm 1''$ позиционирования оптических элементов, входящих в состав сборки, друг относительно друга. В качестве связующего слоя используется пленка двуокиси кремния (SiO_2) толщиной 135-150 нм, которая наносится химическим методом пиролиза или вакуумным методом ее нанесения на одну из соединяемых поверхностей. Далее отдельные оптические элементы соединяются оптическим контактом и подвергаются термической обработке в определённых температурных режимах.

Технология ГОКа в современных предприятиях, производящих прецизионные оптические элементы используется для соединения оптических элементов из одностипных оптических сред: силикатных стекол, ситалл, искусственного кварца, германия, других видов кристаллов. Важнейшим преимуществом соединения оптических элементов с использованием данной технологии является отсутствие каких-либо клеевых соединений, что в свою очередь позволяет использовать оптические модули даже в режимах жёсткого лазерного излучения, а так же для оптико-электронных комплексов, требующих высочайших точностных параметров в условиях экстремальных эксплуатационных нагрузок: резких перепадов температур в диапазонах $-65 \div +80^\circ\text{C}$, повышенных вибрационных и ударных нагрузок.

Учитывая важность вышеуказанной технологии для создания высокоточной оптики, были проведены комплексные исследования в части ее совершенствования с определением или уточнением требований

- к оптическим заготовкам, из которых изготавливаются оптические элементы;
- по шероховатости и плоскостности оптических поверхностей под ГОК,
- по методам и составу химических растворителей для очистки поверхностей под ГОК.

Были также реализованы следующие мероприятия:

- создана специальная технология очистки кремнийсодержащего соединения – тетрахлорида кремния SiCl_4 – с целью получения его максимальной чистоты;
- проведены экспериментальные исследования структурного состояния плёнки SiO_2 в зависимости от технологии нанесения и определена оптимальная степень пористости;
- с целью повышения стабильности технологии нанесения плёнки SiO_2 определены оптимальные внешние воздействующие температурные факторы - температура и влажность окружающей среды в помещении, где проводились эксперименты;
- определены оптимальные температурные режимы и давление для соединения оптическим контактом двух оптических элементов.

В докладе подробно излагаются результаты экспериментальных работ по изготовлению оптических модулей из искусственного кварца, проводимых на предприятии ОАО «Красногорский завод им. С.А. Зверева».

Литература

1. Б.Н. Сенник, А.Б. Бельский, В.В. Потелов. Современные тенденции в оптических технологиях, применяемых для улучшения выходных

- характеристик оптических и оптико-электронных систем. // Оптический журнал Т. 76. №8 с. 5-13.
2. Потелов В.В. Исследование эксплуатационных свойств конструкционных клеев для прецизионной сборки оптических призмных модулей. // Стекло и керамика. 2009. №4. с. 28-34.

Обобщенные модели размерной стабильности и обеспечение размерной стабильности конструкций космической информационной оптики

Архипов С.А.

ОАО «Красногорский завод им. С.А. Зверева»

arhipof@zenit-kmz.ru

В состав съемочной оптико-электронной аппаратуры (ОЭА) дистанционного зондирования Земли функционально входят:

- система оптико-механическая,
- электронные блоки системы приема и преобразования информации с оптико-электронными преобразователями изображения,
- электронные блоки системы управления,
- служебные подсистемы, обеспечивающие нормальное функционирование ОЭА.

Система оптико-механическая содержит несущую конструкцию ОЭА, на которой закреплены объективы, отдельные оптические элементы и электронные блоки, конструктивные составные части различных служебных подсистем. Конструкциями космической информационной оптики (ККИО) будем называть систему оптико-механическую и ее составные части, подчеркивая тем самым: 1) двойственное функциональное назначение этих конструкций – преобразование светового волнового фронта для получения съемочной информации и обеспечение целостности и прочности ОЭА, 2) условия эксплуатации в составе космического аппарата (КА), 3) оптико-механическую «сущность» ККИО в отличие от электронных блоков.

Особенности жизненного цикла ОЭА и, соответственно, ККИО:

- жизненный цикл содержит три основных стадии: стадия изготовления, пуск в составе КА, орбитальная эксплуатация в составе КА, которые существенно отличаются друг от друга характером внешних воздействий;
- интенсивные технологические термомеханические воздействия на стадии изготовления, интенсивные механические перегрузки, удары и вибрации на стадии пуска, в отличие от орбитальной эксплуатации, на протяжении которой интенсивность такого рода воздействий существенно меньше;
- воздействия факторов космического пространства на ККИО на протяжении всей стадии орбитальной эксплуатации;
- отсутствие возможностей ремонта ККИО.

Современные требования, предъявляемые к перспективной ОЭА и, соответственно, к ККИО:

- повышенные информационные тактико-технические характеристики ОЭА, определяющие повышенные требования к точности размеров, форм деталей, поверхностей деталей и соединений ККИО;
- увеличение срока службы ОЭА до 10 и более лет;

- противоречивые требования: по увеличению габаритов и снижению массы ККИО, которое разрешается за счет применения новых композиционных материалов;

- ужесточение орбитальных условий эксплуатации (расширение температурного диапазона для применения в составе малых КА, переход на геосинхронные орбиты),

актуализируют «новые» научно-технические проблемы, связанные с проявлением механизмов старения и деградации ККИО на протяжении их жизненного цикла, необходимостью более глубокого анализа влияния внешних условий эксплуатации. Проектирование уникальных ККИО с достаточным запасом прочности и надежности становится все более проблематичным и требует новых подходов.

В докладе на основе известных теорий параметрической надежности предлагается обобщенное модельное описание размерной стабильности ККИО, рассматриваются способы ее обеспечения.

В понятие «размерная стабильность ККИО» заложено три аспекта, оно отражает: надежность ККИО, сохранность выходных характеристик и сохранность конструкции ККИО. При этом оно не сводится к каждой из этих точек зрения и имеет свое оригинальное содержание.

На рисунке 1 схематически изображены составляющие обобщенной модели размерной стабильности ККИО (далее по тексту – ОМ) и их взаимодействие.

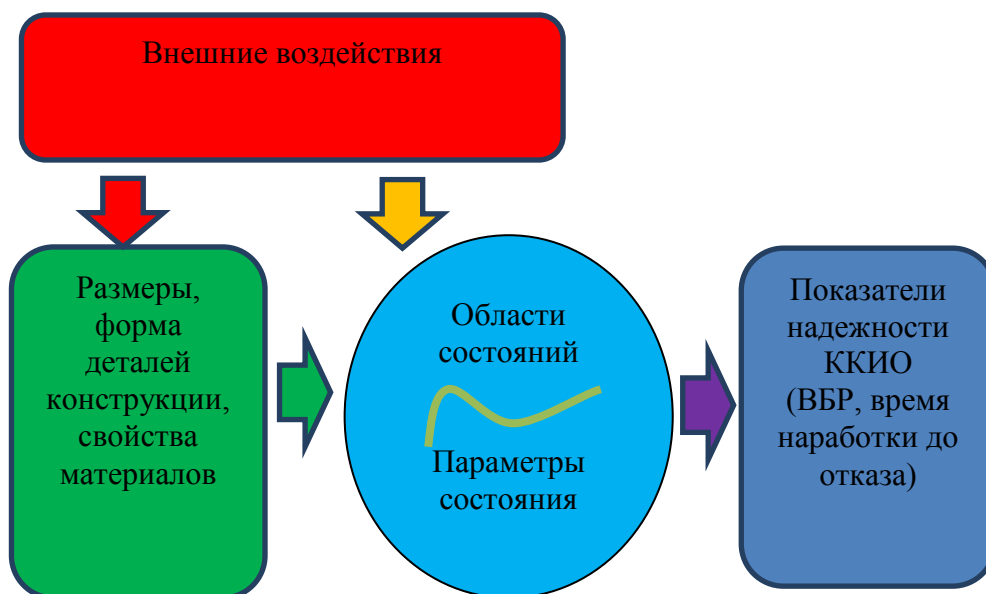


Рисунок 1

Внешние воздействия приведены в таблице 1, их набор и интенсивность зависят от стадии жизненного цикла. Здесь обозначены: И – стадия изготовления, Пуск – стадия пуска в составе КА, ОЭ – стадия орбитальной эксплуатации в составе КА.

Таблица 1.

Внешнее воздействие	Стадии		
	И	Пуск	ОЭ
Термомеханические технологические воздействия на материалы и детали	+		
Механические воздействия на детали при сборке узлов	+		
Воздействия на детали при механической обработке	+		
Воздействия на детали при сварке	+		
Воздействия на детали при склеивании, отверждении клеев, герметиков	+		
Воздействия на детали при нанесении покрытий	+		
Сила тяжести	+		+
Изменение температуры окружающей среды/ элементов конструкций КА	+		+
Изменение давления атмосферы	+		
Воздействие состава атмосферы, влажности	+		
Воздействия при транспортировании	+		
Воздействия при хранении	+		
Электромагнитные воздействия			+
Электростатические разряды			+
Перегрузки		+	
Удары		+	
Вибрационные воздействия		+	+
Акустические воздействия		+	
Атомарный кислород		+	+
Тепловые лучистые потоки			+
Вакуум			+
Ультрафиолет			+
Ионизирующие излучения космического пространства			+
Микрометеориты, тяжелые заряженные частицы			+
Пыль из атмосферы, окружающей космический аппарат			+

Центральные понятия ОМ – параметры состояния и области состояния ККИО. С учетом специфики жизненного цикла ККИО (наличие стадий пуска и орбитальной эксплуатации) ОЭА/ККИО должны быть двух функциональны: на стадии пуска основное функциональное назначение ККИО – прочность, на стадии орбитальной эксплуатации – получение съемочной информации.

Модели прочности и параметрической надежности достаточно хорошо разработаны в строительной механике и надежности машин [1,2] и могут быть непосредственно использованы для описания модели прочности ККИО.

Параметром состояния ККИО в данном случае могут служить интенсивности локальных напряжений в ККИО $I(\sigma_{i,j})$, распределение которых (с учетом заданных коэффициентов запаса k_3) с заданной вероятностью $p_{зад}$ не должно превосходить допустимого предельного уровня интенсивности $I_{дон}$, т.е.:

$$P \{k_3 \cdot I(\sigma_{i,j}) < I_{дон}\} = p_{зад} \quad (1)$$

Все возможные $I(\sigma_{i,j}) < I_{дон}$ определяют область состояний ККИО, в пределах которой ККИО прочна, а за пределами которой разрушается.

Параметры состояния ККИО на стадии орбитальной эксплуатации должны отражать функциональное назначение ОЭА характеризовать размеры, внутренние свойства ККИО. С учетом этого предлагается сопоставить общепринятым информационным параметрам ККИО известные оптотехнические параметры (см. таблицу 2).

Таблица 2.

Основные информационные параметры ОЭА	Параметры состояния ККИО	Обозначение
Пространственно-частотные	Расфокусировка	Δs
Фотограмметрические	Среднеквадратическая погрешность элементов внутреннего ориентирования	δ
Радиометрические	Спектральный коэффициент пропускания	τ_λ

Все возможные значения параметров состояния $\Pi = (\Delta s, \delta, \tau_\lambda)$ образуют области состояния, эти области трехмерны. С целью упрощения ОМ можно сворачивать параметры состояния, используя различные приемы свертки – аддитивную, мультипликативную и др., тем самым упрощать ОМ. Предлагается различать:

1) **область нормы** – множество значений параметров состояния, при которых информационные параметры ОЭА соответствуют требованиям ТЗ, т.е область полной работоспособности ККИО;

2) **область патологии ККИО**, в которой значения хотя бы одного параметра таково, что связанный с ним информационный параметр не соответствует требованиям ТЗ, но при этом ОЭА может продолжать съемку и съемочная информация имеет некоторую ценность для потребителя, т.е. область частичной работоспособности или область параметрических отказов ККИО;

3) **область полного отказа (гибели) ККИО**, в которой значения параметров состояния таковы, что получаемая съемочная информация не представляет никакого интереса для потребителя, либо вовсе отсутствует.

Входные параметры ОМ – параметры, которые являются обобщенными характеристиками конструкции, учитывают свойства материалов, размеры деталей, характеристики соединений. Входные параметры ОМ могут быть построены и рассчитаны с использованием известных методов физико-математического моделирования (например, метода конечных элементов для анализа напряжено-деформированного состояния несущей конструкции, или, например, светотехнических расчетов объектива для анализа спектрального пропускания). Либо могут быть получены по результатам экспериментальных исследований конкретных физических эффектов (например, экспериментального исследования деградации линейных размеров высокоточных деталей из композиционного материала в вакууме).

Математически ОМ – уравнения связи параметров состояния $\Pi = (\Delta s, \delta, \tau_\lambda)$ с входными параметрами $Z = (z_1, z_2, \dots, z_n)$ и внешними воздействиями $W = (w_1, w_2, \dots, w_m)$:

$$\Pi = \Pi [Z(W(t)), t] \quad (2)$$

где t – время.

Возможны различные механизмы влияния внешнего воздействия на входные параметры (свойства, размеры) ККИО и, следовательно, на параметры состояния в зависимости от характера внешнего воздействия и реакции параметров состояния во времени, которые иллюстрирует рисунок 2.

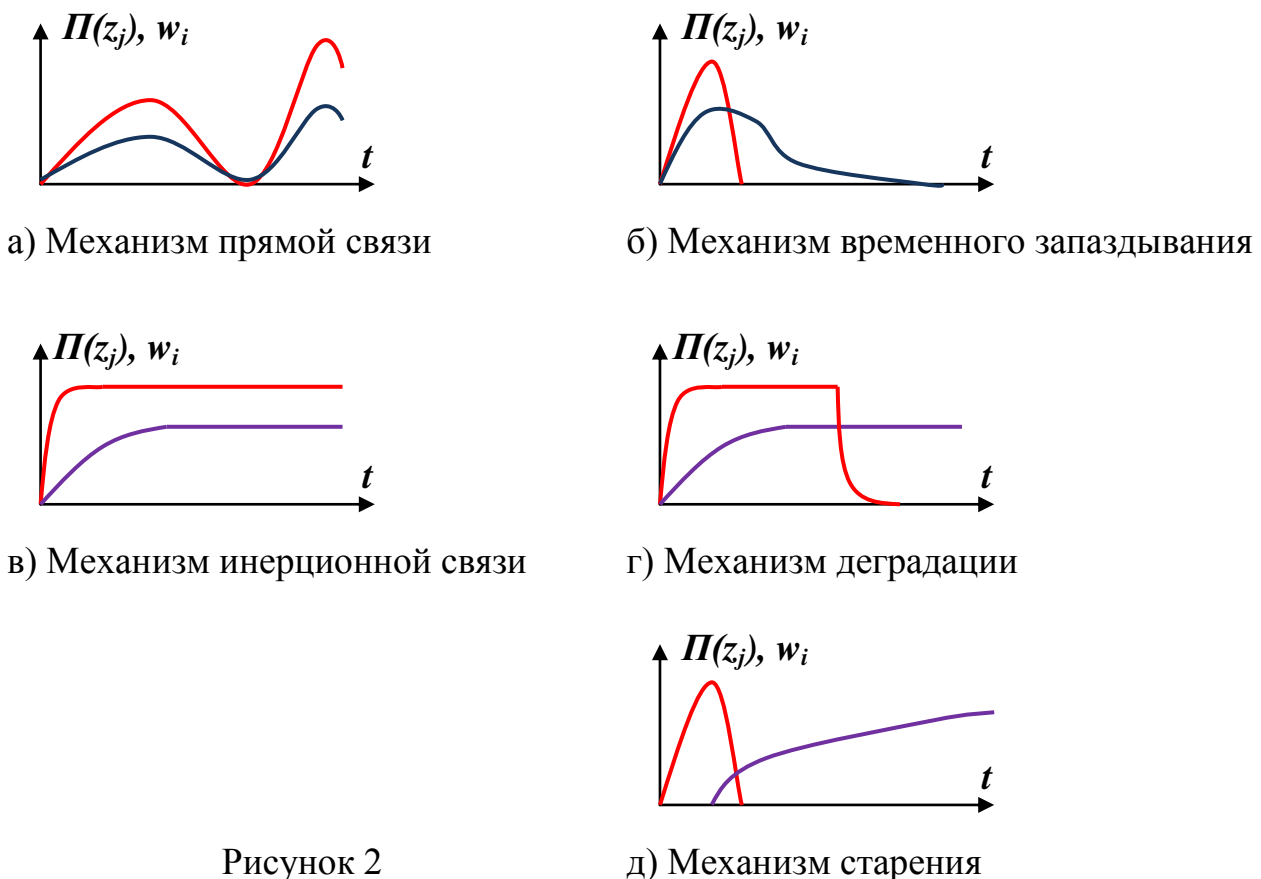


Рисунок 2

Отметим вероятностную природу всех перечисленных механизмов, которая обусловлена разбросом интенсивностей внешних воздействий, физико-механических свойств материалов, размеров деталей. Для адекватного количественного описания механизмов необходимо знание законов распределения параметров и их куммулянтов.

Выходные параметры ОМ (показатели надежности) – время наработки ККИО до отказа и вероятность безотказной работы (ВБР) ККИО.

На рисунке 3 схематично для параметра Π представлена ОМ с точки зрения параметрической надежности.

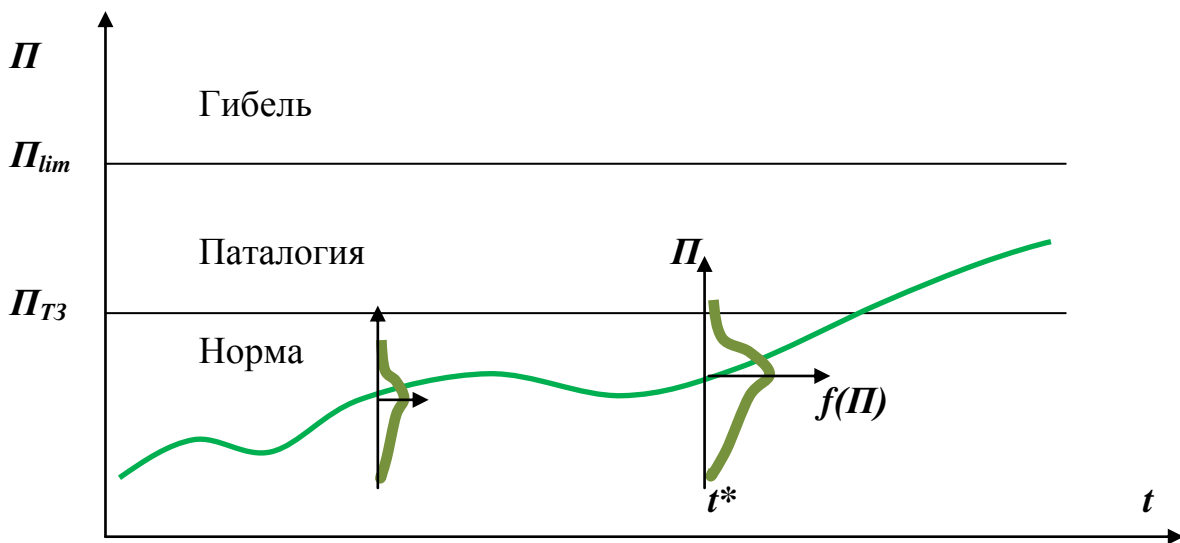


Рисунок 3. Зеленым цветом обозначена траектория изменения во времени параметра состояния Π и его распределения; $f(\Pi)$ – плотность вероятности. $\Pi_{ТЗ}$ – значение, соответствующее требованиям ТЗ, ограничивающее область нормы. Π_{lim} – значение, ограничивающее область патологии (область частичной работоспособности ККИО или область параметрического отказа по параметру Π).

$$ВБР(t^*) = 1 - \int_0^{t^*} \left(\int_{-\infty}^{\Pi_{ТЗ}} f(\Pi(t)) d\Pi \right) dt \quad (3)$$

Предложенная обобщенная модель (ОМ) размерной стабильности ККИО:

1) позволяет с помощью ограниченного набора средств (механизмов, моделей воздействий, параметров состояния, входных параметров ККИО) обеспечить полное описание и учет разнообразных физических эффектов, протекающие в ККИО на различных стадиях ее жизненного цикла;

2) задает универсальную меру вклада каждого физического или конструкторского фактора в общий бюджет надежности;

3) развивает теорию проектирования/ конструирования оптических и оптико-электронных приборов, позволяет от принципов проектирования [3] перейти к моделированию возможных вариантов ККИО;

4) стимулирует Разработчика ККИО на исследования физических процессов, протекающих в ККИО;

5) стимулирует Заказчика на финансирование НИОКР по созданию новых материалов, технологических процессов для перспективных ККИО;

6) обеспечивает повышение качества и надежности принимаемых проектных решений.

Предложенная ОМ позволяет провести достаточно полную классификацию способов обеспечения размерной стабильности ККИО, которые группируются по следующим направлениям:

- недопущение или сведение к минимуму возможных случаев запуска механизмов старения на стадии изготовления и пуска;
- уменьшение коэффициентов передачи в механизмах, с целью не допущения приближения текущего состояния ККИО к границам нормы;
- демпфирующие, защитные способы по внешним воздействиям;
- компенсационные способы по входным параметрам;
- компенсационные способы по выходным параметрам;
- способы построения структурных схем (резервирования) для повышения параметров надежности.

Указанные способы обеспечения размерной стабильности ККИО могут быть использованы на уровне материала, детали, соединения, узла, конструкции, прибора, а также могут рассматриваться как технологические, конструкторские или эксплуатационные решения.

1. Болотин В.В. Прогнозирование ресурса машин и конструкций. М. Машиностроение -1984.
2. Проников А.С. Параметрическая надежность машин М. Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана – 2002.
3. Латыев С.М. Конструирование точных (оптических) приборов. С-Пб. Изд-во Политехника – 2007.

Секция

**Проблемы размерной стабильности
материалов, конструкций и приборов**

Классификация материалов оптических и оптико-электронных приборов

Афанасов Д.С., Попов Н.Н.

«Московский государственный университет геодезии и картографии»,

г. Москва

mkhoroshev@miigaik.ru

В соответствии с современными представителями все материалы оптотехники по назначению можно подразделить на: конструкционные [1], конструкционно-функциональные [2], функциональные [3] и перспективные конструкционные [4], функциональные [5]. Если для функциональных оптических материалов деталей оптотехники самопроизвольное выделение наноразмерных, а затем и микроразмерных фаз, является в большей степени нежелательным явлением, то для конструкционных металлических материалов оптотехники эти фазы чаще всего являются упрочняющими и выделяются в местах дефектов атомно-кристаллического строения – скопления дислокаций в объемах зерен, на границах зерен и на стыках трех зерен. На этом явлении торможения дислокаций основаны многочисленные способы термопластической обработки и создания высокопрочных металлических материалов деталей геодезических приборов.

Физико-химические, механические и технологические свойства конструкционных, конструкционно-функциональных, функциональных и перспективных материалов деталей и узлов оптотехники определяются видом и количеством нано- и микроразмерных фаз, самопроизвольное образование которых зависит от типа диаграмм состояния. Среди функциональных оптических, конструкционных металлических и конструкционно-функциональных материалов оптотехники наиболее часто распространены фазовые равновесные диаграммы состояния следующих видов: взаимная растворимость компонентов с образованием монофазного структурного состояния в виде твердых растворов; двух и более фазные диаграммы эвтектического и перитектического типов; диаграмм состояния с ограниченной и переменной растворимостью компонентов; диаграмм состояния с образованием химических соединений определенного стехиометрического соотношения компонентов; диаграмм со стабильным и метастабильным расслаиванием структурных фазовых составляющих, называемые ликвирующими системами [6].

В последнее время в материаловедении успешно развивается направление, связанное с управлением структурообразования кристаллических и аморфных открытых систем, находящихся вдали от термодинамического равновесия, и связанное с самоорганизацией диссипативных структур, количественной мерой которых является фрактальная размерность.

Развитие инструментов атомного разрешения позволяет утверждать, что структурообразование открытых систем в материаловедении и управление этим процессом иерархично и начинается на атомном и наноуровнях, причем высшей степенью самоорганизации неорганических материалов является образование атомно-кристаллической структуры ближнего порядка.

Выводы:

- 1 Размерная стабильность конструкционных оптических и оптико-электронных приборов предусматривает отсутствие образования эвтектик, перитектик, ликвации и расслоения.
- 2 Размерная стабильность деталей из естественно-гетерофазных конструкционных материалов обеспечивается равномерным выделением по объему углеродных и других 0D высокопрочных наночастиц в направлении действия максимальных рабочих напряжений с помощью динамического старения на системах с переменной растворимостью легирующего элемента в основе.
- 3 Размерная стабильность деталей оптотехники из естественно-гетерофазных композиционных материалов может быть обеспечена отработкой технологии равномерного расщепления углеродных 1D высокопрочных материалов типа одно-, многостенных нанотрубок, нановолокон, наножгутов, наноремней.

Литература:

1. Попов Н.Н., Филонов А.С., Донцов Г.А. и др. Конструкционные материалы оптических модулей аппаратов дистанционного зондирования Земли.// Изв. вузов. «Геодезия и аэрофотосъемка», №5, 2012. с.99-103.

2. Попов Н.Н., Филонов А.С., Донцов Г.А. и др. Конструкционно-функциональные материалы оптических модулей аппаратов дистанционного зондирования Земли.//Изв. вузов. «Геодезия и аэрофотосъемка», №4, 2012. с.107-114.

3. Попов Н.Н., Филонов А.С., Донцов Г.А. и др. Функциональные материалы оптических модулей космических аппаратов.//Изв. вузов. «Геодезия и аэрофотосъемка», №6, 2012.

4. Попов Н.Н., Филонов А.С., Донцов Г.А. и др. Перспективные углеродные наноматериалы оптических модулей космических аппаратов.//Изв. вузов. «Геодезия и аэрофотосъемка», 2013, №5.

5. Попов Н.Н., Филонов А.С., Донцов Г.А. и др. Функциональные материалы оптических модулей космических аппаратов.//Изв. вузов. «Геодезия и аэрофотосъемка», 2013, №6.

6. Попов Н.Н., Бурлак И.Ю. Материаловедение и технология конструкционных материалов. Уч. пос. – М.: МИИГАиК, 2006, - 176с.

Тепловое расширение материалов, используемых в лазерной гироскопии

Запотьылько Н.Р., Катков А.А., Савельев И.И., Синельников А.О.
ОАО "НИИ "Полюс" им. М.Ф. Стельмаха"

Лазерные гироскопы (ЛГ) на базе кольцевых He-Ne лазеров являются высокотехнологичными приборами, которые несмотря на более чем полувековую историю, продолжают активно использоваться и развиваться для различных применений. Такие приборы используются в системах ориентации космических аппаратов, в гражданской авиации, в геодезических системах, в морской навигации и в других специальных областях.

Для успешной работы лазерного гироскопа необходимо строгое соблюдение стабильности периметра резонатора в широком температурном интервале.

Для стабилизации периметра резонатора кольцевого лазера (КЛ) обычно используются методы пассивной и активной термокомпенсации. К пассивным методам относится использование материалов для изготовления резонаторов с предельно низким температурным коэффициентом линейного расширения (ТКЛР). Однако никакой реальный материал с самым низким ТКЛР не может обеспечить пассивную стабилизацию периметра с необходимой для ЛГ точностью, поэтому во всех ЛГ используется еще и активная система регулировки периметра (СРП) кольцевого резонатора. В качестве исполнительных элементов в ней выступают два симметрично установленных пьезокорректора (ПК). Однако активная СРП имеет ограниченный динамический диапазон и может обрабатывать только небольшие изменения периметра кольцевого резонатора. Если тепловое расширение периметра резонатора превышает динамический диапазон ПК, то СРП производит перестройку ПК к началу диапазона, при этом изменяя периметр на одну длину волны генерации. В момент перехода (т.н. обнуление периметра) происходит нарушение рабочего режима кольцевого лазера вплоть до пропадания лазерной генерации, при этом выходная информация ЛГ становится недостоверной. Именно это и недопустимо на современных подвижных объектах.

Максимальная величина хода зеркала ПК обычно составляет 2 - 3 длины волны лазерной генерации (для He-Ne лазера $\lambda = 0,6328$ мкм). При этом компенсация производится лишь в одном направлении относительно управляющего напряжения ПК, и в пересчете на компенсацию температурного приращения периметра при совместной работе двух корректирующих зеркал составляет 1,8 - 2,7 мкм.

В свою очередь, изменение длины периметра при нагревании или охлаждении прибора зависит от величины температурного коэффициента линейного расширения (ТКЛР) конструкционного материала, из которого изготовлены корпус резонатора и все оптические элементы. Это изменение для отечественного материала, например, ситалла СО-115М, может превышать ход ПК и составлять 3 - 4 мкм при изменении температуры от минус 60°C до 90°C.

Для использования в лазерной гироскопии были рассмотрены различные материалы, обладающие ультранизким ТКЛР, которые возможно использовать в качестве альтернативных ситаллу СО-115М, применяемому в настоящее время.

В результате анализа нами был выбран стеклокерамический материал, выпускаемый японской фирмой "OHARA" - Clearceram, оптимально соответствующий предъявляемым требованиям к допустимым температурным приращениям оптического периметра резонатора. Помимо этого, использование подобного материала облегчает осуществление пассивной термокомпенсации посредством изменения конструкции ПК.

В работе представлены результаты измерения ТКЛР двух оптических материалов, которые проводились как на dilatометре, так и непосредственно при работе прибора.

Для непосредственного измерения ТКЛР материала использовался dilatометр DIL 402C/2/G фирмы NETZSCH (Германия), погрешность ≈ 10 нм.

Для оценки изменения периметра ЛГ были проведены измерения собственных уходов периметра резонатора без присоединенных пьезопроводов. Величина ухода периметра измерялась по зависимости модуляции интенсивности знакопеременного магнитного поля от расстройки частоты генерации относительно центра контура усиления, т.н. периметрового сигнала. Погрешность этого метода измерений составила 3 ... 5 нм.

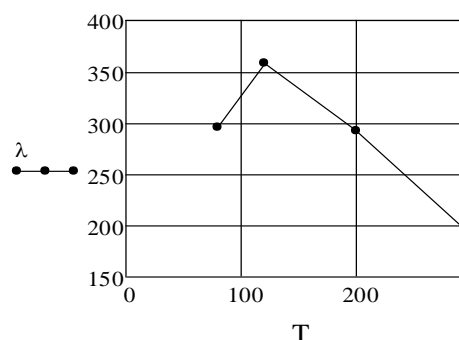
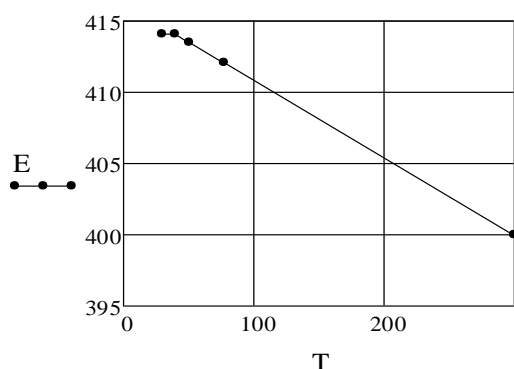
Хорошая корреляция полученных результатов показала возможность и целесообразность качественной оценки ТКЛР конструкционного материала в составе ЛГ.

Свойства реакционно-связанного карбида кремния (сикара)

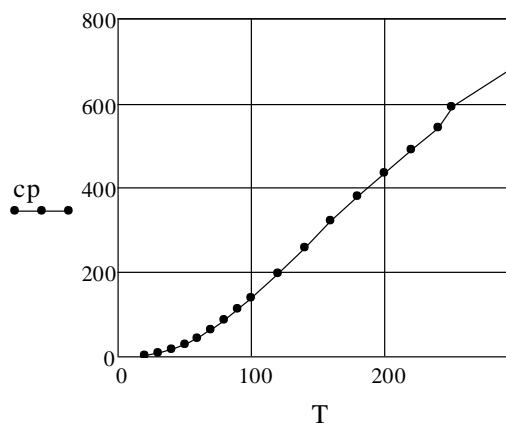
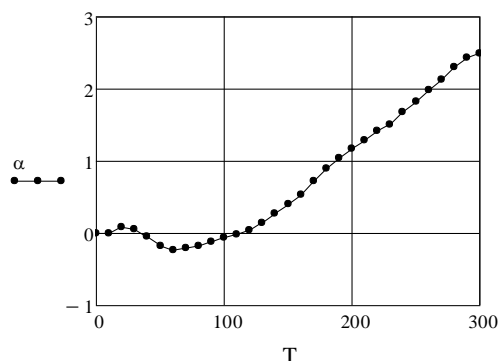
Химич Ю.П., Никитин Д.Б.
 ОАО «ГОИ им. С.И. Вавилова», г. Санкт-Петербург
ykhim@rambler.ru

В ОАО «ГОИ им. С.И. Вавилова» разработан материал на основе карбида кремния и технология изготовления облегченных зеркал из этого материала. Материал относится к классу реакционно-связанных (RB SiC) и является двухфазным композитом карбид кремния - кремний с соотношением фаз (70...80)/(20...30)% по объему. Материал получил условное наименование «сикар».

Было проведено всестороннее исследование физико-механических и теплофизических свойств сикара в широком диапазоне температур, вплоть до криогенных. На рисунках приведены температурные зависимости свойств в интервале (30...300)К.



E (ГПа) – модуль упругости
 λ (Вт/мК) - теплопроводность



α ($10^{-6} 1/K$) – температурный коэффициент линейного расширения
 c_p (Дж /кг К) - теплоемкость

Размерная стабильность крупногабаритных облегченных зеркал из карбида кремния

Химич Ю.П., Никитин Д.Б.
ОАО «ГОИ им. С.И. Вавилова», г. Санкт-Петербург
ykhim@rambler.ru

В работе изложены краткие результаты создания, исследований и испытаний облегченных зеркал из реакционно-связанного карбида кремния.

При номинальной плотности (3 ± 0.05) г/см³ материал состоит из карбида кремния и кремния в соотношении (70...80)/(20...30)% по объему.

Была разработана и изготовлена большая номенклатура зеркал размером от 200 до 930 мм с различной формой оптической поверхности - плоской, сферической и асферической.

Были проведены всесторонние исследования и испытания зеркал, в том числе на воздействие механических факторов, повышенных и пониженных температур, термовакуумные оптические испытания, испытания на воздействие климатических факторов и испытания на долговременную размерную стабильность.

Механические испытания проводились на зеркале $\varnothing 515$ мм при воздействии синусоидальных (до 10 g) и ударных (до 15 g) нагрузок вдоль каждой из 3 взаимно-перпендикулярных осей. Испытания продемонстрировали полную сохранность формы оптической поверхности (СКО ВФ 0.047 λ и 0.043 λ до и после испытаний).

Испытания на воздействие переменных температур имели целью исследовать как сохранность формы после воздействия повышенных и пониженных температур, так и непосредственно в процессе воздействия изменившейся температуры (термовакуумные испытания, ТВИ).

ТВИ проводились на зеркалах с плоской и сферической поверхностью как в ГОИ им. С.И. Вавилова, так и, независимо, в компании «Локхид-Мартин».

В ГОИ им. С.И. Вавилова проводились испытания блоков сферического зеркала диаметром 630 мм и плоского зеркала диаметром 930 мм в оптическом криогенно-вакуумном стенде ОКВС-12.

В исследовательской лаборатории «Локхид-Мартин» проводились ТВИ двух зеркал с плоской и сферической поверхностью. Испытания проводились при охлаждении до 6К (P. Robb, L. Huff, P. Forney, S.V. Lubarsky, Y. P. Khimich, Interferometric measurements of silicon carbide mirrors at liquid helium temperature, SPIE, v.2543, 1995, p. 196-200).

Результаты ТВИ плоского зеркала диаметром 930 мм

Температура, К	Точность ФОП	
	Размах ошибки P-V ВФ, λ	СКО ВФ, λ

300	0.8	0.14
77	0.9	0.17
25	0.8	0.17

Результаты ТВИ сферического зеркала диаметром 130 мм

Температура, К	Точность ФОП	
	Размах ошибки P-V ВФ, λ	СКО ВФ, λ
300	0.996	0.222
6	1	0.224
300 (после охлаждения)	0.946	0.224

Результаты ТВИ плоского зеркала размером 310×210 мм

Температура, К	Точность ФОП	
	Размах ошибки P-V ВФ, λ	СКО ВФ, λ
300	0.79	0.15
6 (первый цикл охлаждения)	0.608	0.132
6 (второй цикл охлаждения)	0.634	0.118

Мы имели возможность сравнить параметры нескольких зеркал, полученные при их изготовлении, с таковыми спустя примерно полтора десятилетия (см. табл.)

Зеркало	Диаметр, мм	Год изготовления	СКО ВФ, $\lambda=0.6328$ мкм	
			Исходное значение	Текущее значение (2010 г.)
Сферическое	510	1995	0.047	0.043
Сферическое	630	1994	0.05	0.052
Асферическое	630	1997	0.07	0.068

Представляется, что полученные результаты свидетельствуют о высокой стойкости зеркал из карбида кремния по отношению к температурным и механическим воздействиям.

Пути снижения чувствительности отражающей поверхности облегчённого крупногабаритного космического астрономического зеркала к объёмной деформации клея DP-190 в клеевом соединении между зеркалом и его оправой

Власенко О.В., Зверев А.В.

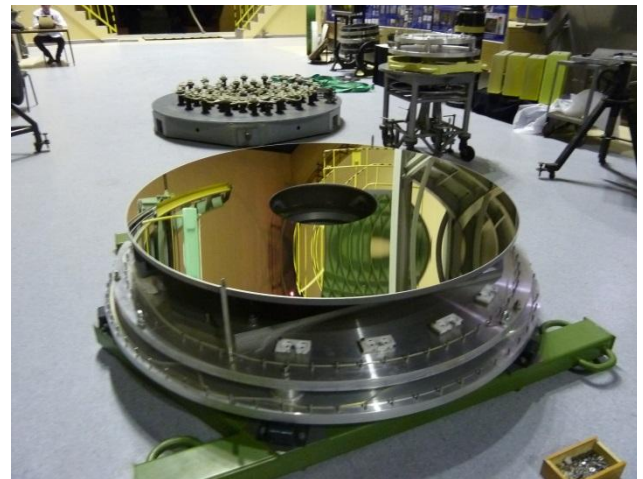
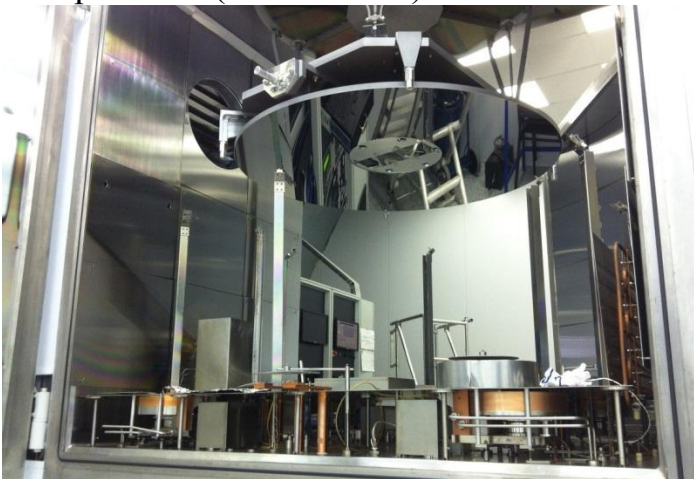
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт астрономии Российской академии наук, г. Москва

vlasenko@inasan.ru

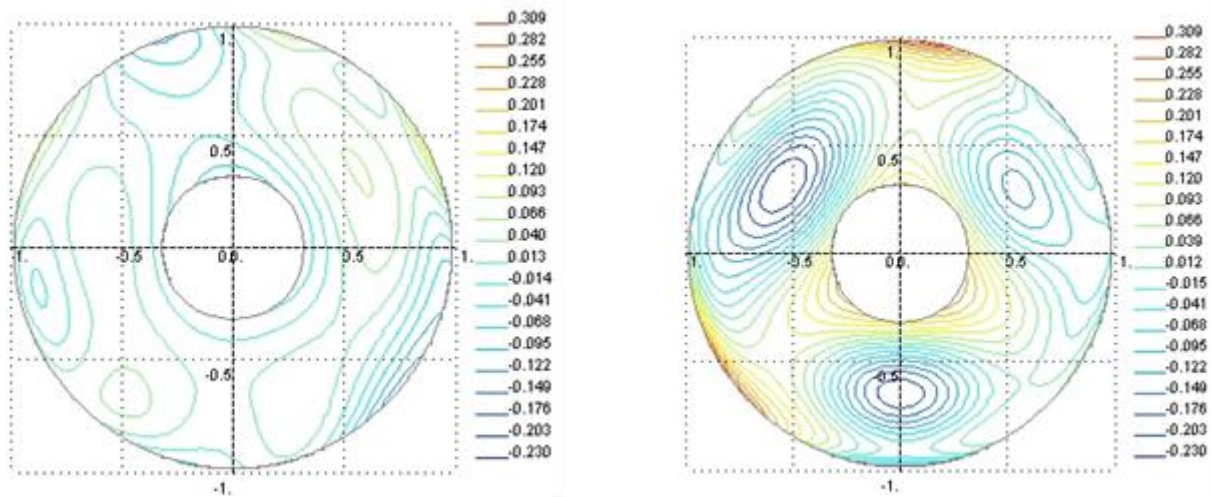
Камышан З.И.

При изготовлении облегчённых крупногабаритных космических астрономических зеркал для соединения ситаллового зеркала с элементами его оправы из инвара в настоящее время используется клей DP-190. Выявленная экспериментально нестабильность (в определённых пределах) физико-механических характеристик клея DP-190 при воздействии окружающей среды при наземной эксплуатации и на орбите вызывают нестабильность качества отражающей поверхности (ОП) зеркала.

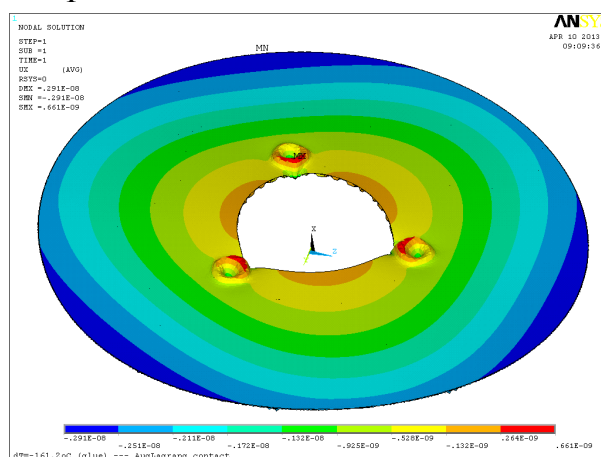
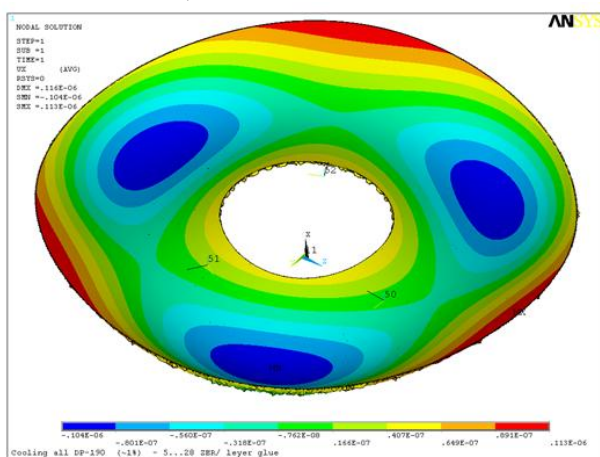
ИНАСАН совместно с ОАО ЛЗОС, ФГУП «НПО им. С.А. Лавочкина» и ФГУП «НИИ НПО «ЛУЧ» ведёт работы по созданию главного зеркала (ГЗ) диаметром 1,7 метра для телескопа Т-170М, входящего в состав комплекса научной аппаратуры «Спектр-УФ». Ниже на фотографиях показано главное зеркало в вакуумной камере после нанесения отражающего покрытия (ФГУП «НПО НИИ «ЛУЧ») и перед проведением контроля формы отражающей поверхности (ОАО ЛЗОС).



При проведении наземной экспериментальной отработки ГЗ было установлено значительное (в три раза) увеличение средней квадратичной деформации отражённого волнового фронта относительно ближайшей сферы сравнения. На рисунках ниже приведены топографии деформаций волновых фронтов, вызванных собственными деформациями ОП зеркала за вычетом опорной сферы перед началом и после двух этапов испытаний.



В результате анализа причин, связанных с особенностями физико-механического поведения материалов сборки ГЗ, способных вызывать нестабильность качества ОП ГЗ, было установлено, что: 1) сплошной клеевой слой, как элемент механического интерфейса между оптическим элементом и закладной втулкой, в виде полого цилиндра с толщиной стенки 0,8 мм может являться причиной образования ошибок ОП при самых разнообразных видах внешнего воздействия на ГЗ; 2) незначительная (в пределах 1%-5%) объемная деформация цилиндрического клеевого слоя может вызвать ошибки ОП ГЗ величиной, равной зарегистрированной после испытаний ГЗ. Численно доказано, что клеевой слой в виде дискретных пятен позволит снизить чувствительность ОП ГЗ к объемным деформациям DP-190 не менее, чем в три раза. На рисунках ниже приведены результаты расчёта деформаций ОП ГЗ для сплошного клеевого слоя толщиной 0,8 мм и клеевого слоя в виде дискретных пятен.



В настоящее время ИНАСАН совместно с ОАО ЛЗОС, ФГУП «НПО им. С.А. Лавочкина» и ФГУП «НИИ НПО «ЛУЧ» проводит доработку макетного образца ГЗ в части внесения конструктивных изменений в клеевое соединение, обеспечивающих уменьшение площади приклейки и толщины клеевого слоя, замену сплошной плёнки клея на плёночные пятна, не связанные друг с другом.

Учёт влияния технологической разгрузки облегчённого крупногабаритного космического астрономического зеркала на форму его отражающей поверхности при проведении интерферометрического контроля

Власенко О.В.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт астрономии Российской академии наук, г. Москва

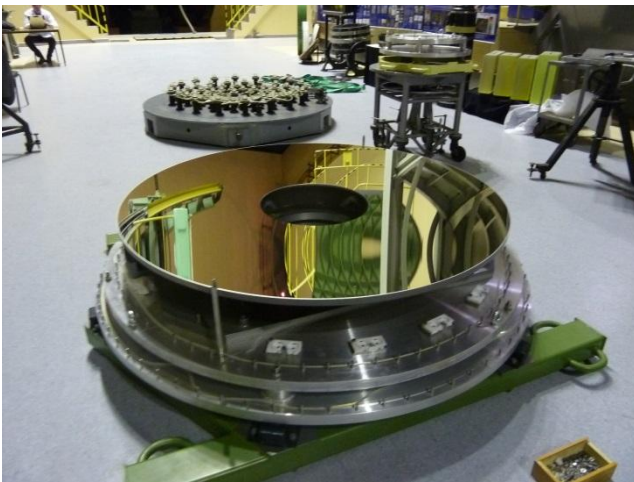
vlasenko@inasan.ru

Котов В.В.

ЗАО «РАСТР», г. Санкт-Петербург

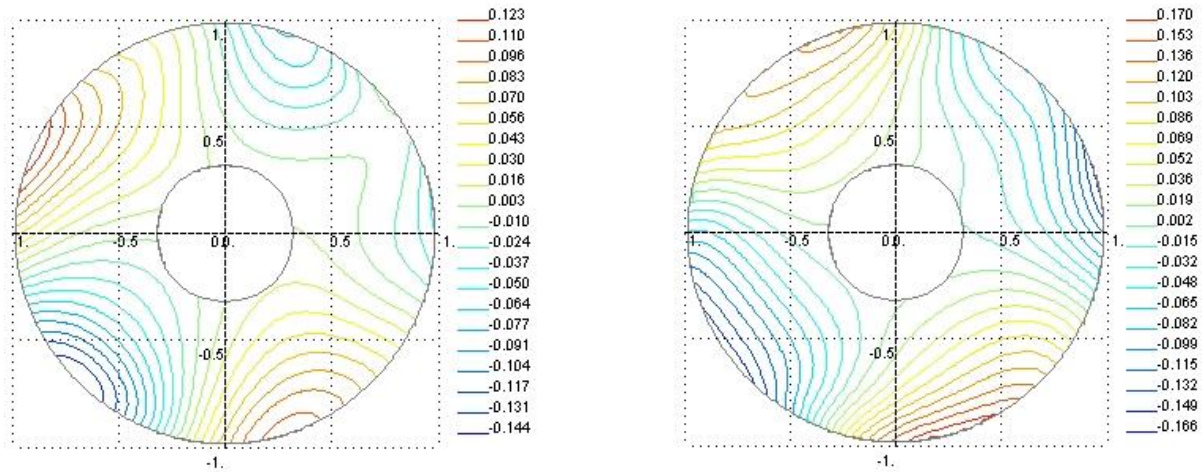
При контроле формы отражающей поверхности облегчённых крупногабаритных космических астрономических зеркал используется технологическая разгрузка зеркал, обеспечивающая нейтрализацию влияния гравитации на деформацию зеркала.

ИНАСАН совместно с ОАО ЛЗОС, ФГУП «НПО им. С.А. Лавочкина» и ФГУП «НИИ НПО «ЛУЧ» ведёт работы по созданию главного зеркала (ГЗ) диаметром 1,7 метра для телескопа Т-170М, входящего в состав комплекса научной аппаратуры «Спектр-УФ». Ниже на фотографии показано главное зеркало с технологической разгрузкой перед проведением контроля формы отражающей поверхности (ОАО ЛЗОС).



При проведении наземной экспериментальной отработки ГЗ было установлено значительное влияние технологической разгрузки зеркала на форму отражающей поверхности (ОП) ГЗ при проведении её контроля. ЗАО «РАСТР» разработан метод контроля формы ОП ГЗ, позволяющий количественно определить влияние технологической разгрузки при контроле формы ОП ГЗ. Метод основан на проведении интерферометрического контроля ОП ГЗ при разворотах зеркала относительно технологической оправы на углы 0° , 40° , 80° . Проводится усреднение полиномов, описывающих волновые фронты, при трёх положениях зеркала, относительно технологической оправы. Полученный средний полином описывает деформации волнового фронта, вызванные собственными деформациями ОП ГЗ (деформации волнового фронта, которые

поворачиваются вместе с зеркалом при его разворотах). Далее, из полиномов, описывающих измеренные деформации волновых фронтов вычитается полином, описывающий деформации волнового фронта зеркала, с разворотом полинома на угол, соответствующий каждому из положений ГЗ относительно технологической разгрузки. Полученный средний полином описывает деформации волнового фронта, вызванные технологической разгрузкой (деформации волнового фронта, которые не изменяются при развороте зеркала). На рисунках ниже приведены топографии деформаций отражённых волновых фронтов, вызванных технологической разгрузкой ГЗ, перед началом и после двух этапов испытаний.



В таблице ниже приведены результаты анализа деформаций волновых фронтов, вызванных технологической разгрузкой ГЗ.

Этап	RMS(W)	A	FIA	C33	FiC33	RMS(M)
[1]	0.048	0.094	43.94	0.066	-49.46	0.008
[2]	0.067	0.154	28.82	0.032	-51.78	0.010

Небольшое увеличение на этапе [2] средней квадратичной деформации волнового фронта, вызванного технологической разгрузкой зеркала, связано с перераспределением регулярных составляющих деформаций волнового фронта, вносимых технологической разгрузкой.

Вышеуказанный метод внедрён в ОАО ЛЗОС при контроле формы отражающей поверхности макетного образца главного зеркала телескопа Т-170М.

Оптический блок телескопа космического базирования из материалов на основе карбида кремния

Бабаянц Г.И., Бабаянц К.Г., Суганеев В.С., Штрапенина Р.Б., Локтионов Ю.Д.
ООО «Керамические технологии», г. Москва, г. Троицк
g.babayants@gmail.com

В настоящее время проблемы, связанные с разработкой, созданием и исследованием крупногабаритных оптических элементов, простых и технологичных в изготовлении, имеющих приемлемые весовые и жесткостные характеристики, являются одними из актуальных в современной науке и технике, их решению уделяется большое внимание.

В предлагаемой статье описаны оптические блоки космических телескопов, выполненные из материала на основе карбида кремния, включающие в себя главный шпангоут, первичное зеркало диаметром 1500 мм, измерительные несущие конструкции (фермы), платформу вторичного зеркала и вторичное зеркало. Зеркала имеют поверхностную плотность 18-20 кг/м².

Космические блоки телескопов космического базирования предназначены для решения актуальных задач РОСКОСМОСа:

- создания космических обсерваторий для исследования Солнца и космических излучений, наблюдений астрофизических объектов; создание астрономического космического комплекса для получения данных о положении и движении звезд, заблаговременного обнаружения и мониторинга движения потенциально опасных для Земли небесных тел, а также многоцелевая задача наблюдение поверхности Земли (ДЗЗ).

Авторами проведены глубокие материаловедческие работы, показывающие, что относительно других более традиционных материалов карбид кремния обладает прекрасными характеристиками, включая высокую жесткость, высокую прочность, низкую токсичность, малую температурную деформацию и возможные преимущества цены и времени обработки. Эти свойства делают карбид кремния очень привлекательным для ряда применений в точных оптических конструкциях, особенно для космического применения. Приведены результаты реакционной сварки карбида кремния, которая используется при создании размерностабильных несущих конструкций.

В докладе приводятся свойства используемых материалов и особенности конструктивных элементов. Показано, что оптимальной технологией изготовления элементов телескопа является шликерное литье карбида кремния. Показано, что на качество зеркальной поверхности большое влияние оказывает исходное состояние порошка карбида кремния.

Влияние основных геометрических параметров зеркала из карбида кремния на стабильность его характеристик

Суганев В.С., Бабаянц Г.И., Бабаянц К.Г.
 ООО «Керамические технологии», г. Москва, г. Троицк
 suganvs@mail.ru

Использование карбида кремния в качестве основного материала при создании зеркал космического назначения имеет бесспорные преимущества практически перед всеми, известными в настоящее время, материалами.

Тем не менее, создание конструкций из карбида кремния является сложной и, как правило, уникальной задачей при решении конкретных задач, сложность которых определяется возрастающими требованиями по статической, динамической и термопрочности, увеличению разрешающей способности телескопов в различных диапазонах длин волн при воздействии всех факторов, характерных для стартовых нагрузок и длительного пребывания в условиях открытого космоса.

В настоящей работе приведены отдельные аспекты оптимизации конструкции рефлектора из карбида кремния диаметром $D = 1500$ мм.

Оптимизация проведена с целью практической реализации высоких значений критерия удельной жесткости E/γ . На практике это означает возможность изготовить зеркало с минимальной массой при выполнении заданных требований по прочности и жесткости изделия. В качестве сравнительной характеристики приводятся значения удельной поверхностной плотности $S_{уд}$ (кг/м²), полученные на образцах и изделиях из различных материалов.

В качестве базовой принята известная конструкция, состоящая из отражающей пластины с зеркальным покрытием и "облегченной основы", представляющей собой сотовую конструкцию из пересекающихся ребер различной конфигурации.

Вариантными параметрами при проведении анализа являются следующие:

$s_{пл}$ - толщина отражающей пластины (проведены расчеты для толщин 2...6 мм, анализируется влияние кривизны пластины на прочностные характеристики зеркала);

s_p - толщина ребра (диапазон изменений - 3...6 мм);

h_p - высота ребра (расчет проводился в диапазоне от 3 до 150 мм для ребер постоянной высоты и профилированных ребер);

a - характерный размер ячейки сотовой конструкции облегченного основания.

Пределы изменений параметров ($s_{пл}$, s_p , h , a) выбраны с учетом возможностей разработанных технологических процессов формования, термической и механической обработки при производстве карбида кремния. При выборе толщины пластины ($s_{пл}$) и характерного размера ячейки (a) учитывалась необходимость обеспечить необходимую жесткость отражающей пластины при

проведении доводочных процессов шлифования, полировки и нанесения отражающих покрытий. Кроме того, в рамках оптимизации параметра (а) проведен анализ влияния формы ячейки сотовой конструкции на прочность и жесткость конструкции при действии статических эксплуатационных и технологических нагрузок.

С учетом перечисленных условий и ограничений, методами конечных элементов, проведена оптимизация по возможным изменяемым параметрам, целью которой является минимизация массы облегченного зеркала из карбида кремния.

Контроль деформаций крупногабаритных конструкций, зданий и сооружений

Коротаев В.В.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики» (НИУ ИТМО), г. Санкт-Петербург
korotaev@grv.ifmo.ru

Современные крупногабаритные конструкции, здания и сооружения являются объектами уникального инженерного решения, на этапах строительства и эксплуатации которых, активно внедряются современные технологии, направленные на улучшение их качества.

Однако в процессе строительства и эксплуатации указанные объекты могут подвергаться разнообразным внешним воздействиям, в том числе, не предусмотренным при проектировании. Результатом данных воздействий может быть разрушение конструкций.

Внезапные обрушения крупногабаритных сооружений, произошедшие за последние годы в различных городах и странах мира (Рига-2014, Москва-2012, 2006, Токио -2012, Италия – 2011, Санкт-Петербург – 2011 и др.), вывели проблему их мониторинга на одно из первых мест в системах по обеспечению безопасности проживания людей в крупных городах.

Целью настоящей работы является разработка комплексных автоматизированных систем, осуществляющих непрерывный мониторинг технического состояния конструкций, зданий и сооружений, для своевременного определения опасных состояний и предотвращения аварийных ситуаций.

Система мониторинга предполагает установку различных датчиков на элементах конструкций зданий и сооружений с целью определения влияния физического (влажность и температура окружающей среды) и силового (статическая и динамические нагрузки) воздействия на их прочность и деформируемость.

Объектами для мониторинга могут являться оборудование энергетики, промышленности и строительной индустрии (например, тепловых и атомных электростанций, ГЭС, нефте- и газопроводов, топливных резервуаров, мостов и промышленных корпусов и т.д.), объекты развлекательного характера, аквапарки, торговые центры и пр.

Одним из основных элементов работ являлось исследование и разработка распределенной оптико-электронной системы мониторинга деформаций потенциально опасных конструкций, сооружений и оборудования на основе синхронного комплексирования информации об изменении их формы.

Исследования, показали, что современные геодезические приборы (электронные тахеометры, цифровые нивелиры, спутниковые приемники ГЛОНАСС и т.д.), системы структурного мониторинга и промышленные измерительные системы контроля перемещений (деформаций) элементов

техногенной среды, вызванных воздействием внешних факторов (температуры окружающей среды, ветровой нагрузки, механических воздействий движущихся транспортных средств и т.п.), работающие в автоматическом режиме без какого-либо участия наблюдателя, не всегда обеспечивают требуемую погрешность измерений (до 0,1 мм) и частоту измерений (до 5 Гц) в особенности при долговременном контроле сооружений.

Наиболее совершенными являются распределенные оптико-электронные системы (РОЭС) долговременного контроля деформаций, которые могут обеспечивать параллельные и независимые измерения с высокой частотой (до 10 кГц) обновления информации для множества контрольных точек.

В результате была разработана многоточечная ОЭС контроля деформаций крупногабаритных инженерных сооружений. Работа системы основана на методах синхронного комплексирования информации в оптико-электронных каналах при получении разнородной информации о деформации объектов в реальном масштабе времени.

Примером реализации системы мониторинга является прогибомер оптико-электронный доковый (ПОЭД).

Основные параметры ПОЭД:

Количество реперных меток, шт., не менее	2
Диапазон расположения реперов, м	от 20 до 100
Диапазон измерения смещений прогиба, мм	± 200
СКО случайной составляющей погрешности измерения на дистанции до 100 м, мм	4



Внешний вид базового блока ПОЭД

В выполнении комплекса указанных работ активное участие принимали преподаватели, аспиранты и студенты кафедры оптико-электронных приборов и систем НИУ ИТМО, что является важным фактором определяющим качество подготовки специалистов на различных уровнях.

Служебные системы для контроля положения визирных осей объективов телескопа ДЗЗ относительно положения звездных датчиков на РСНК

Романова Т.Л., Сокольский М.Н., Трегуб В.П.
ОАО «ЛОМО», г. Санкт-Петербург
RTL87@mail.ru

Необходимость создания таких систем возникла в процессе разработки оптико-электронного комплекса (ОЭК), предназначенного для проведения съёмки участков поверхности Земли в объектовом, маршрутном стереоскопическом и обзорном режимах. ОЭК представляет собой двухобъективный оптический телескопический модуль (ОТМ) и систему приема и преобразования информации, закрепленные на размеростабильной несущей конструкции (РСНК). Для обеспечения проведения стереоскопических съёмок визирные оси двух идентичных объективов ОТМ должны составлять друг с другом угол 54° . Поскольку положения объективов и звездных датчиков могут меняться друг относительно друга в вследствие воздействия на ОЭК, при его эксплуатации, дестабилизирующих факторов (в основном температурных), то для правильной ориентации и наводки ОЭК на объект, необходим постоянный контроль положений звездных датчиков относительно направлений визирных осей объективов. Для этой цели и были разработаны две системы: система контроля базовых посадочных элементов (СК БПЭ) и система контроля положения визирных осей (СК ПВО).

СК БПЭ предназначена для автоматического определения малых углов разворота вокруг осей базовой системы координат (БСК) ОЭК, на которые могут развернуться платформы звездных датчиков космического аппарата (КА) в процессе эксплуатации. Материализация осей БСК (OXYZ, рисунок 1) осуществляется с помощью базового контрольного элемента (БКЭ), представляющего собой призму с зеркальными гранями, углы которой паспортноизованы с высокой точностью.

На платформах звездных датчиков так же закреплены контрольные элементы в виде призм с зеркальными гранями КЭП-1 и КЭП-2, углы между которыми также паспортноизованы с высокой точностью.

Измерение углов между нормальными граней КЭП-1; КЭП-2 и нормальными граней БКЭ осуществляется системой из трёх автоколлиматоров АД-1; АД-2; АД-3, каждый из которых устроен таким образом, что его визирная ось всегда совпадает с нормалью одной из граней КЭП-1 или КЭП-2, независимо от поворотов, которым они подвергаются совместно с платформами ЧЭ СУД.

В результате математической обработки значений углов рассогласования между нормальными граней БКЭ и КЭП-1; КЭП-2, полученных при измерениях в каждом автоколлиматоре, должны быть получены углы разворота платформ ЗД вокруг осей БСК.

Система контроля положения визирных осей (СК ПВО) предназначена для автоматического определения малых углов отклонения визирных осей объективов (O1; O2, рисунок 2) от нормалей к зеркальным граням БКЭ. При номинальном

положении объективов направления их визирных осей совпадают с направлениями нормалей к граням БКЭ.

Визирные оси объективов ($O_{1(2)В}X_{1(2)В}$) визирных систем координат материализуются параллельными пучками лучей, которые формируются объективами от точечных источников излучения автоколлимационных блоков (АБ1; АБ2), расположенных в центрах их фокальных плоскостей.

– измерение углов между визирными осями объективов ($O_{1(2)В}X_{1(2)В}$) и нормальными соответствующих граней БКЭ (осями $O_{1(2)ВО}X_{1(2)ВО}$) осуществляется самими объективами, которые при функционировании СК ПВО, кроме решения своих основных задач, работают совместно со своими автоколлимационными блоками как автоколлиматоры.

Параллельный пучок лучей, сформированный объективом в направлении оси $O_{1(2)В}X_{1(2)В}$, проходит через оборачивающую зеркальную систему. Эта система включает в себя удлиненную составную призму БкР – 180 и зеркальный ромб и обеспечивает разворот луча в противоположное направление и параллельный перенос, направляя его на грань БКЭ, материализующую своей нормалью ось $O_{1(2)ВО}X_{1(2)ВО}$. Отражённый от грани БКЭ луч проходит оборачивающую зеркальную систему в обратном направлении и проходя в объектив фокусируется им на ФПУ автоколлимационного блока. Разности координат АКИ и марки на матрице ФПЗС ФПУ автоколлимационного блока являются мерой искомых углов.

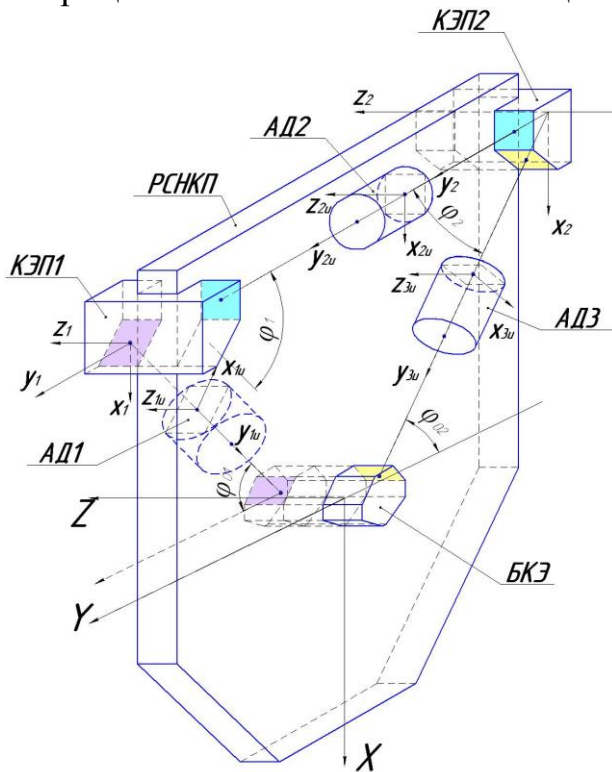


Рисунок 1 – Принципиальная схема СК БПЭ

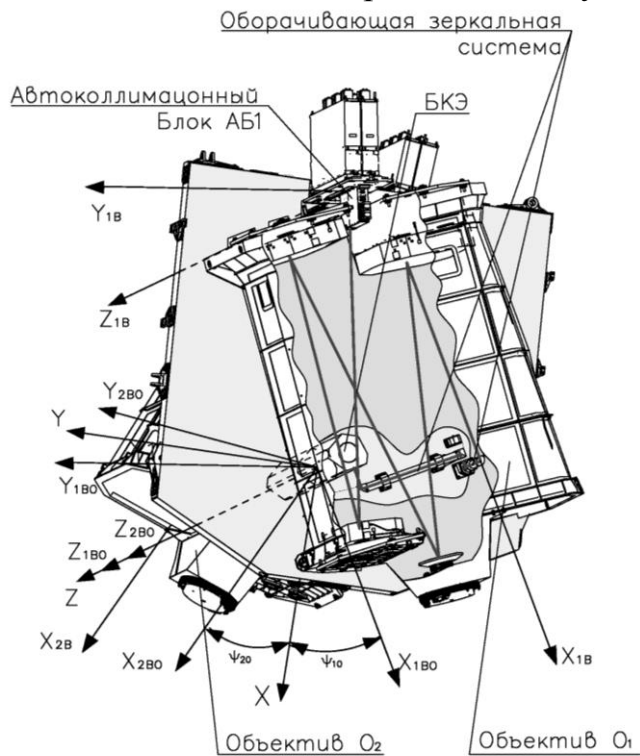


Рисунок 2 – Схема размещения основных устройств СК ПВО

Оценка погрешностей голограммных компенсаторов, используемых для сборки-юстировки асферической оптики

Одинокоев С.Б., Колочкин В.Я., МГТУ им.Н.Э.Баумана, odibokov@bmstu.ru
Морозов С.А., Ли А.В., ОАО «Красногорский механический завод им.
С.А.Зверева», г.Красногорск, Московской обл.

В случае асферической оптики для измерения расположения элементов или контроля формы использую голограммные компенсаторы (ГК), которые преобразуют эталонный (например, плоский) волновой фронт (ВФ) в асферический, совпадающий с расчетной формой исследуемой поверхности, а затем обратно – в плоский. Из-за наличия несистематических ошибок остается актуальной проблема оценки погрешностей самого компенсатора [1].

Известен так называемый пятипозиционный интерферометрический метод [1], который позволяет измерить все погрешности изготовленной дифракционной структуры ДОЭ, соответствующей сферическому ВФ. Если изготовление дифракционных структур, соответствующих сферическому и асферическому ВФ, ведется одновременно, то внешние воздействия (например, изменения температуры), которые вносят погрешности, будут действовать на них одинаково. Зная погрешности дифракционной структуры, соответствующей сферическому фронту, можно вычислить погрешности структуры, соответствующей асферическому фронту. Таким образом, данный подход позволяет проводить оценку асферического ВФ. Однако ему свойственны собственные погрешности: при кодировании двух фазовых функций в одном ГК появляются дополнительные паразитные дифракционные порядки и снижается дифракционная эффективность.

Предложена математическая модель ГК, в которой он делится на зоны, поочередно заполняемые участками дифракционных структур, соответствующих двум волновым фронтам: сферическому и асферическому.

Обычно зоны представляются в виде типовых конфигураций элементарных ячеек: а)концентрических колец, б)периодических полос, в)кольцевых секторов. При использовании ячеек в виде кольцевых секторов ГК делится на концентрические кольца равной ширины вдоль радиальной координаты, а затем каждое кольцо, в свою очередь, делится на кольцевые сектора. Количество секторов в каждом следующем кольце больше, чем в предыдущем, на постоянное число; это число было выбрано равным 16.

Разрывы функций пропускания комбинированного ГК на границах ячеек приводят к паразитной дифракции, которая вносит погрешности в интерференционные измерения. Кроме того, имеет место взаимная интерференция формируемых волновых фронтов, если пространственные частоты дифракционных структур совпадают или кратны друг другу.

Для оценки влияния этих погрешностей ГК на точность интерферометрических измерений при сборке-юстировке асферической оптики рассматривают схему интерферометра Тваймана-Грина.

В качестве примера приведены результаты численных расчетов распределения погрешностей формы волнового фронта, вносимых асферическим

волновым фронтом. Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы:

- для концентрических колец – $PV=0,065\lambda$ (полный размах ошибки) и $RMS=4,3*10^{-4}\lambda$ (среднеквадратичное отклонение);

- для кольцевых секторов – $PV=10^{-6}\lambda$ и $RMS=7,5*10^{-8}\lambda$,

что полностью удовлетворяет оценкам погрешностей при сборке-юстировке асферической оптики.

Литература

1. Полещук А.Г., Корольков В.П. и др. Методы сертификации ДОЭ для контроля асферической оптики./ Автометрия, №1 2005 г., т.41, с.23-32.

Расчет и проектирование оптических схем фурье-спектрорадиометров, устойчивых к полевым условиям эксплуатации.

Лельков М.В., Морозов А.Н.

ЗАО “Центр прикладной физики МГТУ им. Н.Э. Баумана”, г. Москва
m_lelkov@mail.ru

Разработанный оптико-электронный прибор – фурье-спектрорадиометр, должен принимать собственное тепловое излучение атмосферы, земли, зданий, растений, облаков, а также произвольную комбинацию данных излучений, прошедших через облако загрязнителя, и, кроме того, собственное тепловое излучение газов-загрязнителей. Затем, на основе анализа спектра суммарного излучения, выделяются спектральные признаки искомым газов и определяется интегральное содержание данного газа в поле зрения прибора.

Основной задачей проектирования оптической схемы фурье-спектрорадиометра (ФСР), предназначенного для работы в полевых условиях является обеспечение следующих факторов:

- схема интерферометра должна обеспечить все необходимые для решения поставленных задач исходные параметры (спектральное разрешение, необходимую светосилу, угловое поле, требование к аберрациям и т.п.) при минимальных габаритах и массе;
- сохранность и стабильность размеров оптической конструкции;
- простота расчета и технологичность изготовления;
- оптические материалы, используемые в ФСР, не должны быть гигроскопичны и должны обладать минимально возможными коэффициентами поглощения в рабочем диапазоне длин волн;
- условная простота сборки, юстировки и отладки, как интерферометра в целом, так и его составных частей;

Пример спроектированной оптической схемы, соответствующей заданным условиям приведен на рис. 1. В ее основе лежит классическая схема интерферометра Майкельсона, которая, несмотря на все многообразие альтернативных решений, по-прежнему остается одной из самых надежных и практичных конструкций.

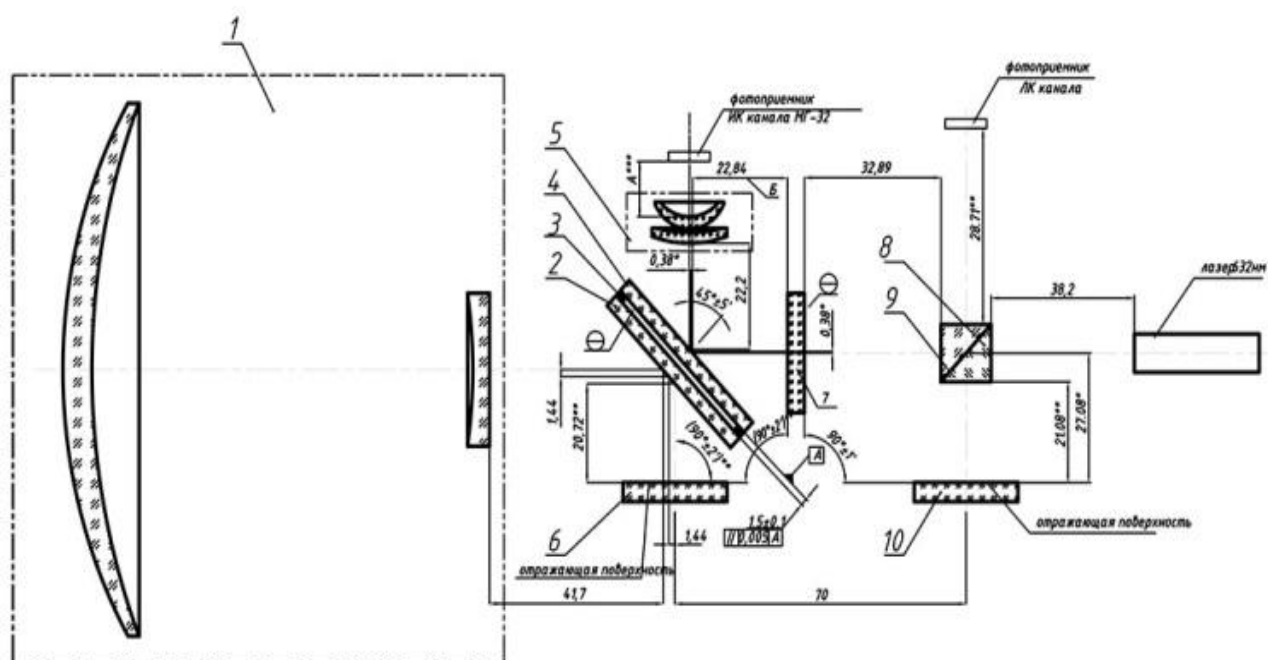


Рисунок 1. Принципиальная оптическая схема ФСР ПХРДД 4.:

1 - телескоп; 2 - компенсатор; 3 - кольцо;

4 – светоделитель; 5 – объектив; 6,7,10 –зеркало; 8,9 – призма.

Обеспечение пространственной стабильности угломерного метрологического стенда

Парвлюсов Ю.Б., Шкаманова М.В.

Московский государственный университет геодезии и картографии
(МИИГАиК), Москва, Россия

parvulusov@miigaik.ru

Развитие и совершенствование оптических и оптико-электронных угломерных приборов, возрастающие требования к их точности и надежности, а также автоматизация процесса измерений с их помощью, приводят к необходимости создания новых методов и средства контроля метрологических характеристик таких приборов. В этой связи становится очевидной необходимость разработки средств аттестации и создания на их основе нестандартизированного универсального стендового оборудования, обеспечивающего возможность его использования для аттестации различных типов высокоточных угломерных приборов, вне зависимости от степени автоматизации измерений с их помощью, принципов и способов отсчитывания по рабочим мерам с погрешностями аттестации в десятые и сотые доли угловой секунды.

Рассмотрение конструктивных решений известных метрологических стендов показывает, что всем им присущ индивидуальный подход при разработке, что приводит к неоправданному распылению сил и средств, ограничениям по универсальности, сложности автоматизации проведения поверок. Кроме того, достижение указанной выше погрешности аттестации требует обеспечения высокой стабильности положения опорных направлений и возможности обеспечения их оперативного контроля.

В МИИГАиК обоснован способ контроля метрологических характеристик высокоточных угломерных приборов, основанный на измерении угловых положений группы опорных излучателей, расположенных в горизонтальной плоскости и на различных зенитных расстояниях относительно контролируемого прибора. Задание в пространстве опорных направлений, фиксирующих эталонные углы, осуществляется с помощью автоколлиматоров, ориентированных на специальный призмный калибр, фиксирующий точку пересечения геометрических осей контролируемого прибора. Калибр-эталон представляет собой многогранную призму с зеркальными гранями, нормали к которым образуют в пространстве требуемую геометрическую схему.

Изложенный принцип построения метрологического угломерного стенда позволяет периодически проверять взаимное положение референтных направлений с помощью призмного калибра. Возникает вопрос – насколько часто это нужно делать? Поскольку призмный калибр, как рабочий эталон, требует тщательного ухода и обращения с ним, использовать его следует как можно реже. А это возможно лишь при долговременной пространственной стабильности несущих конструкций и отдельных элементов стенда.

Для практической реализации стенда было предложено использовать модульный принцип построения, в соответствии с которым конструкция стенда собирается из необходимых готовых модулей (блоков, узлов, деталей и т.п.), размещаемых и фиксируемых в пространстве в соответствии с геометрико-оптической схемой.

При создании жёстких, стабильных и относительно лёгких несущих конструкций хорошо проявили себя стержневые композиции, нашедшие достаточно широкое применение в космической оптической технике, в частности в телескопостроении. В МИИГАиК на основе анализа оптико-механических модульных систем, выпускаемых различными производителями, разработан и используется в НИР и учебном процессе комплект модульных приспособлений, основными элементами которого являются стальные трубы различной длины и детали для их соединения в пространственные структуры произвольных конфигураций. При этом полученные конструкции обладают достаточно высокой силовой и температурной стабильностью и жесткостью при относительно небольшой массе. Кроме того, они могут быть легко модифицированы с учетом специфики и конструктивных особенностей исследуемых приборов.

Вместе с тем достижение необходимой стабильности метрологических стендов требует принятия дополнительных мер. В частности это относится к выбору конструктивных материалов. Стержни (трубки) модульной конструкции должны выполняться из жёстких материалов с хорошей теплопроводностью и незначительным коэффициентом линейного расширения. Вне конкуренции здесь, безусловно, инвар и его модификации. Однако его использование затруднительно по технологическим и экономическим соображениям. Поэтому более предпочтительно создание конструктивных схем, при реализации которых деформаций несущих конструкций не возникает. С этой целью разработана математическая модель, описывающая влияние деформаций, вызванных разными причинами, на точность аттестации угломерных приборов.

При работе стенда в термостатном помещении деформации несущих конструкций могут возникать за счёт старения и стабилизации конструкционных материалов и узлов крепления. Однако при использовании малоразмерных модульных элементов несущей конструкции подобные деформации маловероятны или несущественны. Кроме того, даже при их возможном появлении в силу долговременного характера их влияние может быть устранено правильным выбором межповерочного интервала.

На основании изложенного можно сделать заключение о том, что модульный подход при создании метрологических стендов позволяет снизить затраты на их проектирование и изготовление, обеспечить требуемую точность аттестации высокоточных угломерных приборов, достичь высокой стабильности метрологических параметров и характеристик, а также сделать их более компактными и универсальными.

Эффективные лазеры на алюмоиттриевом гранате с неодимом с диодной накачкой, работающие в широком интервале температур без температурной стабилизации диодов накачки

Виленский А.В., Лысой Б.Г., Пашков В.А.
ОАО НИИ «Полюс» им. М.Ф. Стельмаха», г. Москва
bereg@itnline.ru

В докладе представлены результаты разработки и исследования импульсных лазеров на АИГ: Nd^{3+} , работающих по схеме генератор- усилитель с продольной накачкой матрицами лазерных диодов в полосу поглощения ионов неодима около 808 нм. Лазер работал в интервале температур от минус 20°C до $+55^{\circ}$ в режиме свободной генерации и модуляции добротности резонатора без применения температурной стабилизации длины волны излучения диодов накачки. Частота повторения импульсов генерации варьировалась от одиночных импульсов до 25 Гц. Исследовалась возможность повышения эффективности генерации за счет оптимизации ввода излучения от диодной матрицы в активный элемент лазера. В режиме свободной генерации получена энергия излучения 60 – 100 мДж; КПД преобразования света накачки в излучение лазера достигал 20%. В режиме модулированной добротности энергия излучения задающего генератора лазера не превышала 25-30 мДж, а на выходе усилителя - 40-60 мДж. Установлено, что энергия излучения ограничивалась из-за снижения инверсной населённости в активных элементах лазера, вызванной усиленной люминесценцией (т.н. суперлюминесценцией) и возбуждения внутренних (паразитных) мод генерации в активных элементах. Показана возможность повышения энергии излучения и эффективности лазера с использованием активных элементов из АИГ: Nd^{3+} с оболочкой из специального стекла с примесью ионов самария (Sm^{3+}),^[1] поглощающих излучение с $\lambda = 1,06$ мкм и препятствующих возникновению паразитной генерации. Эффективные лазеры, подобные исследованным в данной работе, в том числе с излучением на длинах волн $2^{\text{ой}} \div 4^{\text{ой}}$ гармоник, а также с параметрическим преобразованием излучения в безопасное для зрения с длиной волны $\lambda = 1,57$ мкм, могут быть использованы в компактной и легкой оптико-электронной аппаратуре, работающей в полевых условиях в широком интервале температур.

Литература

1. Boiko R.M., Bolshakov S.A., Lysoi B.G., Vilensky A.V., Shestakov A. V., Shestakova I.A. “Composite YAG:Nd laser rod with glass absorbing envelope for superluminescence suppression”, 15th International Conference on Laser Optics, Technical Program (St. Petersburg, 2012).

Обеспечение размерной стабильности конструкций и сохранность фотограмметрических параметров оптико-электронной аппаратуры дистанционного зондирования Земли

Архипов С.А., Заварзин В.И., Кравченко С.О., Морозов С.А.
ОАО «Красногорский завод им. С.А. Зверева», г. Красногорск
s.kravchenko@zenit-kmz.ru

Создание современной широкозахватной оптико-электронной аппаратуры стало возможным благодаря использованию в схемных решениях космических приборов широкоугольных зеркальных и зеркально – линзовых систем с эксцентричным полем, обладающих дифракционным качеством изображения и работающих в широком спектральном диапазоне. Для получения топографических съемочной информации необходима фотограмметрическая калибровка аппаратуры, которая предполагает наземную аттестацию фотограмметрических параметров (ФГП), их контроль и корректировку в процессе эксплуатации. Под ФГП будем понимать набор параметров однозначно определяющих положение точек изображения. Такими параметрами являются [1]:

- массив углов (μ_{ij}, ν_{ij}), определяющих угловую связку визирных лучей в пространстве предметов;
- массив номеров соответствующих элементов приемника излучения (ПИ) и линейных координат этих элементов (i, j, l_{ijx}, l_{ijy}) в системе координат аппарата ($OXYZ$)_П (рис 1).

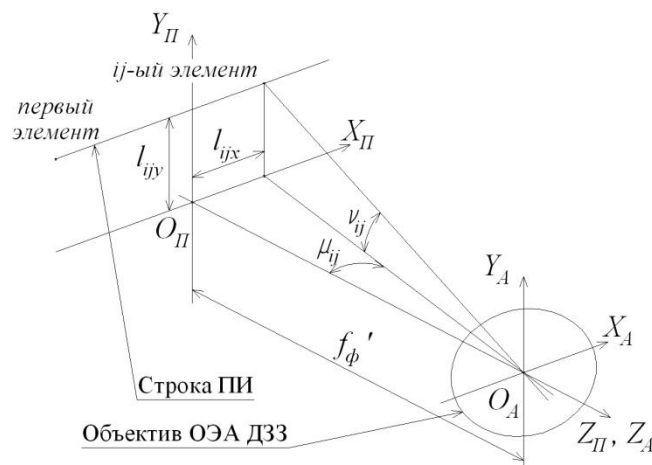


Рисунок 1. Системы координат ОЭА и ПИ

Эксплуатационные факторы, влияющие на изменение ФГП и приводящие к ошибкам определения координат местности:

- температурный режим работы аппарата;
- изменение силы тяжести при переходе к эксплуатации;
- изменение давления при переходе к эксплуатации;
- старение и деградация материалов со временем.

Температурный режим работы влияет на изменение воздушных промежутков, показателей преломления стекла компонентов объектива, и, в общем случае, приводит к расфокусировке. Температурные градиенты приводят к деформации рабочих поверхностей оптических компонентов и появлению градиента показателей преломления стекла, что обуславливает появление термооптических аберраций и, как следствие, изменение частотно-контрастной характеристики оптической системы и взаимного положения приемника излучения (ПИ) и узловой точки объектива (центра проекции).

Отсутствие силы тяжести в процессе эксплуатации приводит к деформации оптических поверхностей и изменению величин воздушных промежутков за счет снятия прогибов несущей конструкции, что приводит к изменению ЧКХ и взаимного положения ПИ и узловой точки объектива относительно измеренных в наземных условиях. Для компенсации деформаций корпусной части аппарата под действием сил тяжести необходимо на этапе фотограмметрической калибровки применять методики разгрузки аппарата.

Изменение давления при переходе к эксплуатации изменяет показатели преломления промежутков между оптическими элементами и оптических материалов, приводит к изменению положения центра проекции. Этот фактор устраняется за счет ввода на этапе измерения ФГП поправки на вакуум.

Со временем происходит старение и деградация материалов несущей конструкции, что приводит к изменению физических и химических свойств материалов.

Для широкозахватной многоспектральной аппаратуры среднего разрешения (ШМАСР) был проведен анализ влияния нестабильности зеркальных компонентов на изменение ФГП. Результаты приведены в табл. 1.

Таблица 1.

Зеркальный компонент	Нестабильность зеркального компонента (разворот вокруг осей X/Y)	Изменение углов (μ_{ij}, ν_{ij})
1	1''	1,5''
2		0,75''
3		0,75''

В ШМАСР обеспечивается угловая стабильность зеркальных компонентов в 2'', что при наихудшем стечении обстоятельств (разворот 1 и 3 зеркала в одном направлении и разворот 2 зеркала в противоположном), приведет к изменению углов (μ_{ij}, ν_{ij}) на 8'', что приводит к погрешности измерения координат на местности в 30 метров. Для повышения точности измерения координат необходимо проводить фотограмметрическую калибровку аппаратуры в процессе эксплуатации с использованием звездного неба либо наземных опорных точек.

Литература

1. Фотограмметрические параметры оптико-электронной аппаратуры / Архипов С.А., Гасич Г.В., Заваздин В.И., Морозов С.А. Вестник МГТУ. Приборостроение. 2008. №4. С.103.

Выбор материала и расчет параметров облегченного зеркала широкозахватной многоспектральной аппаратуры среднего разрешения

Архипов С.А., Морозов С.А., Сальникова М.А.
 ОАО «Красногорский завод им. С.А. Зверева», г. Красногорск
msa@zenit-kmz.ru, m.salnikova@zenit-kmz.ru

Зеркала, используемые в широкозахватной многоспектральной аппаратуре среднего разрешения (ШМАСР), имеют габариты, при которых для уменьшения массы целесообразно выполнить облегчение зеркал. Рассчитывая структуру облегчения необходимо правильно определить ее параметры, чтобы обеспечить необходимую жесткость и прочность деталей.

Цель исследования состоит в обосновании выбора материала и конфигурации структуры облегчения зеркала, используемого в ШМАСР, в результате проработки различных вариантов конфигураций и материалов.

Рассмотрим сферическое зеркало аппаратуры ШМАСР. Исходя из хода лучей в оптической системе, контур зеркала выполнен в виде прямоугольника с фасками 30° и 60° , хотя его рабочая поверхность является симметричной относительно геометрического центра детали (рисунок 1).

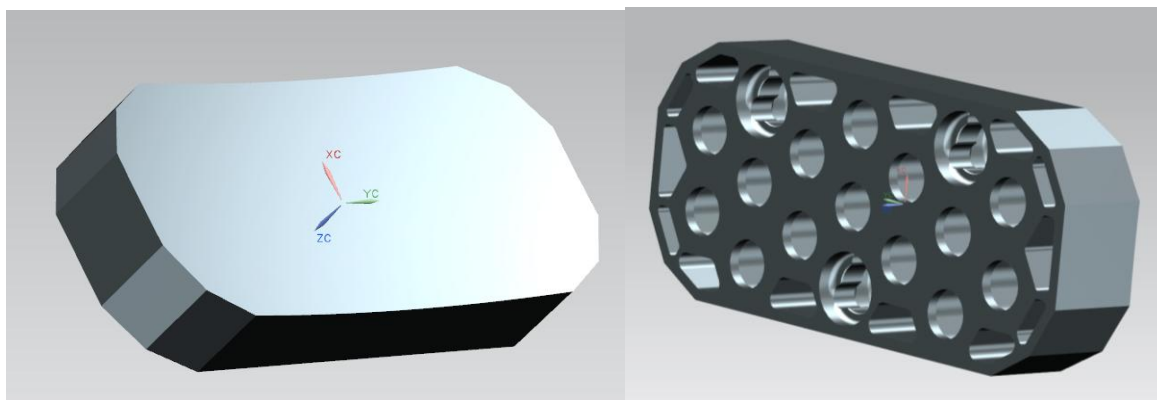


Рисунок 1 – Геометрия сферического зеркала

Расчет структуры облегчения проводился по методике, изложенной в [1]. Рассматривались следующие варианты геометрической формы ячеек структуры облегчения: квадрат, окружность, шестиугольник, треугольник (рисунок 2). Для дополнительного уменьшения массы применялись нестандартные формы ячеек на краях детали.

Исследования проводились для следующих материалов:

- ситалл СО115М (производитель – ОАО ЛЗОС, Россия),
- ZerodurTM (производитель – SCHOTT AG, Германия),
- оптическое кварцевое стекло.

Физико-механические характеристики материалов приведены в таблице 1. Геометрическое моделирование зеркала проводилось в САПР Siemens NX. Для каждого из материалов уточнялись значения размера ячейки облегчения зеркала и толщин лицевой и тыльной пластин. Расчет остаточных

деформаций зеркал под действием силы тяжести производился в системе конечно-элементного анализа ANSYS.

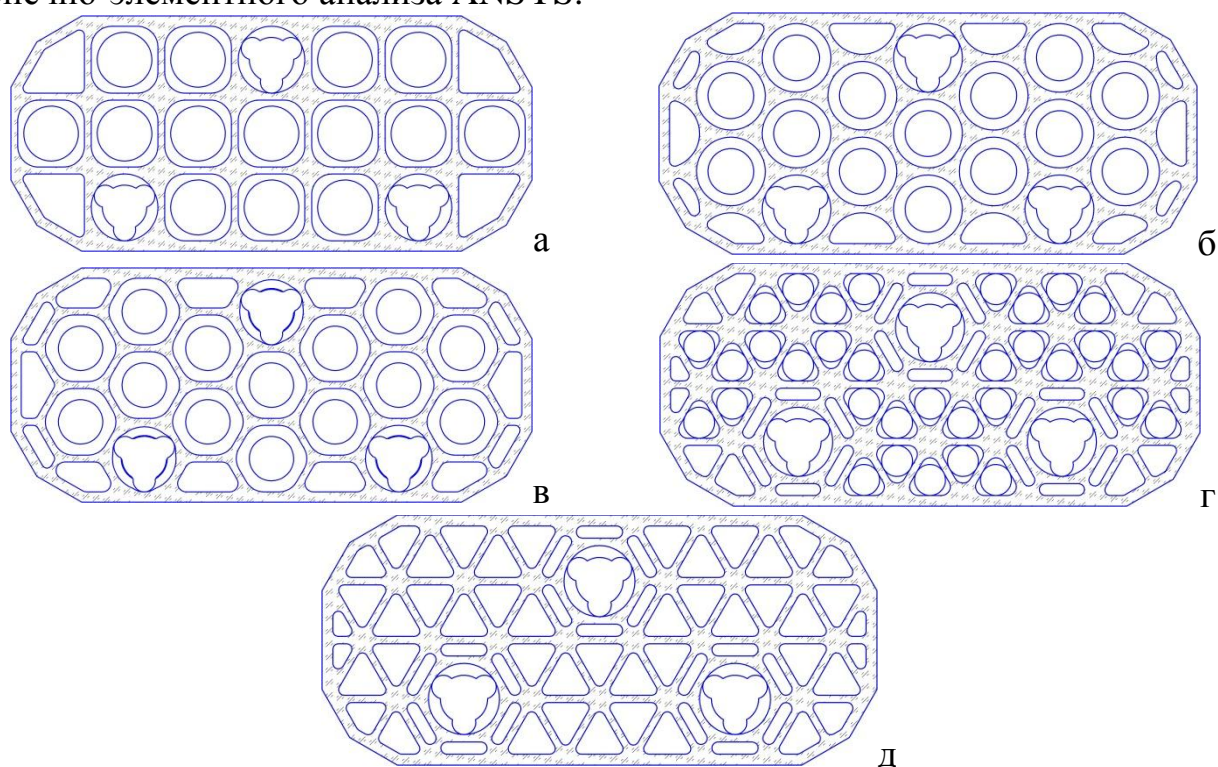


Рисунок 2 – Геометрия структуры облегчения (а – квадрат, б – окружность, в – шестиугольник, г – треугольник, д – треугольник без тыльной пластины)

Таблица 1- Характеристики исследуемых материалов

Материал	Плотность, кг/м ³	Модуль Юнга, ГПа	Коэффициент Пуассона
Ситалл СО115М	2460	92	0,28
Кварц КВ	2210	73,6	0,18
Zerodur™	2530	90,3	0,24

Для сравнения полученных вариантов использовались следующие критерии:

- масса облегченного зеркала;
- коэффициент облегчения;
- остаточные деформации под действием силы тяжести, направленной перпендикулярно большому ребру зеркала (рисунок 3).

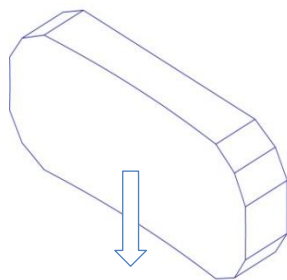


Рисунок 3 – Направление силы тяжести при расчете остаточных деформаций зеркала

Результаты расчетов приведены в таблице 2. Из них следует, что зеркала из оптического кварца обладают наименьшей массой по сравнению с зеркалами из материалов ZerodurTM и ситалл СО115М. Однако использование данного материала затруднительно в связи с утратой технологии производства оптического кварца в России. Изготовление возможно только при наличии заготовок в запасах на оптических предприятиях. Поскольку использование материала ZerodurTM нежелательно в связи с необходимостью его заказа за границей, а массы зеркал из ситалла СО115М меньше для каждого из типов геометрии структуры облегчения, предпочтение было отдано материалу отечественного производства.

Таблица 2 – Сводная таблица остаточных деформаций зеркала для различных вариантов геометрии структуры облегчения и материалов

Материал	Тип облегчения	Размах (PV) остаточных деформаций, мкм		Масса, кг	Коэффициент облегчения
		Рабочей поверхности вдоль оптической оси	Рабочей поверхности суммарно по трем осям		
Ситалл СО115М	Круг	0,0110	0,0146	2,230	0,49
	Квадрат	0,0098	0,0159	2,090	0,46
	Шестиугольник	0,0110	0,0152	2,097	0,46
	Треугольник	0,0160	0,0169	2,584	0,57
	Треугольник 2	0,0170	0,0170	2,409	0,53
Кварц КВ	Круг	0,0125	0,0167	2,004	0,49
	Квадрат	0,0105	0,0126	1,878	0,46
	Шестиугольник	0,0122	0,0166	1,885	0,46
	Треугольник	0,0080	0,0186	2,321	0,57
	Треугольник 2	0,0080	0,0186	2,164	0,53
Zerodur TM	Круг	0,0120	0,0158	2,294	0,49
	Квадрат	0,0101	0,0120	2,150	0,46
	Шестиугольник	0,0116	0,0158	2,158	0,46
	Треугольник	0,0168	0,0176	2,657	0,57
	Треугольник 2	0,0170	0,0176	2,477	0,53

Выбор геометрии структуры облегчения производился исходя из величин остаточных деформаций. Поскольку оптический кварц и ZerodurTM из рассмотрения были исключены, остаточные деформации анализировались только для ситалла.

Наименьшими остаточными деформациями по расчетам обладает шестиугольная структура облегчения, квадратная сопоставима с ней. Менее

эффективным оказалось использование круглой, треугольной ячеек облегчения, а также геометрии без тыльной пластины.

В результате проведенных исследований было принято решение изготавливать сферическое зеркало аппаратуры ШМАСР из ситалла СО115М с шестиугольной геометрией ячейки структуры облегчения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Архипов С.А. Проектирование крупногабаритных высокоточных облегченных зеркал: Аналитический обзор №5593. – НТЦ «Информтехника», 2004. – 106 с.

Оценка деформаций облегченного зеркала широкозахватной многоспектральной аппаратуры среднего разрешения под действием силы тяжести в различных схемах нагружения

Архипов С.А., Беляев К.С., Морозов С.А., Сальникова М.А.
ОАО «Красногорский завод им. С.А. Зверева», г. Красногорск
msa@zenit-kmz.ru, m.salnikova@zenit-kmz.ru

Зеркала объектива широкозахватной многоспектральной аппаратуры среднего разрешения (ШМАСР) в силу своих габаритов, а также жестких массогабаритных требований, предъявляемых к самой аппаратуре, выполнены облегченными. При проектировании зеркал осуществляется расчет таких параметров, как размер ячейки облегчения, толщина стенки структуры облегчения, толщины лицевой и тыльной пластин, определяющих жесткость и прочностные свойства детали.

Одним из основных критериев, по которым принимают решение о правильности расчета облегченного зеркала, являются расчетные значения остаточных деформаций рабочей поверхности зеркала в различных условиях нагружения. Они зависят как от параметров структуры облегчения, так и от места, величины и направления приложенной нагрузки.

Особенный интерес представляют остаточные деформации рабочей поверхности зеркала под действием силы тяжести, неустранимые без специальных мер и осложняющие операции сборки, юстировки и контроля объектива. Для аппаратуры ШМАСР были проведены исследования остаточных деформаций двух зеркал: внеосевого асферического и осесимметричного сферического (рисунок 1).

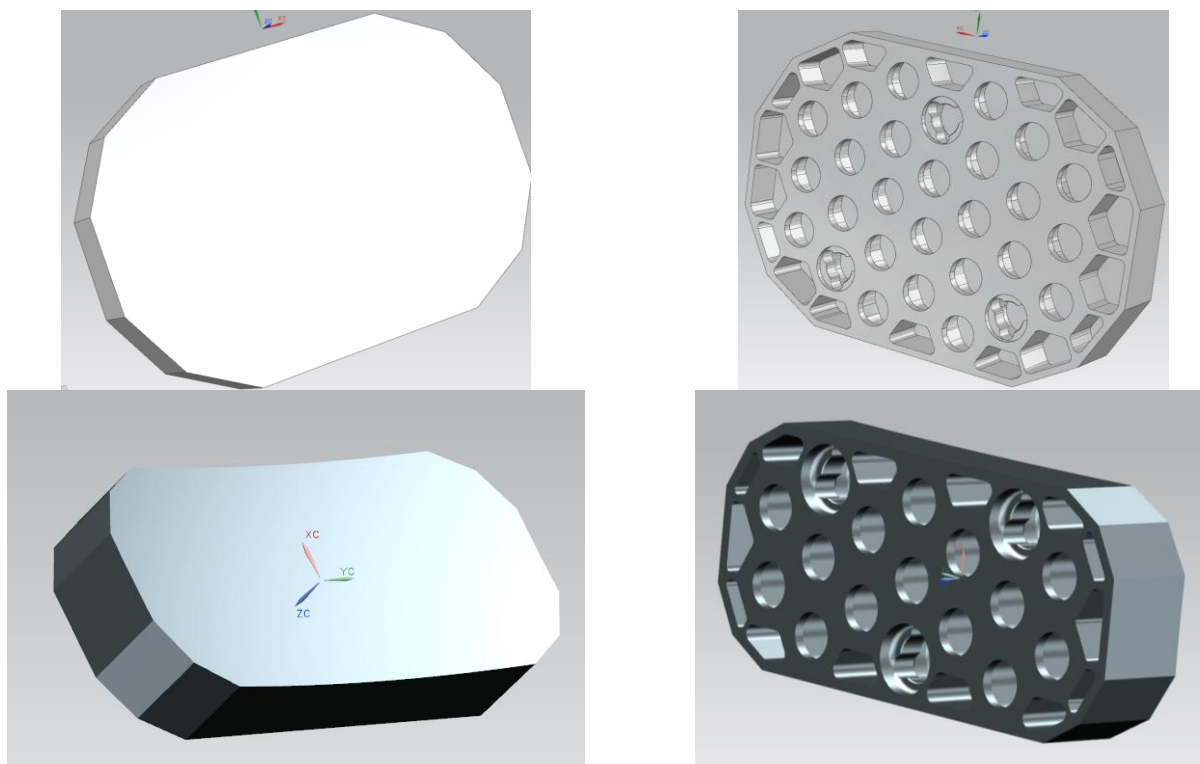


Рисунок 1 – Геометрия асферического (вверху) и сферического (внизу) зеркал

Рассматривались следующие схемы нагружения зеркал (рисунок 2): а – сила тяжести направлена перпендикулярно большему ребру зеркала, b – сила тяжести направлена перпендикулярно тыльной поверхности детали, с – сила тяжести направлена перпендикулярно меньшему ребру зеркала.

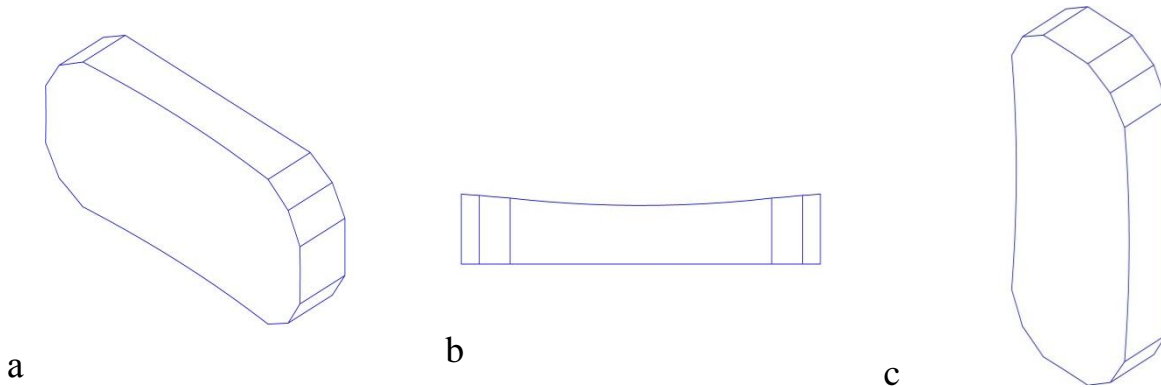


Рисунок 2 – Направления силы тяжести для расчета остаточных деформаций

Из конструктивных соображений для крепления детали к несущему кронштейну был выбран вариант установки зеркал на три интерфейсных элемента (рисунок 3).

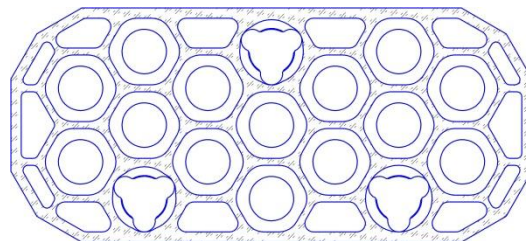


Рисунок 3 – Зеркало с тремя ячейками для установки интерфейсных элементов

Геометрическое моделирование зеркал проводилось в САПР Siemens NX. Расчет величин остаточных деформаций рабочей поверхности зеркал под действием силы тяжести производился в системе конечно-элементного анализа ANSYS. Результаты расчета приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Сводная таблица остаточных деформаций зеркала

Материал	Зеркало	Тип облегчения	Размах (PV) остаточных деформаций рабочей поверхности вдоль оптической оси зеркала, мкм		
			Вариант направления силы тяжести		
			a	b	c
Ситалл CO115M	Асферическое	Шестиугольник	0,0379	0,1772	0,0670
	Сферическое	Шестиугольник	0,0112	0,0623	0,0178

Из таблицы следует, что для обоих зеркал размах остаточных деформаций рабочей поверхности максимален при таком их положении, когда сила тяжести перпендикулярна тыльным поверхностям. Для асферического зеркала он составляет $\lambda/3,6$, для сферического – $\lambda/10$. Такие величины деформаций

обуславливают необходимость использования системы технологической разгрузки зеркал при работе с ними в положении, когда их оптические оси вертикальны. В то же время, размах остаточных деформаций в двух других случаях нагружения принимает значения от $\lambda/17$ до $\lambda/9$ для асферического зеркала и от $\lambda/55$ до $\lambda/35$ для сферического зеркала, что позволяет работать с ними в положениях, когда сила тяжести перпендикулярна ребрам зеркал, без системы технологической разгрузки.

Проведенные исследования позволяют провести анализ изменения формы рабочих поверхностей зеркал в различных положениях при сборке, юстировке и контроле аппаратуры ШМАСР, и предположить с какими трудностями разработчики и изготовители аппаратуры столкнутся на этих этапах.

Методика расчетной оценки снижения спектрального коэффициента пропускания оптических систем космической аппаратуры при длительном воздействии ионизирующих излучений космического пространства

Архипов С.А., Зубко А.В., Лалакин А.В.
 ОАО «Красногорский завод им. С.А.Зверева», г. Красногорск
a.zubko@zenit-kmz.ru

Увеличение сроков активного существования космической аппаратуры дистанционного зондирования Земли обуславливает актуальность обеспечения стойкости оптической системы аппаратуры к воздействию ионизирующих излучений космического пространства (ИИКП).

Воздействие ионизирующих излучений (ИИ) на оптические материалы приводит к деградации их характеристик, в частности к снижению коэффициента пропускания оптических стекол и, соответственно, к возрастанию их оптической плотности. Указанный эффект обусловлен образованием радиационно индуцированных центров окраски (ЦО) на дефектах структуры (ловушках) и их накоплением в объеме стекла. Эффект радиационного окрашивания стекол в наибольшей мере выражен в видимой части спектра.

В первом приближении, приращение спектральной оптической плотности пропорционально величине суммарной поглощенной дозы ИИ, но при длительном облучении становятся существенными эффекты релаксации радиационной окраски вследствие разрушения ЦО - термического обесцвечивания.

В существующей справочной литературе [1], [2] по радиационной устойчивости оптических стекол приведены данные как по их радиационному окрашиванию в зависимости от дозы при облучении гамма-излучением источника Co^{60} , так и по релаксации радиационной окраски в зависимости от времени после окончания облучения. Так как эффект радиационного окрашивания определяется суммарной поглощенной дозой и слабо зависит от вида воздействующего излучения, то справочные данные [1], [2] могут быть использованы для расчетов стойкости оптических стекол к воздействию ИИКП.

Важно отметить, что указанные справочные данные получены в результате облучения образцов стекол при высоких мощностях дозы и малых временах облучения, а для условий эксплуатации оптических систем космической аппаратуры являются типичными значительно меньшие мощности доз и значительно большие времена воздействия ИИ. Указанные различия достигают нескольких порядков по величине.

В работах [3], [4] проведено экспериментальное исследование влияния длительности воздействия гамма-излучения Co^{60} на радиационное окрашивание оптических стекол. Важность учета времени воздействия ИИ иллюстрируется рисунком 1, на котором для стекла БФ112 представлены величины приращений оптической плотности в зависимости от экспозиционной дозы Q гамма-излучения источника Co^{60} для различных мощностей дозы (или, соответственно, различных времен набора некоторой фиксированной дозы) и длины волны $\lambda=450$ нм, по

данным работы [4]. Как следует из рисунка 1, соответствующие приращения оптической плотности при этом могут различаться почти в 10 раз.

Учет эффектов обесцвечивания радиационно-индуцированной окраски стекол приводит к увеличению расчетного коэффициента

пропускания оптической системы и, соответственно, к увеличению расчетной величины ее

радиационной стойкости. В настоящем докладе обсуждаются основные положения методического обеспечения расчетов стойкости оптических систем к воздействию ИИКП с учетом эффектов обесцвечивания.

Характерной особенностью процесса пост-радиационного термического обесцвечивания является приблизительно линейная убывающая зависимость оптической плотности стекла от логарифма времени после облучения [5] стр. 264. Как показано в работе [6], такая зависимость может быть объяснена в модели непрерывного равновероятного распределения ЦО в некотором диапазоне величин энергий.

В работе [7] была использована указанная выше модель распределения ЦО и дифференциальное уравнение образования ЦО с учетом эффекта термического обесцвечивания

$$\frac{dn_{\tau}}{dt} = P \cdot \sigma \cdot (N_{\tau} - n_{\tau}) - \frac{1}{\tau} n_{\tau} \quad (1)$$

где $P=dQ/dt$ – мощность дозы ИИ, σ – сечение процесса образования ЦО, N_{τ} – концентрация ловушек с временем жизни τ , n_{τ} – концентрация ЦО с временем жизни τ .

Время жизни ЦО – τ связано с его энергией – ε соотношением

$$\tau = \tau_0 \exp\left(\frac{\varepsilon}{kT}\right) \quad (2)$$

где k – постоянная Больцмана, T – абсолютная температура.

В соответствии с [7], решение дифференциального уравнения (1) для процесса образования ЦО при воздействии ИИ в течение времени T_0 (при нулевых начальных условиях) с последующим пост-радиационным термическим обесцвечиванием может быть описано нижеследующим образом.

Введем обозначения

$$n_{\tau}(t) = \frac{1}{\ln\left(\frac{\tau_2}{\tau_1}\right)} \cdot \frac{N_0}{\frac{1}{\tau_1} + \tau} \cdot \left[1 - \exp\left(-\left(q + \frac{1}{\tau}\right)t\right)\right] \quad (3)$$

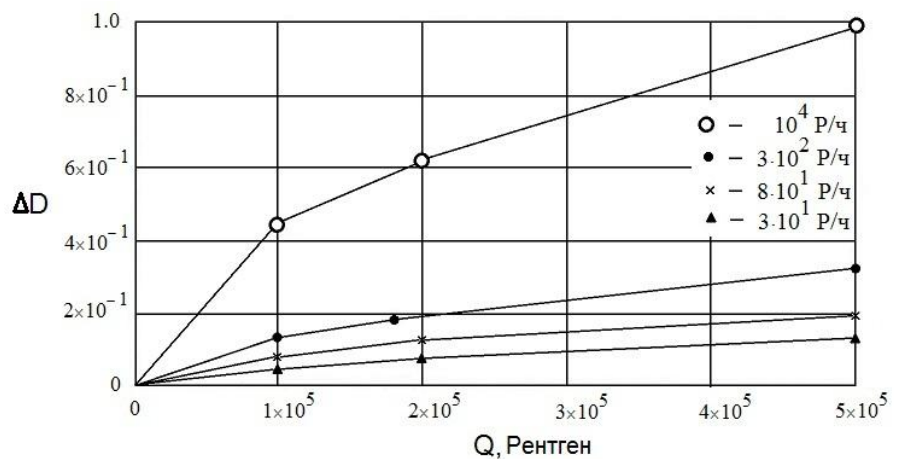


Рисунок 1. Зависимость приращения оптической плотности стекла БФ112 от дозы для различных величин мощности дозы и длины волн $\lambda=450$ нм.

$$\overline{n_{\tau}(t)} = \begin{cases} n_{\tau}(t) & \text{при } 0 \leq t \leq T_0 \\ n_{\tau}(T_0) \cdot \exp\left(-\frac{(t-T_0)}{\tau}\right) & \text{при } t > T_0 \end{cases} \quad (4)$$

где $q = P \cdot \sigma$, а N_0 – полная концентрация ловушек в стекле. Убывающая экспоненциальная зависимость от времени второго выражения в формуле (4) при $t > T_0$ описывает распад ЦО в процессе термического обесцвечивания.

Тогда полная концентрация ЦО будет описываться формулой:

$$n(t) = \int_{\tau_1}^{\tau_2} \overline{n_{\tau}(t)} dt \quad (5)$$

где τ_1 и τ_2 – границы интервала времен жизни ЦО, которые по формуле (2) соответствуют границам интервала энергий ЦО - ε_1 и ε_2 .

Соответствующее приращение спектральной оптической плотности стекла $\Delta D_{\lambda}(t)$ для некоторой длины волны λ пропорционально концентрации ЦО и задается выражением

$$\Delta D_{\lambda}(t) = K \cdot n(t) \quad (6)$$

На основании решения уравнения (1) в модели равновероятного распределения ЦО в некотором диапазоне энергий, в работе [7] была предложена методика расчетной оценки приращения оптической плотности оптической системы в зависимости от времени воздействия ИИКП.

Недостатками этой методики являются как исходно приближенный характер аналитических выражений, аппроксимирующих точное решение (6), так и отсутствие необходимых для этой методики справочных данных по величинам σ – сечениям процесса образования ЦО для используемой номенклатуры оптических стекол. В целом методика [7] дает только грубую оценку по порядку величины для эффектов влияния времени воздействия ИИКП.

На основе экспериментального исследования процессов радиационного окрашивания и релаксации радиационной окраски оптических стекол в зависимости от времени и мощности ИИ в работах [4], [8] был предложен инженерный метод расчетной оценки коэффициента пропускания оптических систем. Этот метод основан на графоаналитическом разложении временных зависимостей релаксации приращений оптической плотности облученных образцов, то есть на их представлении в виде суммы конечного числа экспоненциально убывающих со временем слагаемых. Данный метод включен в состав ряда отраслевых нормативных документов [9], [10].

К принципиальным достоинствам метода [4], [8] следует отнести простоту его реализации (без применения ПК) с возможностью использования существующих справочных материалов [1], [2] по радиационным свойствам стекол.

К ограничениям данного метода следует отнести тот факт, что в нем не учитываются эффекты насыщения в процессах образования ЦО, описываемых уравнением (1), т.е. отброшено слагаемое n_{τ} в скобке правой части (1). Пренебрежение эффектами насыщения может быть оправдано для малых величин доз, как это имеет место в условиях малой мощности дозы ИИКП. Однако такое приближение некорректно при анализе справочных данных [1], [2] полученных

при облучении образцов стекол до дозы $Q_0=5 \cdot 10^5 \text{P}$ и 10^6P соответственно (при мощности дозы $P_0 = 10^4 \text{P/ч}$), так как эффекты насыщения для оптических стекол становятся существенными для величин поглощенных доз начиная со значений порядка 10^5рад , что примерно соответствует экспозиционной дозе 10^5P (согласно [11] $1 \text{P} = 0,88 \text{рад}$ (по кремнию Si)).

Кроме того, в методе [4], [8] при получении количественных характеристик динамики ЦО из соответствующих справочных данных, радиационная кинетика образования и распада ЦО представляется конечным числом дискретных значений времен жизни - τ (и, в соответствии с формулой (1), конечным числом энергией ЦО - ε) без учета непрерывности распределения ЦО по энергиям.

Предлагаемая в настоящей работе методика основана на использовании справочных данных [1], [2] для определения параметров теоретической модели радиационной кинетики ЦО, описываемой формулами (1) - (6) и является дальнейшим развитием основной идеи метода [4], [8] в двух нижеследующих направлениях:

- учета эффектов насыщения в процессах образования ЦО;
- явного учета непрерывности и равновероятности распределения ЦО в некотором диапазоне величин энергий.

Предлагаемая методика предназначена для реализации на ПК. Приведенные далее результаты расчетов по данной методике получены при ее реализации в среде Mathcad 15.

На первом шаге методики процесс радиационного окрашивания образца выбранной из [1], [2] марки стекла приводился к условиям облучения с максимальной мощностью дозы $P_0 = 10^4 \text{P/ч}$ в течение соответствующего времени T_0 . Затем, этот процесс радиационного окрашивания вместе с последующей релаксацией радиационной окраски рассматривался как целостный последовательный процесс, то есть в полном соответствии со структурой реальной последовательности получения этих справочных данных.

Далее, для получения оценок величин параметров радиационной кинетики ЦО применялся метод наименьших квадратов (МНК) к аппроксимации такого процесса теоретической моделью, выраженной формулами (1) – (6). Важной частью предлагаемой методики является специальный выбор функционала ошибки для реализации МНК, что связано с неустойчивостью оценки МНК параметра τ_1 из-за сильной нелинейной зависимости выражения (6) от совокупности параметров модели.

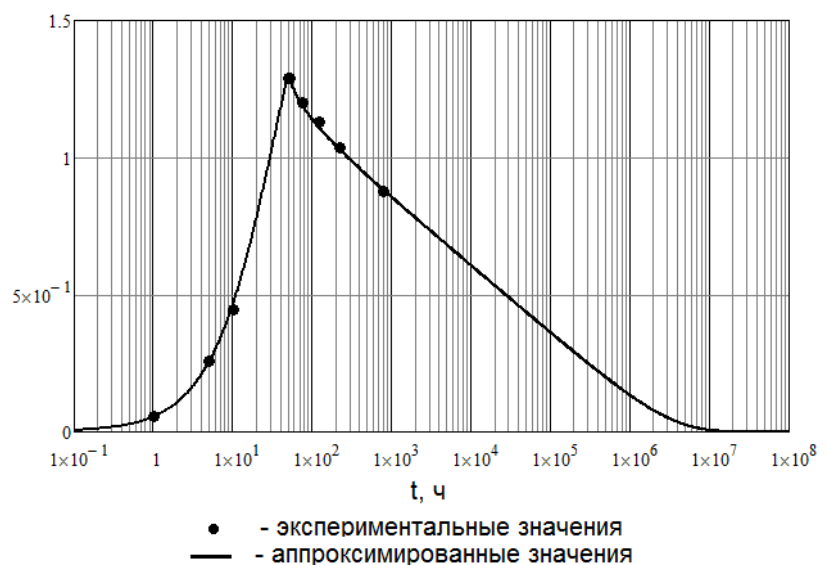


Рисунок 2. Справочные экспериментальные и аппроксимированные значения приращений оптической плотности стекла БК4 для длины волны $\lambda=560 \text{ нм}$.

Полученные таким образом значения параметров модели пересчитывались от мощности дозы P_0 ускоренных испытаний к средней мощности дозы ИИКП для выбранного оптического элемента в условиях эксплуатации. Затем по формулам (3) – (6) вычислялась временная зависимость приращения оптической плотности выбранной марки стекла в условиях эксплуатации.

Особенностями воздействия ИИКП являются изотропность излучения и значительная неравномерность распределения дозы излучения по глубине материала. Поэтому, при расчете величин средних мощностей поглощенных доз для элементов оптических систем необходимо учитывать не только защитные свойства конструкции аппаратуры, но и взаимное экранирование оптических элементов. Для этой цели может быть использована аналитическая методика расчета поглощенных доз работы [12].

Окончательно, исходя из полученных значений приращений оптической плотности оптических элементов, по стандартным соотношениям вычисляются как коэффициенты пропускания отдельных элементов, так и оптической системы в целом.

Результаты применения данной методики для стекла БК4, мощности дозы 1рад/ч и длины волны $\lambda=560$ нм приведены на рисунках 2 и 3.

На рисунке 2 представлены результаты МНК-аппроксимации справочных данных [1] для стекла БК4 теоретической зависимостью вида (6).

Из рисунка 3 видно, что при мощности дозы ИИ равной 1рад/ч и для времени $6 \cdot 10^4$ ч (что составляет примерно 7 лет) приращение оптической плотности без учета эффектов обесцвечивания и насыщения составляет примерно 0,40, а с учетом этих эффектов – 0,12, то есть в 3,3 раза меньше.

Полученные результаты позволяют сделать вывод об эффективности использования предлагаемой методики для проведения расчетных оценок снижения спектрального коэффициента пропускания оптических систем космической аппаратуры при воздействии ИИКП и длительных сроках активного существования.

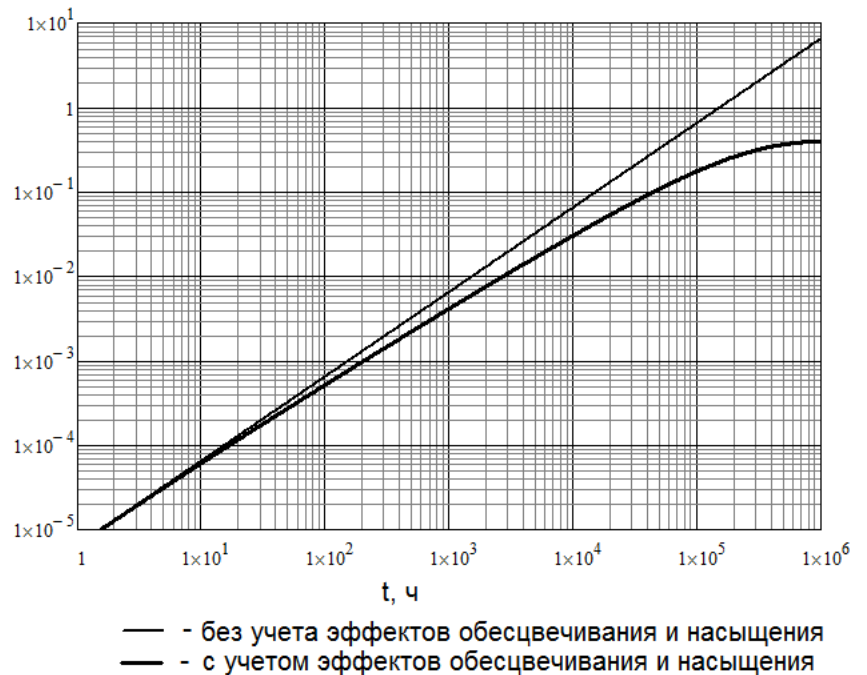


Рисунок 3. Графики приращения оптической плотности стекла БК4 для мощности дозы 1рад/ч и длины волны $\lambda=560$ нм как с учетом, так и без учета эффектов обесцвечивания и насыщения.

Литература

1. Руководящий технический материал РТМ 3-996-77 «Стекло оптическое бесцветное. Радиационно-оптическая устойчивость к гамма-излучению».
2. Руководящий технический материал РТМ 3-48-70 «Стекло оптическое серии 100. Радиационно-оптическая устойчивость к гамма-излучению».
3. Лалакин А.В. Исследование влияния времени воздействия гамма-излучения кобальта-60 на потемнение оптических стекол. В сб. Радиационная стойкость элементов и материалов оптоэлектронных систем. М., ЦНИИ информации, 1984 г., с 160-163.
4. А.В. Лалакин Методы расчета радиационной стойкости оптических сред и оптических систем. Дис. на соиск. уч. степ. кандидата технич. наук. М. 1987
5. В. И. Арбузов Основы радиационного оптического материаловедения.- СПб: СПбГУИТМО. 2008.
6. M. J. Treadaway, B.C. Passenheim, and B.D. Kitterer Radiation coloring and bleaching of glass. IEEE Transactions on Nuclear Science, NS-23, 6, 1820-1825
7. Влияние корпускулярных излучений на оптические материалы. в кн. Модель космического пространства (Модель космоса – 82). Под редакцией Вернова С. Н. В 3-х томах. Москва: Изд. МГУ, 1983. Том 2. с.553–578
8. Лалакин А.В. Методика расчета радиационной стойкости оптических систем при длительном воздействии ионизирующих излучений. В сб. Радиационная стойкость элементов и материалов оптоэлектронных систем. М., ЦНИИ информации, 1984 г., с 146-149.
9. РТМ В3-1655-84 Приборы оптические. Методы расчета радиационной стойкости.
10. РД В50-25645.320-86 Методические указания. Оценка радиационных повреждений элементов и технических устройств космического аппарата.
11. ОСТ 134-1034-2003 Методы испытаний и оценки стойкости бортовой радиоэлектронной аппаратуры космических аппаратов к воздействию электронного и протонного излучений космического пространства по дозовым эффектам.
12. Архипов С.А., Зубко А.В., Лалакин А.В. Аналитическая методика оценки радиационных нагрузок от ионизирующих излучений космического пространства на элементы космической аппаратуры дистанционного зондирования Земли. Сборник тезисов докладов научно-технической конференции «Гиперспектральные приборы и технологии». г. Красногорск 17-18 января 2013 г. с. 97-98

Влияние нестационарных тепловых полей на качество передачи изображения в оптической системе

Давыдов А.Н., Елизаров Д.А., Клебанов Я.М., Кирдина Л.Н., Козлов А.Н.,
Лившиц М.Ю., Лобан О.М.
ФГБОУ ВПО «СамГТУ», г. Самара
jklebanov@mail.ru

При разработке оптических систем высокого разрешения для оценки их качества необходимо проведение интегрированного термооптикомеханического анализа с учетом возникающих физических эффектов: перемещений и деформаций оптических деталей, изменения показателя преломления линз, поляризации света. Использование такой методологии позволяет избежать проектирования по последовательно обусловленным требованиям. В ней задачи теплопроводности, деформирования и передачи изображения решаются вместе, обеспечивая при этом заданные эксплуатационные показатели. Задачи теплопроводности включают вопросы создания и управления активными системами обеспечения температурного режима конструкции, а задачи оптики – регулирования (поднастройки) положения оптических деталей при эксплуатации.

Общей целью проведенных исследований явилось повышение качества передачи изображения. Выполнены работы по анализу процессов теплопроводности и деформирования элементов конструкции модулей целевой аппаратуры космических аппаратов в условиях нестационарного и неоднородного температурного поля и проверке их соответствия требованиям термоградиентной стабильности, разработке способов ее обеспечения.

В основе используемой методологии лежат численное решение задач теплопроводности и деформирования методом конечных элементов с использованием метода подмоделирования, а также создание численных оптических моделей объективов, перемещение точек оптических поверхностей в которых задаётся по результатам решения термодформационной задачи для всей размеростабильной несущей конструкции. Результаты работ включают процедуру численного анализа тепловых и деформационных полей элементов оптической системы, их тепловые и деформационные модели, данные расчёта температурных полей и термодформаций оптических элементов, процедуру численного анализа функции передачи модуляции оптической системы и графиков частотно-контрастной характеристики, отражающих влияние температурных полей на функцию передачи модуляции.

При проектировании изделий строятся тепловые модели как несущей конструкции, так и элементов оптической системы, описывающие геометрию оптических элементов, теплофизические свойства их материалов и учитывающие граничные условия теплового взаимодействия. Разработана новая система автоматического управления температурным полем размеростабильной несущей конструкции, обеспечивающая в условиях энергетических информационно-ресурсных и конструктивных ограничений необходимые температурные параметры. Применительно к конкретным конструкциям установлено, что наиболее эффективной

структурой системы автоматического управления температурным полем конструкции как объектом с распределенными параметрами является пропорционально-интегрально-дифференциальная структура.

Реализованы конечно-элементные деформационные модели элементов оптической системы, описывающие геометрию оптических элементов, механические свойства их материалов и учитывающие граничные условия механического взаимодействия.

При проектировании проводится теоретический анализ процесса фильтрации пространственных частот некогерентной изображающей оптической системы, а также влияния монохроматических aberrаций и функции пропускания зрачка на функцию передачи модуляции. Последние вычисления осуществляются на основе данных, определённых с использованием численной термомодеформационной модели. По результатам проведенного теоретического анализа разработан алгоритм вычисления функции передачи изображения, примененный при проектировании нескольких оптических систем. Результаты работы включают оптимальное для функции передачи модуляции положение плоскости наилучшего изображения в условиях различных термовоздействий.

Созданы и реализованы соответствующие макросы CAE ANSYS и программное обеспечение, автоматизирующее определение термовозмущений в конструкции, переход от данных конечно-элементного анализа перемещений узлов оптических поверхностей к их аппроксимации полиномами Цернике и вычисление оптических характеристик.

В качестве дальнейшей актуальной практической задачи, решение которой направлено на повышение качества передачи изображения, рассматривается создание методик и программных средств комплексной междисциплинарной оптимизации конструкции ОЭК с учётом термоградиентных и оптикомеханических критериев

Методика экспресс-оценки температурной расстраиваемости съемочной аппаратуры дистанционного зондирования Земли

Архипов С.А.

ОАО «Красногорский завод им. С.А. Зверева»

arhipof@zenit-kmz.ru

Одна из важнейших задач при проектировании съемочной аппаратуры (СА) – расчет влияния тепловых условий эксплуатации на температурный режим СА и ее выходные характеристики. Для корректного решения этой задачи расчетчику необходимо иметь:

- описание внешних тепловых потоков и условий теплообмена СА с окружающей средой,
- подробное описание оптической схемы и конструкции СА,
- временную диаграмму внутренних тепловыделений в электронных блоках и приводах СА,
- перечень выходных параметров СА и требования по их сохранности.

Однако, за исключением случаев, когда проводится модернизация СА и, соответственно, у расчетчика имеются данные по аналогичной, базовой СА, такого рода достоверная информация на начальной стадии проектирования отсутствует, что существенно усложняет и удлинняет процесс проектирования новой СА, влечет за собой необходимость разработки, изготовления и испытаний теплового макета СА.

В докладе предлагается методика, позволяющая провести ориентировочные экспресс-оценки температурной расстраиваемости СА и преодолеть указанные затруднения.

Методика построена на основе эмпирического обобщения характерных особенностей условий эксплуатации СА, выделения общих закономерностей схемных и конструкторских решений СА и основных выходных характеристик.

Отметим наиболее существенные черты типичной конструкции СА и условий ее эксплуатации в составе КА, которые определяют особенности температурного режима СА и дают возможность построить упрощенные тепловые модели СА:

- конструкция СА обычно представляет собой оболочку - корпус, внутри которого закреплен объектив, в фокальной плоскости объектива установлено фото приёмное устройство (ФПУ), возможно также исполнение несущей конструкции в форме рамы (фермы), на которой через переходные конструктивные элементы (кронштейны) закреплены узлы оптических элементов;
- периодический характер внешних тепловых воздействий и внутренних тепловыделений основной период определяется орбитой и для ССО составляет ~ 1,5 часа;
- наличие крышки перед входным отверстием СА, открывающейся только на время съемки,

- близость средней температуры СА к температуре, 20°C, при которой СА настраивалась на Земле;
- достаточно узкий температурный диапазон изменения температур СА не более нескольких десятков градусов, что обуславливает линейность тепловой модели;
- при проектировании СА за счет схемотехнических и конструктивных решений разработчик стремится к оптимизации температурного режима СА и снижению температурной расстраиваемости СА (малые искажения волнового фронта) поэтому в качестве меры температурной расстраиваемости возможно использовать – расфокусировку – первый член в разложении искаженного волнового фронта.

С учетом перечисленных допущений на начальной стадии проектирования СА актуальны следующие модельные ситуации:

- определение средней температуры СА за виток;
- периодическое изменение внешних тепловых потоков;
- открытие крышки;
- резкое изменение внешней оболочки СА;
- включение ФПУ.

Для каждой ситуации (задачи) предлагаются упрощенные модели СА, позволяющие оценить зависимость термодифракции СА от конструктивных характеристик СА и параметров внешних воздействий, выдать рекомендации конструктору по оптимизации температурного режима. Т.о. экспресс-методика сводится к последовательному решению задач, описание которых сведено в таблицу 1.

Таблица 1

Задача	Тепловая модель СА	Модель термодифракции	Возможные рекомендации конструктору СА
1) Оценка средней температуры СА за виток	Баланс лучистых потоков	Статическая	Выбор α/ϵ Атермализация звеньев
2) Оценка влияния периодических внешних лучистых потоков на термодифракцию	Уравнения теплового баланса СА	Динамическая	Выбор материалов Компенсация градиентов температур локальным нагревом
3) Оценка времени открытия крышки на термодифракцию	Уравнения теплового баланса оптики	Статическая + Динамическая	Атермализация звеньев Выбор материалов оптики Компенсация градиентов температур локальным нагревом

4) Оценка времени включения ФПУ на величину термодефокусировки	Уравнения теплового баланса СА	Статическая + Динамическая	Атермализация звеньев Выбор материалов Сброс тепловыделений посредством тепловых труб на корпус/радиаторы Компенсация градиентов температур локальным нагревом
5) Расчет изменения термодефокусировки СА после резкого изменения температуры окружающей среды	Уравнения теплового баланса СА	Статическая + Динамическая	Атермализация звеньев Выбор материалов Тепловая изоляция Компенсация градиентов температур локальным нагревом

В качестве обобщённой характеристики температурной расстраиваемости СА предложено использовать временную функцию (кривую) термодефокусировки СА после резкого изменения температуры окружающей среды. Введены понятия статической и динамической термодефокусировки, из которых складывается кривая обобщенной температурной расстраиваемости СА.

Оценка с помощью предложенной экспресс-методики термодефокусировки изделия 17В311 показала удовлетворительное соответствие экспериментальным данным.

Предварительный анализ термических нагрузок методом конечных элементов

Карфидов А.О., Свирин В.В., Миронов А.И., Королев П.А.
ЗАО «Центр прикладной физики МГТУ им Н.Э.Баумана», г.Москва
a.korf@mail.ru

В данной работе будут рассмотрены возможности предварительного расчета термических деформаций при разработке изделия с применением метода конечных элементов в системе автоматизированного проектирования (САПР).

При эксплуатации опытного образца оптического прибора на начальном этапе происходят разъюстировки. Изготовление оптических элементов в приборостроении требует повышенной точности. Так, например, отклонение в 0,01 мм может привести к ухудшению сигнала от изначально заданных параметров. Эти отклонения могут быть вызваны:

- термическими деформациями, неучтенными при разработке;
- нарушением режима термообработки;
- дефектами работы фотоприемного устройства;
- прочими условиями.

В интерферометрах очень важно постоянство характеристик в широком диапазоне температур, и как следствие постоянство геометрических размеров. Небольшое отклонение способно снизить качество сигнала на порядок, а то и вовсе свести его к минимуму, а для оптической схемы важна точность угловой установки – 2".

Для оценки возможных отклонений проведен расчет термических деформаций узлов крепления основных оптических компонентов, методом конечных элементов, по результатам которого выявлены возможные отклонения деталей в рабочем режиме. Метод позволяет заданием граничных условий, свойств материалов и способов их крепления, указать изменение температуры и как следствие проводить оценочные расчеты количественных характеристик геометрических искажений конструкции, вызываемых эксплуатацией прибора в различных климатических условиях.

Для анализа приняты следующие допущения: рассматривается вариант равномерного нагрева; в реальных условиях может происходить направленный нагрев в определенной области, например распространяющийся только от одной из стенок прибора. Такой вариант, как многомерный, в условиях длительности и высокой нагрузки на вычислительный комплекс, не рассматривался. В расчетах принята изотропность свойств материала и отсутствие напряженно деформированного состояния.

В результате работы проведена оценка геометрических искажений ключевых узлов, в которых установлены оптические компоненты. Вследствие расчета произведена замена материалов в отдельных элементах для снижения искажений геометрии в перепаде температур и другие технические решения.

По итогам проведения подобного рода расчетов возможно на этапе проектирования избежать необходимости внесения изменений в конструкцию после ее изготовления и проведения первичных испытаний. Благодаря современным способам проектирования есть возможность широко анализировать конструкцию изделия на возможные дефекты в работе прибора. При этом снижаются материальные и временные затраты на изготовление опытных образцов.

В перспективе планируется проводить более широкий анализ деформаций при разработке устройств, а также расширить применение метода конечных элементов в проектировании, и проводить с его помощью частотный анализ для конструкций.

Термоабберационный анализ объектива для ИК области спектра для аппаратуры ИКФС-2

Вельтищева В.В., Кудрявцева Н.В., Морозов С.А., Тышкунов Н.В.
ОАО «Красногорский завод им. С.А. Зверева», г. Красногорск
v.veltishcheva@zenit-kmz.ru

При проектировании оптико-электронной аппаратуры дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) необходимо учитывать колебания температуры компонентов оптико-механической системы и атмосферного давления, которые приводят к изменению положения и размеров изображения, и, следовательно, к появлению термооптической аберрации положения изображения и термооптической аберрации увеличения.

Целью проведённого термоабберационного анализа объектива являлась оценка влияния деформаций оптических элементов и конструкции, изменений воздушных промежутков, коэффициента преломления, вызванных колебаниями температуры объектива при эксплуатации, на качество изображения.

Объектив входит в состав аппаратуры ИКФС-2 и работает в инфракрасном (ИК) диапазоне длин волн 5-14 мкм.

Анализ качества изображения данного объектива осложняется тем, что собственное излучение элементов конструкции в диапазоне (8-14) мкм создает «паразитную» засветку фокальной плоскости.

Расчет был проведен для следующих параметров: температура окружающей среды- 10-20°C, давление- 10^{-2} атм, амплитуда виброускорения- 10g.

Расчет изменения конструктивных параметров производился при помощи аналитической методики расчета термоаббераций. Проверочный расчет выполнен при помощи ANSYS Mechanical v.14.5, позволяющей смоделировать физические процессы (нагрузка, изменение температуры и/или давления) в оптико-механических приборах и системах, что позволило учесть также вибрационные нагрузки. Далее полученные результаты расчетов были обработаны в Zemax 13 Release 2.

В результате работы рассчитаны оптические характеристики объектива с учетом влияния изменения температуры и давления. Данные полученные в результате расчета вручную приведены в таблицах 2 и 3.

Параметры и схема объектива приведены в таблице 1 и на рисунке 1 соответственно.

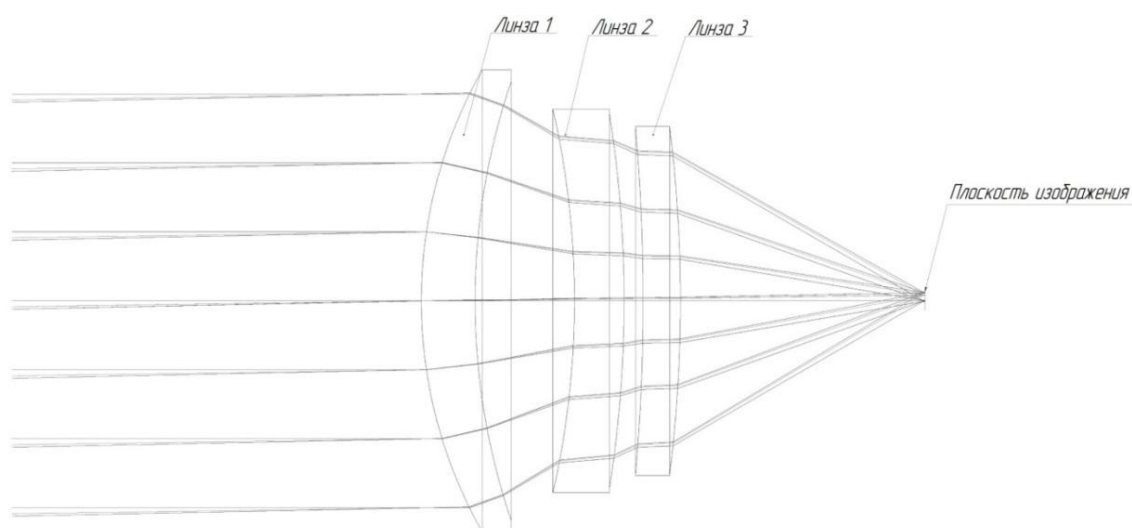


Рисунок 1 – Схема объектива

Таблица 1 – Параметры объектива

Номер поверхности	Радиус, мм	D, мм	Марка стекла
1	56,494	6,5	Германий
2	82,738	12	Воздух
3	-104,266	6	Селенид цинка
4	-144,212	2,3	Воздух
5	-237,598	4,5	Германий
6	-171,181	29,54	Воздух
Фокусное расстояние, мм	Дифрагменное число	Угловое поле	Спектральный диапазон, мкм
50	1:1	2°17'30"	5-14

Таблица 2- Влияние изменений окружающей среды на фокус и задний отрезок объектива

Параметры среды	$\Delta f'$, мм	$\Delta S'$, мм
P= 76 мм рт. ст. $t^{\circ}=10^{\circ}\text{C}$	0,0598964	0,06182987
P= 76 мм рт. ст. $t^{\circ}=15^{\circ}\text{C}$	0,0299273	0,03024817
P= 76 мм рт. ст. $t^{\circ}=20^{\circ}\text{C}$	0	0

Таблица 3 – Влияние изменений окружающей среды на радиус кружка рассеяния объектива

Параметры среды	Радиус кружка рассеяния без уточнения положения ПНИ, мкм	Радиус кружка рассеяния с уточнением положения ПНИ, мкм
P= 76 мм рт. ст., $t^0=10^0\text{C}$	149,25	85,85
P= 76 мм рт. ст. $t^0=15^0\text{C}$	150,05	85,86
P= 76 мм рт. ст. $t^0=20^0\text{C}$	143,51	85,58

Анализ полученных результатов позволил оценить влияние деформаций оптических элементов и конструкции на изменение параметров объектива и его качество изображения, а так же подтвердил необходимость съема тепла с фотоприемного устройства.

Секция
Технологические проблемы
размерной стабильности
и формообразования

Эффективность процесса высококачественной обработки деталей из неметаллических материалов для оптических и оптико-электронных приборов

Филатов Ю.Д., Ковалев С.В.

Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины;

г. Киев, Украина

filatov@ism.kiev.ua

Эффективность финишной алмазно-абразивной обработки высококачественных деталей из неметаллических материалов (НМ) определяется производительностью съема обрабатываемого материала и качеством обработанных поверхностей. При исследовании контактного взаимодействия инструмента и обрабатываемой детали в процессе финишной алмазно-абразивной обработки НМ установлены зависимости указанных параметров эффективности от длины L_t пути трения элемента рабочего слоя инструмента по обрабатываемой поверхности детали, коэффициента теплопроводности λ обрабатываемого материала, температуры T , номинального давления p_a прижима инструмента к обрабатываемой поверхности, скорости u относительного перемещения инструмента и детали, площади S_k контакта инструмента и детали, которые выражаются через безразмерный параметр $\theta = \frac{\lambda T L_t}{p_a u S_k}$.

Зависимость производительности полирования различных видов материалов из технического и оптического стекла различных марок (хрусталь, ТК116, ТК21, БФ12, ТФ101, ТФ102, ТФ110, К8) от параметра θ аппроксимирована функцией $Q(\theta) = Q_0 \exp(-\gamma \cdot \theta)$ (величины λ , T , p_a и u представлены в системе СИ, коэффициент теплопроводности рассчитан по химическому составу согласно методике Русса, $Q_0 = 0,55$ мкм/мин., $\gamma = 1,13$, погрешность расчета не превышает 30 %).

Качество обработки, характеризуемое параметрами микропрофиля обработанной поверхности, также зависит от параметра θ . При полировании оптического стекла марок ТФ110, ТК21, БФ12, ТФ101, ТФ102, ТК116, К8 и хрустали шероховатость поверхностей оценивается параметром $Ra \approx 0,01$ мкм и практически не зависит от их физико-механических свойств. При полировании оптической керамики, оптических кристаллов и других неметаллических материалов возрастание параметра Ra при увеличении параметра θ объясняется тем, что при обработке материалов с большей теплопроводностью (большим значением параметра θ) согласно основному уравнению физико-статистической модели образования и удаления частиц шлама $\xi_m U^* = \lambda T$ (U^* – энергия переноса, ξ_m – коэффициент массового износа) возрастает ξ_m , то есть размеры частиц шлама увеличиваются и, соответственно, ухудшается шероховатость. Физический смысл безразмерного параметра –коэффициента переноса θ состоит в том, что он показывает какая часть механической энергии W_m , затрачиваемой на процесс обработки, переносится частицами шлама при их удалении с обрабатываемой

поверхности, а его отношение к коэффициенту трения k_t может быть выражено как $\frac{\theta}{k_t} = \frac{U_{\Sigma}^*}{W_m}$ (U_{Σ}^* – полная энергия переноса). При его увеличении увеличивается энергия переноса и уменьшается энергия диспергирования, что приводит к уменьшению производительности съема обрабатываемого материала и ухудшению качества обработанной поверхности.

Покрyтия из карбида кремния, полученные пиролизом ММС, на реакционно-связанном карбиде кремния

Тимофеев А.Н., Богачев Е.А., Лахин А.В., Ларионов Н.В.

ОАО «Композит» г. Королев

Larionov86@bk.ru

Бабаянц Г.И., Бабаянц К.Г.

ООО «Керамические технологии» г. Троицк

Одной из ключевых проблем при создании зеркал из реакционно-связанного карбида кремния для оптических блоков телескопов космического базирования является трудность в достижении шероховатости оптической поверхности, позволяющей работать на длинах волн ниже ИК-диапазона. Причиной этого является гетерогенная структура реакционно-связанного карбида кремния, состоящего из карбида кремния и кремния. Газофазные покрытия из карбида кремния также находят применения и в других областях техники.

Нанесение на предварительно обработанную оптическую поверхность такого зеркала слоя монофазного карбида кремния газофазным методом и последующая его финишная обработка позволяют получить шероховатость, обеспечивающую его работу на длинах волн в диапазоне от ИК и ниже, включая ультрафиолет.

В работе приведены данные о свойствах полированных SiC-покрытий на поверхности реакционно-связанного карбида кремния, полученные методами оптической, сканирующей и атомно-силовой микроскопии. Показано, что высокое качество оптической поверхности требует совпадения коэффициентов термического расширения SiC-покрытия и спеченной SiC-подложки, особенно с учетом наблюдаемой небольшой преимущественной ориентации кристаллической структуры покрытий. Использование монометилсилана (ММС) в качестве источника низкотемпературного нанокристаллического CVD-SiC позволяет производить обработку заготовок из реакционно-связанного карбида кремния практически без ограничения размеров будущего зеркала космического базирования.

Изготовление облегченных сканирующих зеркал из бериллия для ИК аппаратуры космического базирования

Сизенев В.С., Струля И.Л.
Институт бериллия ОАО «Композит»
stroulea@yandex.ru

В силу удачного сочетания физико-механических и технологических характеристик бериллий является одним из лучших материалов для создания облегченных оптических зеркал. Низкая плотность в сочетании с высоким модулем упругости, а так же возможность прецизионной механической обработки (тонкостенные элементы, корпусные элементы с высокой степенью облегчения, резьбы) позволяют создавать эффективные конструкции облегченной оптики.

Существуют, однако, определенные трудности создания оптических поверхностей на бериллиевых зеркалах. Данная проблема может решаться либо нанесением на бериллиевые корпуса специальных (конструкционных) покрытий из материалов пригодных для традиционной оптической обработки либо совершенствованием технологий полировки непосредственно бериллия. Оба подхода имеют недостатки. При использовании конструкционных покрытий невозможно добиться полного согласования по уровням температурного коэффициента линейного расширения (ТКЛР), что приводит к снижению размерной стабильности. Полировка же непосредственно бериллия имеет ограничения по достигаемой шероховатости оптики (обычно не лучше 50\AA по параметру R_q) и не позволяет использовать существующие методы получения асферических поверхностей (типа технологий автоматизированной полировки доводки – АПД).

Для оптики ИК диапазона рабочие поверхности с шероховатостью R_q на уровне 50\AA являются приемлемыми, кроме этого при длинах волн более $3\div 4$ мкм оптически обработанный бериллий демонстрирует высокие значения коэффициента зеркального отражения (КЗО), что позволяет не использовать дополнительные тонкопленочные покрытия. К сканирующим зеркалам ИК аппаратуры, которые, как правило, являются плоскими, предъявляются повышенные требования по геометрической стабильности и в этом случае применение конструкционных покрытий является нежелательным. Таким образом облегченные зеркала, изготавливаемые с использованием технологий получения оптических поверхностей непосредственно на бериллии, могут с успехом применяться при создании сканирующих устройств космической ИК аппаратуры.

Сканирующие зеркала практически всегда имеют некруглую форму – эллипс, овал, многогранник и тому подобное. При обработке оптических элементов такой конфигурации возникают дополнительные сложности. В случае мелких деталей возможно формирование многоэлементных технологических блоков, что проблему снимает. Крупные детали приходится каким то образом дополнять до круглой формы. Существующий в институте бериллия ОАО «Композит» опыт изготовления бериллиевых зеркал показывает, что стандартный подход, заключающийся в формировании округлой технологической сборки с

использованием вспомогательных деталей – «паразиток» не приводит желаемым результатам по точности получаемой оптической поверхности.

Для решения описанной проблемы предложен и экспериментально исследуется подход, заключающийся в том, что механическая обработка и дальнейшая оптическая полировка производятся на специально спроектированной круглой заготовке (рисунок 1), а окончательное получение деталей с требуемым внешним контуром осуществляется с использованием методов прецизионной электроэрозии.

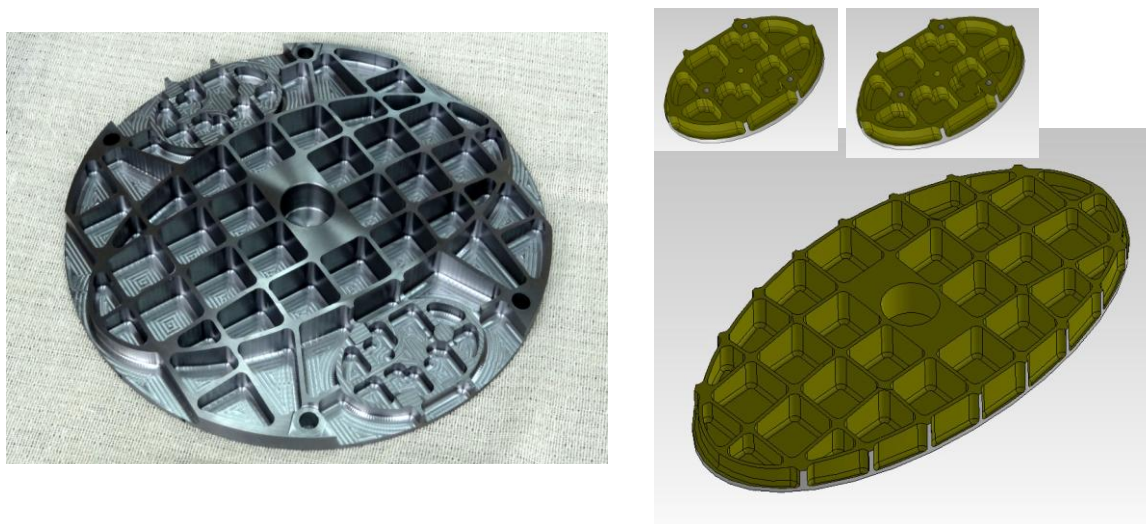


Рисунок 1. Облегченная заготовка круглой формы перед оптической обработкой и детали, получаемые после окончательной обработки контуров.

В настоящее время производится изготовление и исследование опытных образцов облегченных сканирующих зеркал с целью определения достижимых параметров точности оптической поверхности и геометрической стабильности

Технология изготовления высокоточных крупногабаритных облегченных асферических зеркал с высокой стабильностью формы поверхности

Абдулкадыров М.А., Белоусов С.П., Патрикеев, В.Е. Семенов А.П.,
Шаров Ю.А.

ОАО «Лыткаринский завод оптического стекла», г. Лыткарино
laastro-am@lzos.ru

В ОАО ЛЗОС за последние два десятилетия разработаны компьютерно-управляемые методы обработки крупногабаритной астрономической и космической оптики, которые позволили изготовить зеркала для крупных российских и зарубежных телескопов. Российские проекты - «Стажер» (главное зеркало 3.12 м), «Персона», «Берет», «Карат», «Зеркало ДС», зарубежные проекты - сеть 17-ти телескопов LGOGT (Las Cumbres Observatory Global Telescope Network) с диаметром главных зеркал 1 м и вторичных диаметром 345 мм, телескоп TNT (Thai National telescope, Australia – Thailand) с главным зеркалом диаметром 2.4 м, зеркала телескопа DOT ARIES (Devasthal Optical Telescope, DOT, for Aryabhata Research Institute of Observational Sciences, ARIES) с главным зеркалом диаметром 3.7 м и вторичным 980 мм, главное и вторичное зеркала обзорных телескопов VST (VLT Survey Telescope, 2.6 м, 0.9 м) и VISTA (Visible and Infrared Survey Telescope for Astronomy, 4 м и 1.2 м). Зеркала этих телескопов имеют значительную асферичность и высокую апертуру, что создает существенные трудности не только при обработке данных зеркал, но и при их контроле.

ОАО ЛЗОС с успехом использует Астроситалл[®] для изготовления монолитных, облегченных, тонких и составных сегментированных зеркал. Точность изготовления геометрической структуры достигает величины 20 мкм на диаметре до 4000 мм.

Для проверки высокой стабильности оптических параметров, полученных на зеркале из Астроситалла, необходима система разгрузки, обеспечивающая однозначность формы поверхности в процессе обработки и средства контроля, обеспечивающие достоверность оптического контроля.

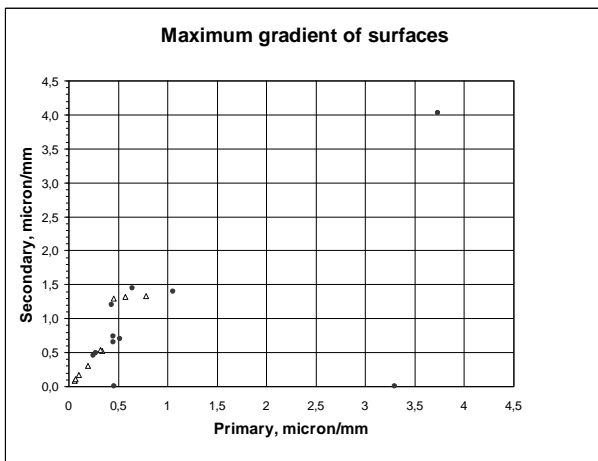
Как на стадии шлифования, так и на стадии полирования, и особенно на этапе финишной доводки зеркала, оно базируется либо на штатной разгрузке, на которой будет работать в телескопе, либо на мембранно-пневматической технологической разгрузке. Так, например, зеркало TNT диаметром 2.4 м обрабатывалось на штатной механической разгрузке, а зеркало VST диаметром 2.6 м на мембранно-пневматической. И в том и в другом случае было получено практически дифракционное качество изображения и выявлена высокая стабильность формы поверхности в процессе их изготовления.

Для создания управляющей программы обработки рабочей поверхности на стадии шлифования необходима информация о топографии поверхности. Ее можно получить тремя разными способами.

- для деталей диаметром до 1400 мм механическим способом с помощью 6-координатной измерительной машины КИМ-1400, российского производства, дающей точность отклонений от требуемой асферической поверхности в 2-3 мкм;
- для деталей любых размеров, выпуклых и вогнутых, но осесимметричных, применим метод трехточечного линейного сферометра, который успешно используется в настоящее время;
- для деталей произвольной формы, на стадии шлифования может быть использован ИК-интерферометр в сочетании с зеркальным корректором волнового фронта. Зеркальный корректор для ИК-диапазона ($\lambda=10.6$ мкм) использовался для автоматизированной асферизации главных зеркал проектов VST и VISTA.

Для контроля вогнутых асферических поверхностей в видимом диапазоне на этапе полирования используются линзовые или зеркально-линзовые корректоры волнового фронта или ДОЭ-корректоры (CGH-корректоры-Computer Generated Hologram) с CGH-имитаторами зеркала. Причем CGH-имитаторы зеркала позволяют проконтролировать и линзовый корректор волнового фронта. Такой перекрестный контроль оптической поверхности позволяет избежать ошибок при изготовлении зеркала и получить правильные значения вершинного радиуса и эксцентриситета рабочей поверхности. При этом выполняются измерения радиуса обрабатываемой поверхности с лазерным трекером. Такие методы позволили получить высокоточные зеркала, которые сейчас успешно функционируют в действующих телескопах, подтверждая высокую стабильность формы поверхности в процессе эксплуатации.

. На рисунке представлен график максимального градиента асферичности в мкм/мм для главного (ось абсцисс) и вторичного (ось ординат) зеркал телескопов:



Градиент асферичности для зеркал ряда телескопов

треугольники – ряд зарубежных проектов по изготовлению оптики телескопов. Кружками обозначены ряд выполненных в ОАО ЛЗОС проектов по изготовлению оптики различных телескопов, в основном в последнее время. Точки, лежащие на оси абсцисс – не изготавливали вторичное зеркало для данного проекта – только главное зеркало. Как видно из данного графика, комплект оптики телескопа VISTA (3.74; 4.02) по сложности изготовления, по градиенту асферичности, существенно превосходит все предыдущие изготовленные главные и вторичные зеркала. Тем самым подтверждена возможность получения зеркал из Астроситалла практически дифракционного качества с высокой стабильностью формы астрозеркал в процессе длительной эксплуатации.

треугольники – ряд зарубежных проектов по изготовлению оптики телескопов. Кружками обозначены ряд выполненных в ОАО ЛЗОС проектов по изготовлению оптики различных телескопов, в основном в последнее время. Точки, лежащие на оси абсцисс – не изготавливали вторичное зеркало для данного проекта – только главное зеркало. Как видно из данного графика, комплект оптики телескопа VISTA (3.74; 4.02) по сложности изготовления, по градиенту асферичности, существенно превосходит все предыдущие

Исследование размерной однородности и морфологических характеристик микропорошков природного и синтетического алмаза

Петасюк Г.А.

Институт сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля НАН Украины,
г. Киев, Украина

Микропорошки синтетического алмаза (СА) давно и успешно используются при механической обработке (шлифование, полирование, доводка) деталей оптических систем и приборов. Реже для этих целей применяются микропорошки природного алмаза (ПА). Нами проводилось сравнительное исследование размерной однородности и морфометрических характеристик микропорошков природного и синтетического алмаза. Цель такого исследования состояла в информационном обеспечении более широкого внедрения в эту сферу микропорошков ПА.

В настоящее время для автоматизированной диагностики размерных, геометрических и морфологических (совокупно морфометрических) характеристик абразивных порошков применяются современные приборы, основанные на компьютерных технологиях и цифровой обработке изображений [1, 2]. Перечень морфометрических характеристик, обычно измеряемых подобными приборами, включает: минимальный (F_{min}) и максимальный (F_{max}) диаметры Фере, форм-фактор округлости фактической проекции зерна (f_a), эллиптичность (E), Фере-удлинение (F_e), аналог коэффициента формы по ГОСТ 9206-80), шероховатость зерен (Rg), эквивалентный диаметр зерна (d_3), общая площадь проекции зерна (A_t) и доля светлой ее части (A_{lg}), периметр истинного изображения (p_r), периметр выпуклого изображения (p_{conv}).

Таблица – Морфометрические характеристик исследуемых микропорошков, их средние значения (с. з.) и показатели размерной однородности (р. о.)

Название характеристики	АСМ 40/28		АСМ 40/28		АМ 40/28		АСМ 28/20		АМ 28/20	
	с. з.	р. о.	с. з.	р. о.	с. з.	р. о.	с. з.	р. о.	с. з.	р. о.
f_c	1,32	0,6963	1,32	0,7071	1,34	0,6532	1,46	0,5702	1,38	0,6254
F_e	1,42	0,5251	1,40	0,5098	1,48	0,2836	1,56	0,4387	1,48	0,4848
Rg	1,0546	0,7202	1,0539	0,7483	1,0539	0,3385	1,0686	0,6574	1,0606	0,7159
d_c , мкм	32,8	0,6742	29,98	0,6494	32,0	0,7806	22,0	0,5105	22,4	0,5917
d_3 , мкм	30,6	0,6638	28,02	0,6272	29,7	0,6957	20,0	0,5420	20,7	0,5993
A_t , мкм ²	0757	0,4707	637,2	0,5290	710	0,6619	0335	0,3015	0351	0,4519
p , мкм	110,9	0,6419	101,2	0,6746	108,3	0,5343	76,7	0,5186	77,0	0,5752
a	5,16		4,74		5,30		5,63		5,31	

На основании этих характеристик расчетным путем дополнительно определялись также удельный периметр проекции зерна ($P_{уд}$), средний размер зерна (d_c), коэффициент уплощения зерен ($K_{упл}$), количество режущих кромок зерен и среднее значение угла их заострения, внешняя удельная поверхность порошка, число зерен в одном карате. Более подробное описание сути этих характеристик имеется в работе [3]. Проводили также испытания на абразивную способность.

Исследовались микропорошки СА и ПА различных зернистостей и производителей. Исследовались также микропорошки природного алмаза с включением лонсдейлитовой фазы, которые обладают повышенной абразивной способностью. Некоторые из полученных результатов приведены в таблице. Полученная информация может быть использована для обоснования выбора микропорошков, сравнительной оценки их качества, а также при теоретических исследованиях процессов алмазно-абразивной обработки деталей оптических систем и приборов.

Литература

1. List E., Frenzel J., Vollstaedt H. A new system for single particle strength testing of grinding powders // *Industrial Diamond Review*. – 2006. – № 1. – P. 42–47.
2. Eric Pirard. The cutting edge of superabrasives quality control // *Industrial Diamond Review*. – 2003. – №3. – p 49–50.
3. М. Н. Сафонова, Г. А. Петасюк, А. С. Сыромятникова. Компьютерно-аналитические методы диагностики эксплуатационных характеристик алмазных порошков и композиционных материалов на их основе. – Новосибирск: Из-во СО РАН. – 2013. – 222 с.

Обеспечение эксплуатационной стабильности керамических инструментов

Кузин В.В., Федоров М.Ю., Федоров С.Ю.
МГТУ «СТАНКИН», г. Москва
kyzena@post.ru

Повышение эксплуатационной стабильности керамических инструментов традиционно имеет особую актуальность [1]. Эти инструменты, обеспечивающие высокую технико-экономическую эффективность обработки заготовок из разных конструкционных материалов, оказываются практически невостребованными в реальном производстве [2]. Считается, что основной причиной этого положения является высокая вероятность непрогнозируемых отказов керамических инструментов из-за недостаточной прочности керамики [3]. Однако это объяснение является очень упрощенным и, более того, до настоящего времени экспериментально не подтверждена однозначная связь прочности инструментальной керамики с эксплуатационными показателями инструментов.

Целью настоящей работы является выявление причин недостаточной эксплуатационной стабильности керамических инструментов.

На основании анализа свойств инструментальной керамики, технологии изготовления и эксплуатационных показателей инструментов из разных керамических материалов установлено следующее. Неудовлетворительная эксплуатационная стабильность керамических инструментов определяется следующим комплексом факторов: отсутствуют научно-обоснованные требования к свойствам инструментальной керамики; методы усовершенствования этих материалов ориентированы, главным образом, на улучшение их объемных свойств; не уделяется должного внимания изучению состояния поверхностного слоя при эксплуатации. Эти проблемные вопросы связаны с тем, что многие из традиционных методов совершенствования керамических материалов оказываются неэффективными для керамических инструментов. Например, методы торможения трещин на этапе их докритического роста в условиях крайне высоких термомеханических нагрузок не способны предотвратить интенсивное развитие и последующее разрушение керамических инструментов.

Для режущей части керамических инструментов характерны следующие виды повреждений: износ, микроскалывание и разрушение (рисунок). С одной стороны, на характер износа и разрушения этих инструментов оказывают влияние абразивные, адгезионно-усталостные, коррозионно-окислительные и диффузионные процессы при резании. Их действие направлено, главным образом, на межзеренные границы в керамике. С другой стороны, повышенная нестабильность процесса резания формирует в поверхностном слое керамических инструментов крайне сложное напряженно-деформированное состояние, создающее благоприятные условия для зарождения и накопления структурных дефектов. В этих условиях интенсифицируется разрушение инструментов, которое происходит в области малых упругих деформаций в результате критического роста существующих трещин, когда механические и термические напряжения превышают некоторую критическую величину. Совокупность этих

процессов, сопровождающая развитие трещин и микросколы керамики, играет крайне негативную роль в механизме внезапных отказов инструментов. В этой связи для керамических инструментов особое значение приобретает структура и свойства поверхностного слоя, а также их воспроизводимость. Для решения этой задачи целесообразно уделить особое внимание исследованиям напряженно-деформированного состояния керамики и серийному производству инструментов.

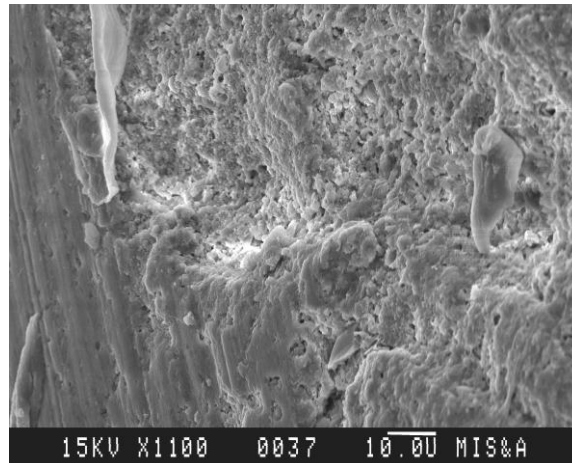


Рис. Микрофотография задней поверхности режущего инструмента из нитридной керамики РКС22

Опыт эксплуатации керамических инструментов позволяет утверждать, что они являются очень требовательными к правильному назначению режимов резания, выбору критерия износа и их конструктивному исполнению. Отсутствие научно-обоснованных рекомендаций по выбору геометрических параметров и назначению режимов резания приводит к тому, что керамические инструменты эксплуатируются в неоптимальных условиях. Это формирует дополнительный фактор эксплуатационной нестабильности керамических инструментов и сужает область их рационального применения. Поэтому особое внимание заслуживает вопрос разработки специальной методики назначения рациональных режимов резания.

Литература

1. Григорьев С. Н., Кузин В. В. Перспективы применения инструментов с керамическими режущими пластинами в современной металлообработке // Стекло и керамика. 2011. № 8. С. 17–22.
2. Кузин В.В. Повышение эксплуатационной стабильности режущих инструментов из нитридной керамики за счет оптимизации условий их заточки / Вестник машиностроения. 2003. № 12. С. 41 – 45.
3. Волосова М. А., Кузин В. В. Закономерности изнашивания режущих пластин из оксидной и нитридной керамики // Металловедение и термическая обработка. 2012. № 1. С. 40–46.

Соотношение между высотными параметрами шероховатости как показатель затратности процесса обработки

Лавриненко В.И., Проц Л.А.

Институт сверхтвердых материалов им. В.Н.Бакуля НАН Украины, г. Киев,
Украина, ceramic@ism.kiev.ua

Институт электронной физики НАН Украины, Ужгород, Украина laprots@mailru

Наиболее распространенным и употребляемым в научной и технической литературе показателем шероховатости поверхности является показатель Ra . Между тем, опыт промышленной эксплуатации изделий свидетельствует о том, что для различных условий их использования необходимо контролировать не один, а несколько параметров. В данном сообщении остановимся на связи между двумя основными высотными параметрами Ra и $Rmax$. Показано [1], что эта связь сводится к ряду следующих простых соотношений. Например, для спеченной и необработанной поверхности она близка к виду $Rmax \approx 4Ra$. При лезвийной обработке зависимость больше отвечает виду $Rmax \approx 6Ra$. Для абразивной обработки кругами из сверхтвердых материалов (СТМ) наиболее характерной будет зависимость близкая к виду $Rmax \approx 8Ra$. Для чисто абразивной обработки, например кругами из электрокорунда – $Rmax \approx (6...8)Ra$. Причем большие значения будут характерными для чистовых методов абразивной обработки, что и подтверждают данные [2] для тонкого шлифования оптических деталей из стекла. А вот при доводке керамики и покрытий зависимость $Rmax=f(Ra)$ близка к виду $Rmax \approx 10Ra$. В последнем случае свой вклад в повышение значения $Rmax$ вносит пористость данных материалов, поскольку при доводке она уже играет значительную роль.

Приведенное выше, позволило автору работы [1] сформулировать следующее положение: чем более грубой является поверхность, тем она имеет меньше соотношение между $Rmax$ и Ra , а чем более совершенна поверхность, полученная доводкой, полированием или другими финишными методами, тем это соотношение больше. Например, спеченная поверхность и поверхность после абразивной обработки обычными абразивами имеет соотношения в диапазоне $Rmax \approx (4...6)Ra$. Обработка шлифовальными кругами из СТМ, когда поверхность имеет меньшую шероховатость, чем после указанных выше методов, и при тонком шлифовании преимущественно характеризуется соотношением $Rmax \approx 8Ra$. То есть, чем больше затрат идет у нас на процесс получения поверхности изделия, тем величина соотношения возрастает: с 4-х до 8-ми.

Между тем, ряд дальнейших исследований показал, что такой вывод является неполным, поскольку отражает только первую часть указанной тенденции. Оказывается, что если нам необходимо получить еще более совершенную поверхности после шлифования еще и полированием с доведением величин шероховатости до 5...10 нм, то есть затраты на процесс получения

поверхности возрастают, то величина соотношения $R_{max}=f(Ra)$ начинает снижаться и достигает ситуации, когда указанная выше зависимость становится близкой к виду $R_{max} \approx 4Ra$. То есть у нас получается своеобразная «дуга соотношения высотных параметров».

Продемонстрируем указанное выше на примере формирования обработанной шлифованием и полированием поверхности монокристалла тетрабората лития, нового перспективного материала для функциональной электроники, обработка которого является исключительно затратной, поскольку требует получения конечной шероховатости по параметру Ra в пределах 1 нм. После разрезания монокристалла, его шлифование проводится свободным абразивом с понижением зернистости абразива и логично было бы предположить, что отношение R_{max}/Ra , исходя из изложенного выше, будет в пределах 6 (реально от 5,25 до 6,25). Дальнейшее полирование монокристаллов тетрабората лития проводили на смоляных полировальниках с использованием двух алмазных микропорошков АСМ зернистостью от 2/1 до 1/0 и оксида хрома. Это увеличивает затратность процесса, но позволяет значительно снизить показатели шероховатости обрабатываемой поверхности монокристаллов. Так, например, шероховатость полированных поверхностей монокристаллов после обработки с использованием микропорошка АСМ 1/0 соответствует Ra в пределах от 3,5 нм до 6,5 нм. Последующее использование оксида хрома при полировании позволяет снизить показатели шероховатости до требуемых величин. Анализ полированной поверхности методом атомно-силовой микроскопии показал, что у монокристалла тетрабората лития по плоскости (100) микрорельеф имеет показатели R_{max} , Rz и Ra составляют 5,26 нм, 4,82 нм и 1,24 нм соответственно, а соотношение R_{max}/Ra составляет 4,25. Представленное выше, как раз и говорит о том, что чем более затратным является процесс получения высококачественной поверхности, тем соотношение R_{max}/Ra снижается до величины 4.

В целом, мы имеем своеобразную «дугу шероховатости» по соотношению R_{max}/Ra , когда вначале для обычной грубой исходной поверхности оно близко к 4, далее абразивная и алмазная обработка этой поверхности поднимают это соотношение в 6 и потом к 8, а вот дальнейшие методы абразивной доводки и полирования снижают соотношение уже к 6 и далее химико-механическое полирование на высококачественной поверхности возвращает это соотношение к величинам близким к 4. Это означает, что если вначале затраты на шлифовку исходной поверхности отражаются на увеличении соотношения, то дальнейшие затраты на доводочные и полировальные работы снижают величину соотношения к исходному – 4.

Литература

1. Лавриненко В.И. Шероховатость обработанной поверхности : закономерности формирования и взаимосвязь ее параметров при обработке инструментом из СТМ // Сверхтвердые материалы. – 2003. - № 2. – С. 58 – 67.
2. Филатов Ю.Д. Механизм образования микрорельефа поверхности при обработке стекла // Сверхтвердые материалы. – 1991. - № 5.- С. 61 – 65.

Высотные параметры шероховатости поверхности оптических изделий полученных методом алмазного микроточения

Бурыкин В.В., Манохин А.С.

Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины, г. Киев

Эксплуатационные характеристики различных деталей оптических систем обуславливают специфические требования к состоянию рабочих поверхностей: шероховатость, ограничения по размерам и количеству дефектов, видимых при определенном увеличении, класс оптической чистоты по ГОСТ 11141-84, а также глубину нарушенного слоя, точность геометрических форм в долях световой волны. Выполнение всех этих требований обеспечивает высокие показатели светоотражения обработанных изделий. Среди вышеперечисленных показателей наиболее весомой характеристикой, связанной с отражательной способностью, является высота микронеровностей на обработанной поверхности.

Чтобы оценить влияние различных факторов процесса обработки на качество поверхности, было проведено комплексное исследование, включавшее алмазное микроточение заготовок из алюминия в широком диапазоне режимов резания при различной геометрии режущего инструмента. Алмазное микроточение является оптимальным видом финишной обработки изделий, который позволяет получать качественные зеркальные поверхности с коэффициентом зеркального отражения от 0,97 и выше при гарантированной высокой точности и стабильности размеров формы изделия.

Цель работы определение минимальной достигаемой шероховатости поверхности после алмазной обработки алюминиевых деформируемых сплавов.

Эксперименты по определению влияния технологических параметров процесса алмазного микроточения на шероховатость обработанной поверхности заготовок ($\varnothing 64 \times 12$ мм) из алюминиевых деформируемых сплавов марки В95 ($R_m = 450$ МПа; $A = 8$ %; $Z = 12$ %; $HВ 147$ МПа) производились на специальном сверхточном станке мод. МО1045 при $n = 300$ об/мин монокристаллическим алмазным инструментом. Резец с геометрическими параметрами: радиус при вершине резца $R = 18$ мм; радиус округления режущей кромки $\rho = 30$ нм; задний угол $\alpha = 12^\circ$; передний угол: $\gamma = -5^\circ$ изготавливается из природного алмаза (2,0 карата). Особенностью изготовления алмазного резца является высокое требование к качеству его лезвия. Кроме того, кристаллографическая ориентация алмаза должна способствовать высокой работоспособности резца, обеспечивая длину пути резания между переточками резца 200–800 км.

Оценка шероховатости обработанной поверхности алюминиевых сплавов производилась с помощью 3D оптического профилометра Contour GT K0 фирмы Zeiss. Используя бесконтактный метод получения топографии поверхности в 3D формате, прибор позволяет регистрировать особенности рельефа от нанометровой до миллиметровой высоты и получать их изображения с хорошим разрешением. Из высотных параметров шероховатости поверхности на приборе измеряли: Ra – среднее арифметическое отклонение профиля; Rp – высоту наибольшего выступа

профиля; Rq – среднее квадратическое отклонение профиля; Rt – максимальную высоту шероховатости и Rv – глубину наибольшей впадины профиля.

На рис. 1 представлены двухмерное изображение и профилометрирование обработанной поверхности из алюминиевого сплава марки В95 после алмазного микрооточения. Продольные бороздки на поверхности, шаг которых совпадает с шагом подачи, образованы вершиной режущей кромки резца. Образцы из алюминия марки В95 обладают высокой прочностью, пониженной пластичностью и характеризуются малой суммарной высотой микронеровностей за счет снижения составляющей связанной с пластическим оттеснением обрабатываемого материала. Они чувствительны к надрезам, склонны к коррозионному растрескиванию под напряжением. Основной вклад в формирование шероховатости вносят микровыступы, образованные вследствие комплекса явлений сопровождающий процесс резания и имеющих стохастический характер (вибрации технологической системы, шероховатости на режущей кромке резца, пластические явления в зоне резания).

Точение алюминиевых сплавов с режимами, обеспечивающими разрушение материала в режиме пластической деформации, позволяет получить поверхности без следов дефектов, связанных с хрупким разрушением. Профиль обработанной поверхности, отличается высокими опорными характеристиками и низкой шероховатостью.

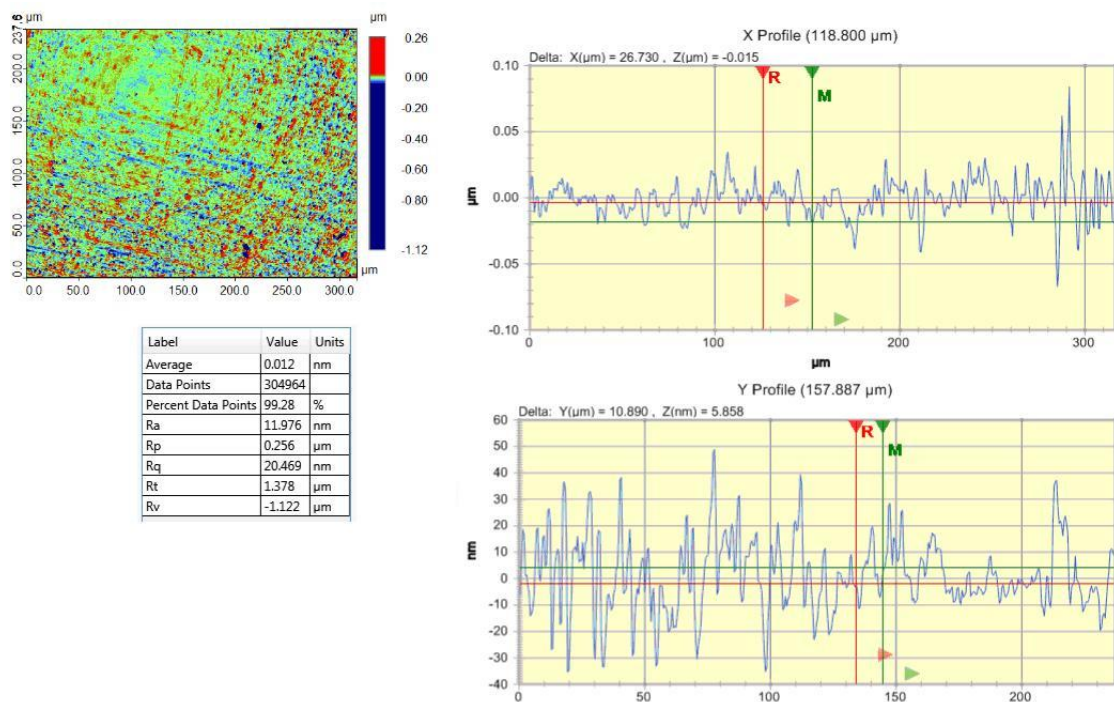


Рисунок 1. Профилометрирование поверхности образца из алюминиевого сплава после алмазного микрооточения ($S = 2$ мкм/об, $t = 2$ мкм, $v = 60\text{--}130$ м/мин)

Полученные экспериментальные данные при обработке алюминиевых сплавов свидетельствуют о возможности производить обработку в режиме пластического течения удаляемого в стружку материала и стабильности размеров оптических изделий. Высота, формируемых микронеровностей не превышала: $Ra = 7\text{--}14$ нм; $Rp = 0,4\text{--}2,4$ мкм; $Rq = 17\text{--}35$ нм; $Rt = 1,4\text{--}4,3$ мкм и $Rv = -1,1\text{--}-1,9$ мкм.

Закономерности размерной алмазно-абразивной обработки прецизионных поверхностей оптических деталей

Филатов А.Ю., Пащенко Е.А., Сидорко В.И., Ковалев В.А.
Институт сверхтвёрдых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины;
НТУУ «Киевский политехнический институт», г. Киев, Украина
filatov@ism.kiev.ua

В настоящее время на основе изучения механизма процесса полирования кремнеземсодержащих материалов, в частности кварца и оптического стекла, разработан высокоэффективный инструмент со связанным полировальным порошком на основе оксидов редкоземельных металлов. При полировании оптических материалов этот инструмент обеспечивает возможность получения поверхности идеального качества. Однако, производительность этого процесса – недостаточная, а использование указанного инструмента на интенсивных режимах – невозможно из-за возможности его разрушения.

Таким образом, несмотря на принципиальную возможность получения высококачественной поверхности деталей из неметаллических материалов, разработка инструмента и технологии полирования, которые обеспечивают достаточную производительность обработки, есть актуальной проблемой.

Механизм формообразования плоских прецизионных оптических поверхностей исследован достаточно полно, на его основе разработаны методы расчета конструкции рабочего слоя полировального инструмента и кинематических параметров процесса обработки, использование которых позволяет стабильно обеспечивать точность их геометрической формы в пределах 3–5 интерференционных колец. В то же время, для оптоэлектронных деталей другого назначения точность формы которых, в отличие от оптических деталей, не регламентируется, чрезвычайно важным является вопрос об условиях их контакта с поверхностью полировального инструмента. Другими словами, для эффективного полирования поверхности необходимо совпадение ее формы с формой рабочей поверхности инструмента или способность последней изменяться в процессе полирования. Первое требование в реальных условиях не может быть выполнено, а второе требование может быть обеспечено за счет уменьшения модуля упругости рабочего слоя полировального инструмента или за счет повышения давления прижима инструмента к обрабатываемой детали.

Рассмотрено три типа деталей: деталь кино-фотооптики (точная оптика), очковая линза и деталь без требований по точности формы из керамического гранита. Первая из них характеризуется точностью формы $N < 5$ интерференционных колец на диаметре 100 мм и обрабатывается полировальным инструментом, состоящим из элементов диаметром 10 мм, при давлении $p_a = 0,05$ МПа. Точность формы обрабатываемой поверхности очковой линзы характеризуется отклонением порядка 25 мкм на диаметре 60 мм, а процесс ее полирования осуществляется полировальным инструментом со сплошным рабочим слоем при таком же давлении прижима. Отклонение от плоскостности

обрабатываемых поверхностей деталей третьего типа может быть оценено величиной порядка 100 мкм на диаметре 20 мм, толщина рабочего слоя инструмента – 10 мм, $p_a = 0,05$ МПа. Результаты расчета необходимого значения величины модуля упругости рабочего слоя полировального инструмента $E_{кр}$ для обработки указанных типов деталей составляют соответственно: 28,8; 18,7 ГПа и 7,2 МПа.

При рассмотрении закономерностей неравновесного процесса полирования показано, что при уменьшении расстояния между взаимодействующими поверхностями инструмента и детали l можно достичь такого увеличения числа отрывающихся кластеров, что они будут отрываться послойно. Для этого необходимо l уменьшить до 0,3 мкм. Дальнейшее уменьшение l приведет к тому, что кластеры будут отрываться с более глубоких слоев и на обрабатываемой поверхности образуются каскады дефектов.

Состояние рабочей поверхности инструментов и поверхностей обработанных образцов оценивалось при помощи микроскопа-анализатора "Кэмскан-4ДВ". По виду поверхностей можно судить о потере работоспособности инструментов в результате "засаливания", когда материал связующего экранирует алмазные зерна или зерна полировального порошка от обрабатываемой детали в процессе обработки, или образования на рабочей поверхности налета фрагментов обрабатываемого материала.

Для анализа микропрофиля поверхностей образцов использовались параметры шероховатости R_a , R_z и R_{max} , полученные при помощи профилографов-профилометров мод. 250 и "Talysurf-5-120" (фирмы «Taylor Hobson»), а также величины коэффициентов отражения света, определяемые на лазерной установке, специально приспособленной для этой цели.

Сравнение величин коэффициентов отражения лазерного излучения от поверхностей деталей из неметаллических материалов с параметрами шероховатости показало, что для тонкошлифованных и полированных поверхностей коэффициент отражения увеличивается при уменьшении значений параметров шероховатости R_a , R_z и R_{max} . При шероховатости обработанной поверхности ($R_a = 0,25 - 0,01$ мкм, $R_z = 0,45 - 0,15$ мкм, $R_{max} = 1,3 - 0,2$ мкм) величина коэффициента отражения света лежит в диапазоне от 8 до 15 %. При этом погрешность определения параметров шероховатости составляла 15–20 %, а коэффициента отражения света – не превышает 2 %. Зависимости коэффициента отражения света поверхностями деталей из неметаллических материалов от параметров шероховатости описываются гиперболическими функциями.

В результате экспериментальных исследований состояния поверхностей деталей из оптических материалов, а именно микрогеометрии и отражательной способности обработанных поверхностей, установлено, что для его количественной интегральной характеристики целесообразно использовать коэффициент отражения света. Кроме того, коэффициент отражения света зависит не только от шероховатости контролируемой поверхности детали, а и от ее цветовых характеристик.

Проблемы изучения шероховатости и формы сверхточных оптических поверхностей

Вайнер Ю.А., Зорина М.В., Пестов А.Е., Салащенко Н.Н., Торопов М.Н.,
Чхало Н.И.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт физики микроструктур Российской академии наук (ИФМ РАН), г.
Нижний Новгород
chkhalo@ipm.sci-nnov.ru

В последнее время растет интерес к сверхточной и сверхгладкой оптике, востребованной в микроэлектронике (проекционная литографии глубокого, $\lambda=193$ нм, и экстремального, $\lambda=13,5$ нм, ультрафиолетового диапазонов), рентгеновские телескопы для изучения Солнца (солнечная погода), контроль за околоземным пространством в ВУФ диапазоне, микроскопия нанометрового разрешения и др. Традиционные методы характеристики оптических поверхностей и aberrаций оптических систем, особенно в случаях многоэлементных проекционных схем, становятся малоэффективными для достижения дифракционного качества изображений.

Наиболее адекватный подход сертификации оптических поверхностей развивается компанией ZEISS. Этот подход основан на измерении, так называемой, PSD (power spectral density) функции шероховатостей, представляющей собой распределение шероховатостей по спектру в диапазоне с латеральными размерами от диаметра зеркала, до долей длины волны. Интеграл от этой функции дает эффективную шероховатость поверхности.

По характеру влияния на качество изображения разделяют низкочастотные (латеральные размеры 1 мм-1м), среднечастотные (латеральные размеры 1 мкм-1мм) и высокочастотные (латеральные размеры менее 1 мкм) шероховатости. Низкочастотные шероховатости приводят к искажению изображения как целого (например, круги изображаются эллипсами), высокочастотные – практически только к увеличению рассеяния и снижению освещенности. Наибольший эффект на снижение разрешающей способности оптических приборов оказывают среднечастотные шероховатости, так как рассеяние на них приводит к размытию краев изображений [1]. Причем размытие пропорционально $(\sigma/\lambda)^2$, где σ – эффективная шероховатость. Иными словами, при сохранении шероховатости на исходном уровне уменьшение длины волны в 2 раза приведет к разрешающей способности в 4 раза!

Строгий анализ показывает, что для отмеченных выше приложений, особенно для литографии, допустимый уровень эффективной шероховатости во всех трех диапазонах составляет около 0,2-0,3 нм.

В докладе рассматриваются основные проблемы и ограничения современных методов характеристики поверхности, в том числе и широко используемых ведущими производителями оптики. В частности, традиционная оптическая интерферометрия, использующая эталонные поверхности для формирования волны сравнения обладает высочайшей, $\lambda/1000$ и выше, точностью измерений

относительно эталона, однако абсолютная точность измерений формы фронтов не превышает $\lambda/50$ - $\lambda/30$ [2], что более чем на порядок уступает требованиям. Кроме качества поверхности эталона на точность измерений значительное влияние оказывает и факт прохождения эталонного и рабочего фронтов через различные оптические элементы [3].

В последнее время для изучения шероховатости оптических поверхностей часто используют, так называемую интерферометрию белого света [4]. В докладе, на примере измерений сверхгладкой кварцевой подложки, проведенных с помощью микроинтерферометров белого света от различных компаний, показаны ограничения этого метода. В частности, приведены корректные измерения шероховатости самого эталона интерферометра.

Сообщается о работах, проводимых в ИФМ РАН последние 7 лет по развитию так называемых «безэталонных» методов изучения шероховатостей и формы поверхности сверхгладкой и сверхточной оптики, основанных на «первых принципах», т.е. результаты измерений могут быть проверены в простейшем физическом эксперименте.

Для изучения формы оптических поверхностей и aberrаций оптических систем развивается интерферометрия с дифракционной волной сравнения (ИДВС), использующая в качестве источника эталонной сферической волны одномодовое оптическое волокно с субволновой выходной апертурой. При этом качество волны определяется в физическом эксперименте, аналоге опыта Юнга [5]. Такой метод генерации сферической волны позволяет получить эталонную сферическую волну с aberrациями менее 0,1 нм в числовой апертуре 0,1 и субнанометровые aberrации в числовой апертуре до $NA=0.6$. Сообщается о линейке подобных интерферометров которые, в силу простоты принципов работы и надежности, могут применяться не только в лабораториях, но и в условиях реального производства. Будут показаны оптические схемы, используемые при аттестации различных типов оптики и оптических приборов с помощью ИДВС.

Основными методами для изучения шероховатости являются атомно-силовая микроскопия и диффузное рассеяние рентгеновского излучения. Показана адекватность такого подхода. Приводится сравнение шероховатость подложек из кварца, ситалла, ULE, Zerodur, кремния от различных отечественных и зарубежных производителей.

Литература

1. Dinger, U et al. // Proc. SPIE. – 2000. – v. 4146. – p. 35-46.
2. Website Zygo Corporation.// <http://www.zygo.com>
3. Салашенко, Н.Н и др. // Известия РАН. Серия физическая. - т.74. - №1. - 2010. - с. 62-65.
4. Blunt R. // SEMANTECH Conference. - 2006. - Vancouver. – Canada. - p.59.
5. Chkhalo, N.I. et al. Rev. Sci. Instrum. - 2008. - V.79. - P.033107.

Формирование прецизионных оптических элементов методом ионно-пучкового травления

Зорина М.В., Нефедов И.М., Пестов А.Е., Салашенко Н.Н., Суслов Л.А., Торопов М.Н., Чурин С.А., Чхало Н.И.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт физики микроструктур Российской академии наук,
г. Нижний Новгород
aepestov@ipm.sci-nnov.ru

В последние годы наблюдается устойчивый интерес к проблеме создания оптических элементов с точностью формы отражающих (преломляющих) поверхностей на уровне долей нанометра. Традиционные подходы, использующие только механические и химико-механические методы формирования оптических поверхностей, не обеспечивают требуемых параметров. Поэтому в последние годы развиваются другие методы доводки формы супергладких поверхностей до требуемых точностей, так называемые методы коррекции формы, использующие автоматизированные комплексы с ионным травлением [1] или нанесением тонких пленок в вакууме с заданным распределением толщины пленок по поверхности [2]. Следует отметить, что при практическом применении этих методов необходимо сохранение, а лучше и уменьшение, микрошероховатости корректируемой поверхности.

Несмотря на широкое применение ионных пучков как в России, так и в мире для целей коррекции или даже глубокого формообразования оптических элементов [Справочник технолога оптика, под ред. М. Окатова, Политехника, С.-Петербург, 2004], проблемы сверхточного и сверхтонкого (на уровне долей и единиц нм) ионного травления, а также сохранения атомарной гладкости в широких диапазонах (от долей до сотен нм) съёма материала в научной литературе не обсуждалось.

В данной работе описываются методики асферизации поверхности через маску (диафрагму) квазипараллельным пучком ускоренных ионов и коррекции формы поверхности безмасочным способом сфокусированным ионным пучком с сохранением шероховатости поверхности на уровне 0,2-0,4 нм в диапазоне пространственных частот 10^{-3} - 10^2 мкм⁻¹.

Методика безмасочной коррекции формы поверхности

Оптические поверхности, изготовленные стандартными механическими методами, и, подвергшиеся процедуре глубокой химико-механической полировки, с исходной шероховатостью поверхности на уровне 0,2-0,4 нм, подвергаются ионной бомбардировке на установке ионно-пучкового и плазмохимического травления [3]. Таким образом, процедура коррекции представляет собой следующую последовательность действий:

1. С помощью интерферометра с дифракционной волной сравнения [4] измеряется форма поверхности (получается карта поверхности подложки).
2. По результатам измерений рассчитывается траектория движения ионного пучка вдоль поверхности подложки и время травления в каждой точке. Для этих целей написана специализированная программа:

Программа на входе получает карту распределения высот (отклонение формы поверхности от расчетной, т.е. карту, полученную с помощью интерферометра с дифракционной волной сравнения) по поверхности и распределение плотности тока в пучке ускоренных ионов (возможно задание либо стандартной функцией гаусс или меандр, либо реальным распределения тока в пучке – матрицей $j(x,y)$). С учетом полученных данных производится поиск минимума свертки функций пучка и поверхности и на выходе выдается карта отклонений “скорректированной” поверхности (производится расчет параметров P-V и RMS), траектория движения ионного пучка вдоль поверхности подложки и время травления в точке.

3. Затем проводится этап коррекции (подложка помещается в вакуумную камеру установки ионного травления и подвергается ионной бомбардировке, при этом производится сканирование сфокусированным ионным пучком вдоль поверхности оптического элемента в соответствии с рассчитанной траекторией движения).

Вся эта процедура может повторяться несколько раз до тех пор, пока форма поверхности не удовлетворяет требуемым параметрам.

Методика асферизации формы оптических поверхностей

Глубокая асферизация (максимальное отклонение от ближайшей сферы до 100 мкм) в случае осесимметричной асферики проводится с помощью широкоапертурных источников ускоренных ионов [3]. Между источником ускоренных ионов и сферической заготовкой устанавливается диафрагма/маска через которую проводится травление.

Процедуру травления можно разделить на следующие действия:

1. На первом этапе прописывается распределение ионного тока в пучке.
2. Производится расчет диафрагмы (с учетом заданного профиля асферики и распределения ионного тока по апертуре).
3. Травление сферической заготовки квазипараллельным пучком ускоренных ионов через формирующую диафрагму.
4. Контроль формы поверхности оптического элемента (либо с применением волнового компенсатора, либо по косвенным параметрам).

В случае не осесимметричной асферики асферизация производится сфокусированным пучком ускоренных ионов без маски.

Литература

1. Chason E., Mayer T.M. // Appl. Phys. Lett. – 62 (4). – 363 (1993).
2. Андреев С.С. и др. // Поверхность. – 1. – 6 (2003).
3. Забродин И.Г. и др. // Поверхность. – 9. – 109 (2003).
4. Chkhalo N.I. et al. // Lithography Facilities, Lithography, Michael Wang (Ed.) Intech, ISBN 978-953-307-064-3. – 2010.

Нарушенный слой поверхности при алмазно-абразивной обработке оптических деталей

Филатов Ю.Д., Маслов В.П.

Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины;
Институт физики полупроводников им. В.Е. Лашкарева НАН Украины,
г. Киев, Украина
filatov@ism.kiev.ua; vpmaslov@ukr.net

Исходя из кластерной модели износа показано, что поверхность обрабатываемой детали состоит из кластеров, которые при взаимодействии с поверхностью инструмента превращаются в частицы шлама. Согласно физико-статистической модели износа при изменении деформированного состояния обрабатываемой поверхности в поверхностном слое образуются кластеры, которые переходят из связанного состояния в свободное. Образование частиц шлама и изменение рельефного слоя поверхности происходят одновременно с образованием кластеров и возникновением трещиноватого слоя, которое следует рассматривать как движение кластеров от поверхности перехода в направлении, противоположном движению частиц. Анализ кинетического уравнения и расчеты концентрации кластеров вдоль координаты вглубь обрабатываемого материала позволили установить, что глубина нарушенного слоя определяется величиной наиболее вероятного размера частиц шлама. При обработке неметаллических материалов значения глубины нарушенного слоя рассчитываются исходя из значений их микротвердости и коэффициента трещиностойкости, а также по значениям высотных параметров шероховатости.

При механообработке поверхностей нарушенный слой перемещается и постепенно уменьшается. Активационные параметры процесса микропластичности и роста трещин совпадают. Атомный механизм микропластичности основывается на дислокационных представлениях, согласно которым деформация любой элементарной структуры ячейки вызывает изменение напряженного состояния в соседней ячейке. Термофлуктуационные смещения в поле напряжения приводят к увеличению вероятности сдвига, протекающего в соседней ячейке, что означает существование дислокационной линии, которая перемещается до тех пор, пока она не аннигилирует с другой линией или свободной поверхностью.

Таким образом, на основе физико-статистической модели износа установлена связь глубины нарушенного слоя с шероховатостью обработанной поверхности (наиболее вероятным размером частиц износа) и механическими свойствами обрабатываемого материала (микротвердостью и трещиностойкостью). Отклонение от линейной зависимости глубины нарушенного слоя при алмазно-абразивной обработке хрупких материалов наблюдается при зернистости абразива более 28 мкм. Для более крупных абразивных зерен ее экспериментальные значения экспоненциально возрастают при увеличении зернистости.

Фреза с регулируемыми элементами из СТМ для обработки мерных пазов деталей оптики

Гречишников В. А., Петухов Ю. Е., Тарасов А. В., Романов В. Б.,
Домнин А. В., Рубец А. А., Чулин И. В.
ФГБОУ ВПО МГТУ «СТАНКИН», г. Москва
iluxa-84@mail.ru

Важными конструктивными элементами детали «Основание» являются закрытые пазы 1 и мерный паз А (Рис. 1).

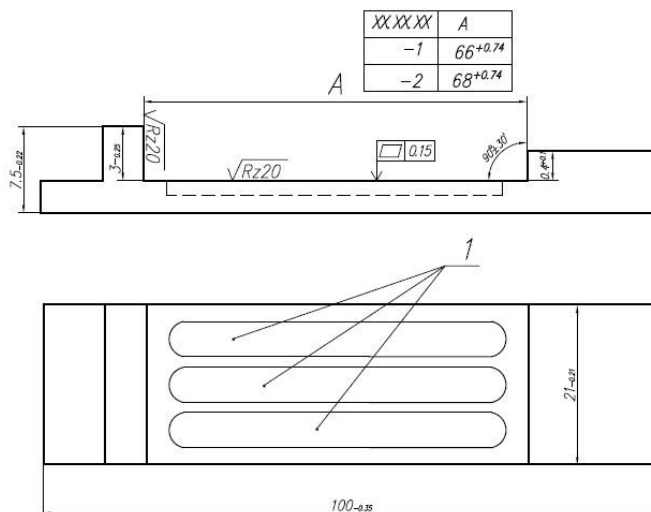


Рис. 1 Эскиз профиля паза

Пазы 1 являются базирующими поверхностями для установки узлов оборудования (Рис. 2). Используются два вида устанавливаемых узлов с различными габаритными размерами. Одним из требований, предъявляемых к изделию, является определенная величина зазоров между устанавливаемыми узлами и стенками паза А. В зависимости от устанавливаемого узла, деталь «Основание» изготавливается в двух исполнениях, отличающихся шириной паза А, которая составляет 66^{+0.74} мм., или 68^{+0.74} мм.

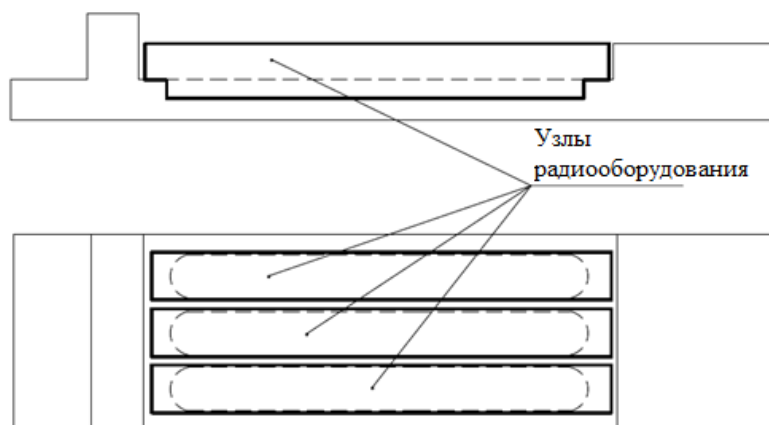


Рис. 2 Схема установки узлов на основание

В настоящее время обработка паза А ведется нерегулируемой концевой фрезой из быстрорежущей стали Ø50мм. за два прохода. В условиях серийного

производства такая стратегия обработки приводит к значительным потерям времени. Для повышения производительности была спроектирована торцевая фреза (Рис. 3), обрабатывающая паз *A* за один проход. Использование в качестве режущих элементов платин с СТМ позволяет значительно увеличить режимы резания, не нарушая требования к качеству и геометрической точности обработанной поверхности. Изменение стратегии обработки и увеличение режимов резания позволит увеличить производительность. Возможность регулировки ширины фрезерования делает возможным обработку обоих исполнений паза одним инструментом. Это позволяет сокращать номенклатуру используемого на производстве инструмента, что так же снижает себестоимость готовой детали.

Детали, входящие в состав торцевой регулируемой фрезы, являются технологичными и не представляют сложности в изготовлении. Гайки, шайбы и стопорные кольца являются стандартными изделиями.

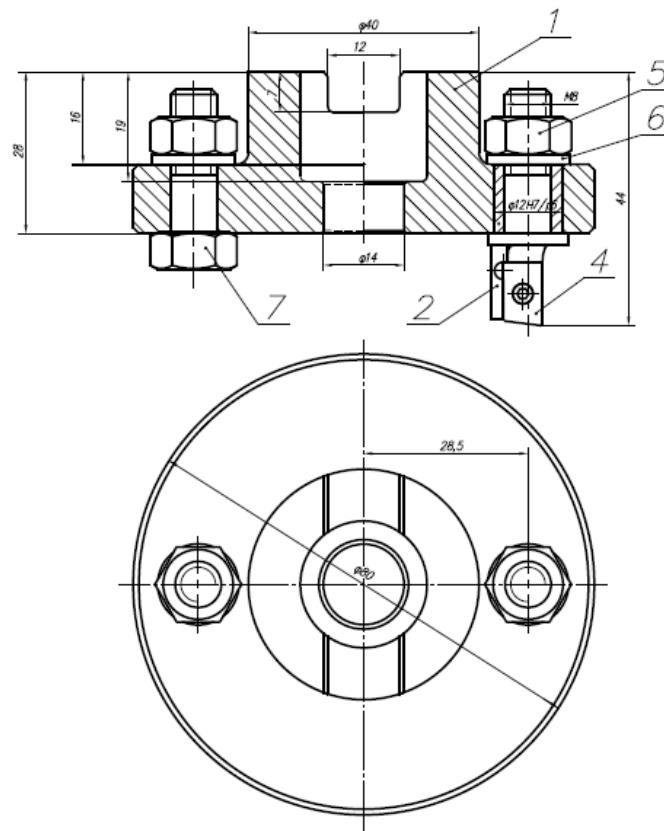


Рис. 3 Конструкция торцевой регулируемой фрезы с режущими элементами из СТМ

Торцевая регулируемая фреза с режущими элементами из СТМ включает в себя корпус – 1, режущую вставку – 2, эксцентриковую втулку – 3, режущую пластину с СТМ – 4, гайку – 5, шайбу – 6, балансировочный элемент – 7.

Корпус фрезы изготавливается из калиброванного проката, материал заготовки Сталь 45 ГОСТ 1050-88. Поверхности, по которым фреза базируется на оправке, выполнены в соответствии с ГОСТ 26538-85.

**Исследование инструментов с многогранными пластинами,
оснащенными СТМ для обработки деталей оптических приборов**
Гречишников В.А., Петухов Ю.Е., Тарасов А.В., Романов В.Б., Домнин П.В.,
Рубец А.А., Чулин И.В.
ФГБОУ ВПО МГТУ «СТАНКИН», г. Москва
ittf.stankin@gmail.com

В настоящее время существуют различные направления повышения работоспособности инструментов. В тезисах доклада рассматривается применение инструмента с многогранными пластинами оснащёнными СТМ для обработки деталей оптических приборов (на примере ступенчатых отверстий) в массовом или в серийном производстве.

При изготовлении инструмента для обработки ступенчатых отверстий необходимо учитывать погрешности, влияющие на точность обрабатываемых отверстий. Погрешности, вызываемые деформацией вспомогательного инструмента, составляют в ряде случаев 60% и более от суммарной погрешности обработки. Роль приспособлений для металлорежущего инструмента возрастает с повышением требований к точности изготовления изделий, с развитием и совершенствованием объектов производства, с увеличением частоты смены изготавливаемых деталей, а также с повышением уровня автоматизации и механизации процессов механической обработки путем внедрения станков с ЧПУ и автоматизированных производств на их основе.

Точность изготовления приспособлений определяет погрешность расположения на станке режущего инструмента, что во многих случаях определяет погрешности формы и размеров обрабатываемых деталей. Зависящие от жесткости упругие деформации элементов приспособлений приводят при резании к смещению кромок режущего инструмента относительно детали, также вызывая погрешности обработки.

Такие эксплуатационные характеристики приспособлений, как жесткость и виброустойчивость, оказывают большое влияние не только на точность, но и на параметры шероховатости обрабатываемых поверхностей и на стойкость режущего инструмента.

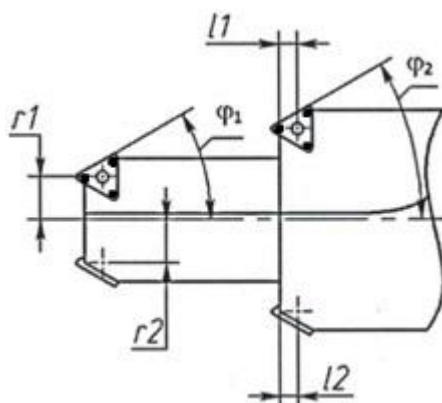


Рис. 1. Погрешности позиционирования режущих элементов

Основные требования к приспособлениям для металлообрабатывающего инструмента следующие: крепление режущего инструмента с заданной точностью и достаточной жесткостью; возможность регулирования (при необходимости) положения режущих элементов; расширение технологических возможностей станков; концентрация технологических переходов; удобство в эксплуатации (быстросменность, простота обслуживания и наладки); технологичность изготовления; применение высококачественных материалов.

Точность обработки ступенчатых отверстий в значительной степени зависит от точности позиционирования вершины режущего лезвия пластины относительно детали. При обработке вращающимся инструментом положение пластины определяется конструкцией и точностью изготовления присоединительных поверхностей.

Источником погрешностей позиционирования являются относительные биения присоединительных поверхностей, неравенство углов в плане, перекосы в соединениях вследствие наличия в них радиальных и угловых зазоров, отклонений от правильной геометрической формы (рис.1). Перечисленные факторы влияют на величину разности радиальных составляющих сил резания (рис.2).

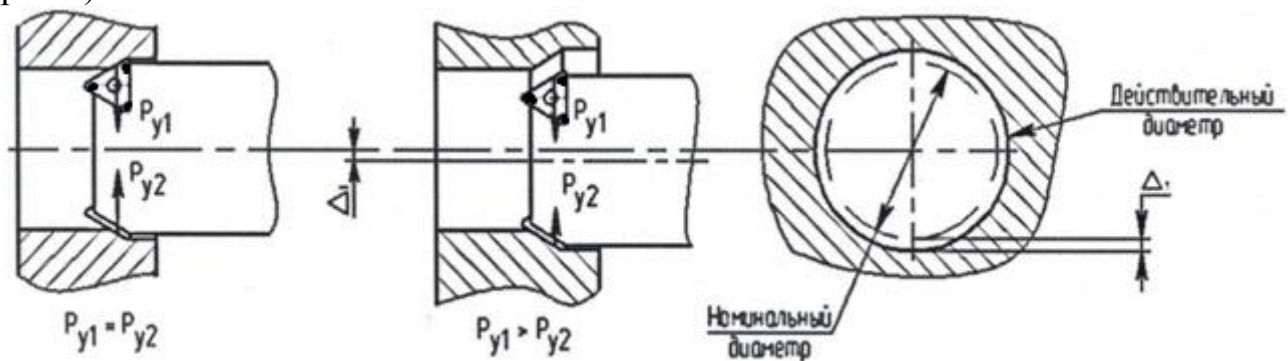


Рис. 2. Схема действия радиальных сил на режущие пластины при обработке

Для выявления погрешностей ступенчатых отверстий использованы: инструменты с геометрическими параметрами изменяемые определенном диапазоне, разные условия обработки и материалы с разными физико-механическими характеристиками.

Основные выводы:

1. На точность обрабатываемого ступенчатого отверстия в значительной степени оказывает влияние разность радиальных сил резания;
2. Величина разности ΔP_y радиальных сил резания зависит от точности расположения оси отверстия под пластины, разности углов φ на каждой пластине, свойств обрабатываемого материала. Указанные факторы влияют на увеличение ΔP_y в большей степени при увеличении вылета оправки и уменьшение ее диаметра.

Использование структурированного шлифовального инструмента для управления формой микропрофиля обработанной поверхности

Пасичный О.О.

Институт сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля, г. Киев
ceramic@ism.kiev.ua

Состояние поверхности деталей, в т. ч. форма микропровиля поверхности, является важной характеристикой во многих случаях, прежде всего для несущих и прецизионных поверхностей. Поэтому вопросы формирования заданной формы микропровиля поверхности является важной задачей.

Однако вопросы управления формой микропровиля поверхности во время шлифования и в настоящее время являются недостаточно изученными, прежде всего в связи с особенностью процесса шлифования — формирование обработанной поверхности в результате резания множеством, в общем случае произвольно расположенных и ориентированных, режущих зерен. В тоже время, финишная обработка большинства прецизионных поверхностей выполняется именно шлифованием, что делает вопросы управления микропрофилем обработанной шлифованием поверхности особенно актуальными.

Одним из решений, разработанным в этом направлении в ИСМ, является использование шлифовального инструмента со структурированным рабочем слоем, путем модификации стандартных связки шлифовального инструмента — добавлением в его связку опорных элементов. Добавление опорных элементов комплексно влияет на целый ряд характеристик рабочего слоя. Изменяются как характеристики связки необходимым образом, так и, за счет дистанцирования пространственного положения режущих вершин, условия резания единичным зерном.

Для структуризации рабочего слоя алмазного и кубонитового инструмента, в качестве структурирующей добавки, хорошо показали себя зерна дробленого киборита.

Эффект от структурирования рабочего слоя дробленным киборитом начинает проявляться только при определенной, для конкретного инструмента, производительности обработки. При меньшей производительности обработки, наличие зерен киборита в связке ни на показатели процесса шлифования, ни на состояние рабочей поверхности инструмента влияние не оказывает.

По мере увеличения производительности обработки, зерна киборита сдерживают излишне быстрый износ связки, но сами, в результате контакта со шламом обработки, постепенно разрушаются, образуя при этом кратеры. Образующиеся кратеры фактически делают рабочий слой прерывистым, при этом, в зависимости от интенсивности разрушения зерен киборита, в широком диапазоне изменяется микропрофиль режущей поверхности и условия резания-царапания отдельными режущими элементами. Это и позволяет путем выбора количества и зернистости дробленного киборита обеспечить при определенной

производительности обработки заданный микропрофиль обработанной поверхности.

Некоторые из наиболее востребованных форм микропрофиля обработанной поверхности представлены на рисунке.

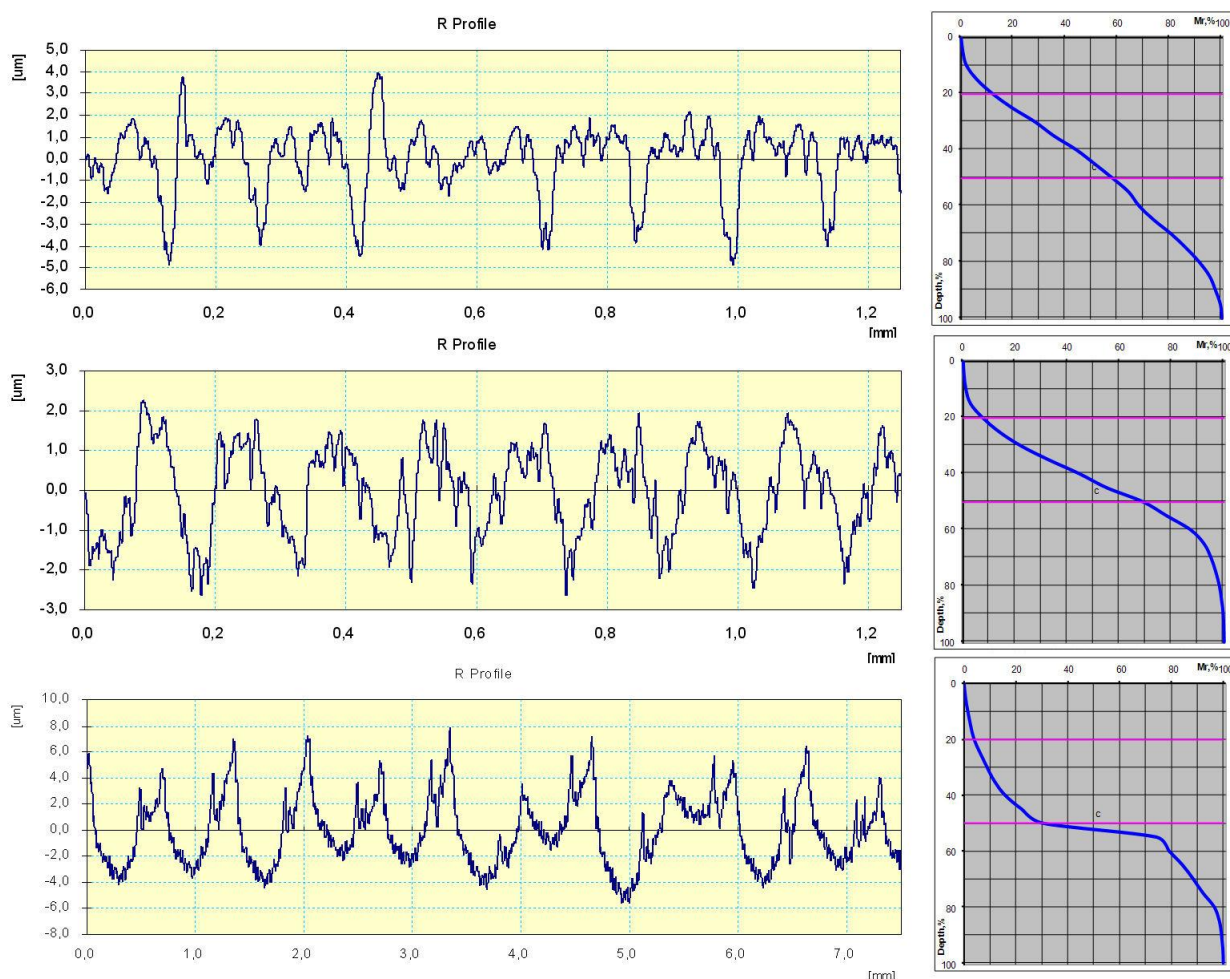


Рис. Возможные виды микропрофиля обработанной поверхности и соответствующие им опорные кривые, при использовании структурированного шлифовально инструмента.

Кроме того, формирование на режущем профиле системы карманов значительно улучшает условия отведения шлама из зоны обработки, уменьшается тепловыделение, удельная мощность шлифования и относительный расход материала СТМ.

Влияние износа инструментальной пластины на стабильность геометрических параметров и шероховатость детали.

Терёшин М.В., Ляпусов С.Г.
МГТУ СТАНКИН, ОАО «ММЗ»Авангард» г. Москва

4

К особенностям изнашивания твердосплавных пластин при обработке стали на режимах, близких к режиму максимальной производительности, следует отнести изменения с износом инструмента радиуса скругления режущей кромки ρ . Для изучения особенностей изменения радиуса округления режущей кромки в зависимости от изнашивания инструмента проведена серия экспериментов при непрерывном резании стали 40Х твердосплавными пластинами Т15К6 с ИП TiAlN, нанесенным методом PVD на установке Platit $\pi 80$. Исследования изнашивания при непрерывном резании с постоянной мощностью проводились на токарном станке CU500M, в диапазоне режимов резания: скорость резания от 250 до 550 м/мин, подача 0,1 мм/об.

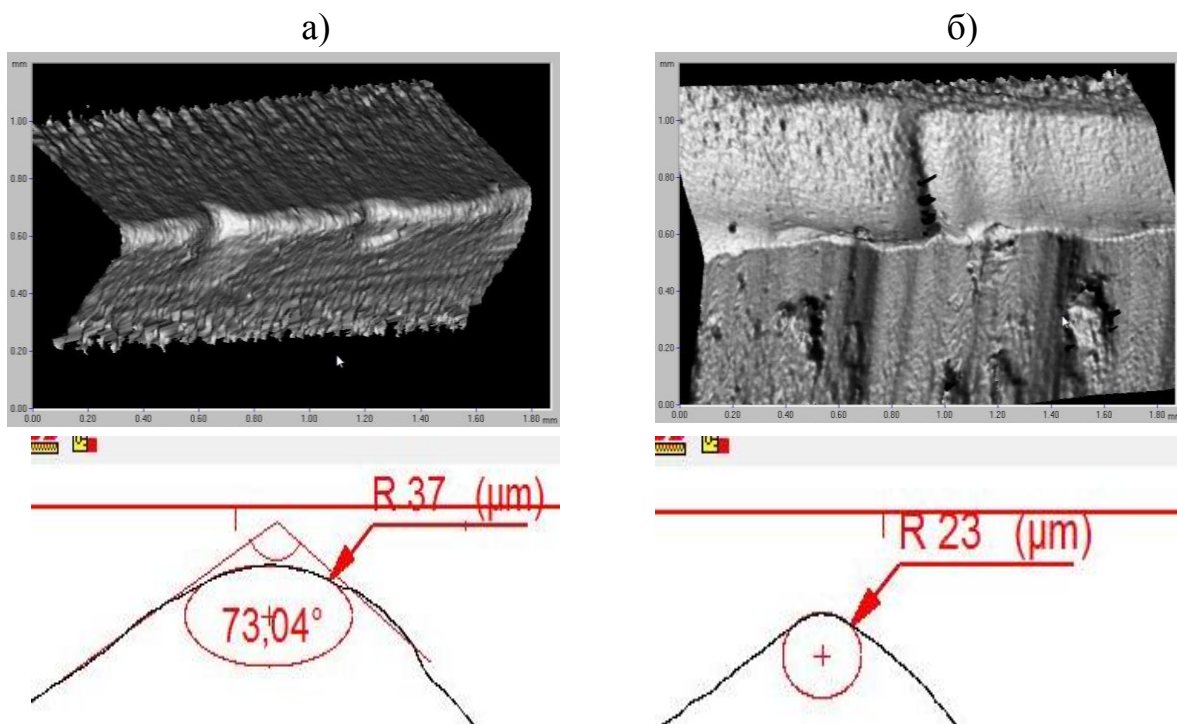


Рис. 1. Изменение радиуса режущей кромки ρ с износом инструмента.

а) исходная пластина $h_3 = 0$; б) изношенная пластина $h_3 = 1,2$ мм.

На рисунке 1 (а) показана режущая кромка случайно выбранной твердосплавной пластины с ИП в исходном состоянии, а на рисунке 1 (б) в том же масштабе показана изношенная твердосплавная пластина с идентичным ИП. Из рисунка 1 (б) видно, что изношенная пластина имеет явно меньший радиус сопряжения по сравнению с ее исходным состоянием. В ходе проведения данных исследований было установлено, что радиус округления режущих кромок

образующийся в процессе износа рабочих поверхностей всегда был меньше, чем радиус ρ у пластин в состоянии поставки и составлял 4-13 мкм.

При точении стали изнашивание инструмента всегда сопровождается ростом фаски износа по задней поверхности h_3 , поэтому она принята в качестве критерия состояния твердосплавных резцов при обработке стали. В результате проведенного исследования было установлено, что **в зоне нормального износа величина фаски износа практически не оказывает влияния на точность и шероховатость обработанных поверхностей.**

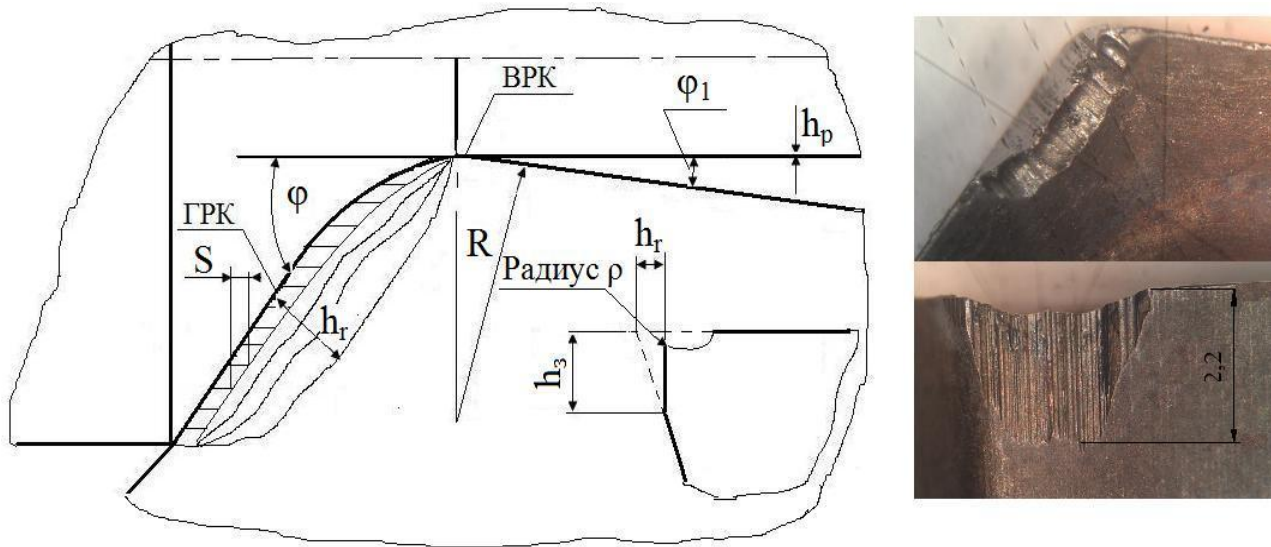


Рис. 2. Характер износа режущих СМП из Т15К6 при точении стали 45.
 $S = 0,1$ мм/об, $t = 2$ мм, $N_{рез} = 5200$ Вт, ($V = 650 - 300$ м.мин).

На рис. 2 видно, что процесс резания осуществляется главной режущей кромкой – ГРК, а формообразование обработанной поверхности вспомогательной – ВРК. В связи с тем, что радиус при вершине резца $R = 0,4...1,2$ мм, много больше подачи $S = 0,1$ мм/об, обработанная поверхность калибруется вспомогательной режущей кромкой, при этом положение вершины инструмента остается практически неизменным.

«Оборудование Shimadzu для определения физико-химических свойств материалов»

Ведутенко В.В.
группа компаний «ИнтерАналит»

Спектральные характеристики объекта непосредственно связаны с природой веществ, входящих в его состав, его структурой, геометрическими характеристиками и т.п. Получение оптических элементов со строго заданными характеристиками является основной задачей в оптической промышленности и представляет собой исключительно сложную задачу, при решении которой требуется учитывать огромное количество самых разнообразных параметров и условий обработки.

Вместе с тем современный этап развития оптического приборостроения характеризуется расширением области применения и возрастающими требованиями к конечной продукции. Таким образом, задача создания оптимальных систем существенно зависит от условий анализа и от решаемых задач. С этой точки зрения применение оборудования производства компании Shimadzu предоставляет уникальные возможности для технической реализации контроля получаемой продукции и полупродуктов.

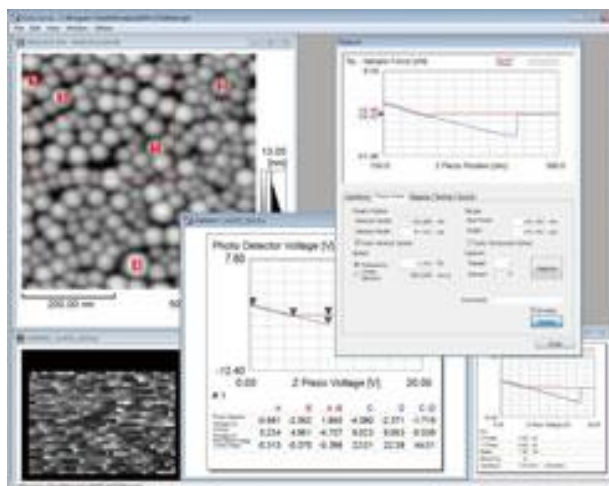
Для решения задач получения спектральных характеристик оптических элементов наиболее перспективно применение спектрофотометров исследовательского класса **SolidSpec-3700**. Основной отличительной особенностью данного прибора является возможность исследования крупных объектов в спектральном диапазоне от 165 до 3300 нм.



Двухлучевой спектрофотометр Shimadzu **SolidSpec-3700**

Производимые Shimadzu атомно-силовые микроскопы SPM-9700 обеспечивают исследователя такой важной информацией в оптике как получение трехмерных

изображений высочайшего разрешения и изучение электрических и магнитных свойств поверхности. Мощное программное обеспечение позволяет оценивать не только характеристики поверхности непосредственно объекта, но и характеристики сорбционных слоев (например, рабочих жидкостей).



Атомно-силовой микроскоп **SPM-9700**

Элементный анализ активно используется в стекольной промышленности для контроля качества и определения химического состава производимой продукции. Производимый Shimadzu ICPE-9000 обеспечивает возможность простой и удобной работы в сложных матрицах.



Оптический эмиссионный спектрометр параллельного действия с индуктивно-связанной плазмой Shimadzu **ICPE-9000**

ВСЕ-биоволногенез нестабильности техногенной безопасности

Савельев В.Ф., Корнетова Н.В., Пулин Ю.И., Савельев А.В., Альянов А.В.

Московский государственный индустриальный университет, г. Москва

Не случайно в октябрьские дни открытия «Фестиваля науки» МГУ 2013 года профессором д.т.н. Майструком А.В. прочитана лекция по сверхактуальной проблеме техногенной безопасности. Последняя давно уже осознана человечеством как несбыточная мечта, поскольку всю обозримую историю мы подвергаемся воздействию известных ныне «волн-убийц» (гигантских волн) земных, солнечных, космических и пр. зримых и невидимых бурь, штормов и цунами. В виде водных, воздушных, магнитных, плазмодных, радиоактивных, электромагнитных, вулканических и даже «твердотельных» волн-солитонов (земной коры, кометно-метеорно-астероидных тел и т.п.).

Современная планетарная официальная наука во главе с математизированной физикой позитивизма Нового времени почти сто лет назад сменила «волновую механику» на «квантовую», дав в качестве отступных (волновикам от корпускулярщиков) компромиссный дуализм Луи де Бройля, тут же дезавуированный «железным занавесом» в виде постулата о «непроявляемости волновых свойств микрочастиц в макром мире». И сразу идеи синкретизма, идеализма, гилозоизма, монизма, пантеизма и русского космизма о живом Космосе, веществе и Вселенной оказались как бы вне науки, негласными, табу. А посему и всякие «волны» (Кондратьева в экономике, Чижевского в разных областях, Гумилёва в истории и социологии, и др.) переименовываются в некие «циклы» (или кванты, типа планковского), в лучшем случае – в солитоны. Причина же этих феноменов – случай, и все они – стихийные, чрезвычайные, аномальные и т.д. Как и само «зло» (грех и т.п.) в позитивистском либерализме (патология, ненормальность и т.д.). Матстатистика и вовсе такие «отклонения» (погрешности, сингулярности, выбросы и т.п.) просто отбрасывает (сглаживает, выравнивает, усредняет, нивелирует и т.д.).

В тысячелетнем противостоянии корпускулярщика Демокрита и его оппонента Платона до сих пор доминирует (пародоксальными усилиями ученика последнего - Аристотеля) первый в лице вековечного атомизма. Казавшиеся революционными генетика, кибернетика и позже – синергетика, сникли и обречены (в русле атомизма). Как и мимикрирующие под «нетрадиционные» (альтернативные) теории струн, мембран, мультивселенных и т.п. апологеты атомизма.

Символично, что в один год с реанимацией «лысенковщины», в лице комиссии по лженауке при АН СССР, грянул «Чернобыль», поставивший с «Челленджером», казалось бы, жирную точку в техносферном «атомном» XX

веке ложно понятого прогресса. Но бьющему своими конвульсиями по всей планете вульгарному атеизму либерал-атомизма неймётся, и вот получаем «Фукусиму», с лавиной других гигантских волн-убийц (во всех сферах, включая «стихию»), «запрещённых» теорией физмата от Демокрита.

Неприятие, закосневшим на лаврах столетней пирровой победы над волновиками, официозом «атомного лобби» своего очевидного поражения на практике (их же «критерии истины») оборачивается закономерной трагедией 300-летней РАН, а главное - крахом 20-вековой эры Разделения (подтверждённой устами её Родоначальника через пять веков после Демокрита), приведшей нас всех к краю бездны.

Но именно в последние годы сквозь самый главный и страшный «железный занавес» - манипуляционный идейно-информационный – пробилась свежая побега информации из «ненаучных» СМИ. Оказывается, что «нобелевская божья частица» заявлена физиками летом 2012 года крайне осторожно, с сомнениями и намерениями надёжного подтверждения открытия. А вот 15000 замеров на том же коллайдере показали сверхсветовую скорость частиц и совсем недавно учёными доказано существование тёмных материи и энергии (ненаблюдаемых реальных объектов), составляющих около 96% вселенной, а значит опускающих остроту нашего научного мировоззрения до 4% (практическая слепота).

Наконец, открытие в космологии «аномального» (а точнее – убийственного для модели «Большого взрыва») ускоряющегося расширения вселенной, говорит и вовсе о качественной ложности основ позитивной науки вульгарного материализма. Мало того, мы узнаём, что даже камни (вода, газы, плазма и т.д.) живут, двигаются, дышат, размножаются. Идеи Дж.Лавлока, И.Н. Яницкого и многих других учёных второй половины XX века о живой Земле не уникальны и ложатся в русло представлений о живой Вселенной. Не случайно сегодня уже с первых классов малышей знакомят с «Космогеогеоидрометеобиологией», которая символизирует Единство всего и вся во Вселенной. Основные элементы подхода к теории ВСЕ-биоволногенеза изложены в сотнях трудов и монографии (2007, 40 п.л.). Ныне готовится к изданию третья (от книги по размерной стабильности 1986 г.) монография по волногенезу и обеспечению техногенной безопасности и надёжности технических систем. Разрабатываемая 25 лет кардинально новая биоволновая синергетика синтезирует «корпускулярно-волновой дуализм» в триалектическом единстве гегельянской триады на основе матричной волновой структуры вакуума, вещества-материи и Вселенной. Здесь первично не «вещество» (материя) и не «энергия» (сознание), а их синтетическое Целое, фрагментами которого волны виртуальных «частиц» или «квантов» и являются, очевидно или латентно. Биоволновые высокие технологии основываются на новейших оригинальных теориях, идеях и изобретениях, отличающихся высокими эффективностью и потенциалом.

Размерная стабильность в свете волновой теории Всеединства

Савельев В.Ф., Корнетова Н.В., Овчинников В.В., Резчиков Е.А., Мороз В.Г.
Московский государственный индустриальный университет, г.Москва

Открытое в 1911г. А. Вильмом явление старения твёрдых тел дало старт изучению уникальнейшего феномена и свойства любого объекта и субъекта (от кварка до Вселенной, и даже тысячелетия считавшегося «ничем», «пустотой» вакуума) – изменчивости и непостоянства всего и вся или «всенестабильности». Более поздние процессы релаксации (аккумуляции), ползучести, последействия и т.д. в реологии твердых, жидких, газообразных и пр. косных и живых «сред» (и их свойств и параметров) имеют истоки в едином явлении «старение», связанным со временем.

До сих пор живучие «устойчивость» и «стабильность» (или их антонимы) могут иметь и сугубо пространственную невременную суть, а потому должны нести уточняющую компоненту («во времени», «с течением времени», «временные» и т.п.).

Однако с 60-70-х гг. термин «стабильность» прочно входит в научную терминологию реологии, тем более, что называть старением периоды роста прочности, твердости и т.п. свойств вряд ли верно (особенно в биологических системах). Не случайно в материаловедении на стыке XX-XXI вв. появился термин «молодеющие сплавы». В то же время, с 80-х гг. предпочтение, по мере осознания фундаментальности и всеобщности явления, отдаётся антониму «нестабильность».

С другой стороны, укоренившийся с 50-60-х гг. геометрический аспект феномена, восходящий, например, у сварщиков к проблемам судостроения (академики Николаев Г.А. и Сагалевиц В.М. с учениками), у прибористов (Хенкин М.Л. и др.) и станкостроителей (Коцюбинский О.Ю.) – к точности конструкций машиностроения, - ныне есть лишь частный случай всеобщей нестабильности. Которая в качестве показателя надёжности – «сохраняемости» - ответственна за работоспособность, качество и безопасность любых самых ответственных конструкций и систем техносферы XXI века.

К столетию открытия явления в твёрдых телах о нём написаны десятки монографий и диссертаций, сотни статей и изобретений. Качественным же достижением представляется то, что в ходе полувекового изучения феномена сварочными школами МВТУ, ИЭС им. Патона (Украина), МГИУ и ряда ведущих НИИ точного приборостроения и ВПК СССР и России, сформировалось принципиально новое научное направление «Волновая синергетика всенестабильности». В основу которого положена уникальная гипотеза «вакуумно – солитонного Единства» (ВСЕ) Вселенной, материи, энергии и жизни, более четверти века назад выдвинутая на научном симпозиуме АН СССР (Х. 1988г., Кутаиси). Авторский коллектив цикла работ «Нестабильность» участвовал в так и

не завершившемся конкурсе на соискание Госпремии СССР по науке и технике 1992г.

Предпосылкой к рождению в октябре 1987г. гипотезы «ВСЕ» явились регистрируемые везде и всюду в жизни и экспериментах неистребимые колебания и волны во всех процессах, явлениях и объектах. Причем и «по пространству» и «по времени».

Вероятно – стохастические попытки сгладить, выравнять эти непокорные волны на бумаге (и в теории) и порождают лавины аварий, нештатных и чрезвычайных ситуаций с катастрофами «Чернобыля», «Челленджера», «Саяно-Шушенской аварии» («США»), «Фукусимы» и т.д.

Толчком к зарождению ВСЕ-гипотезы стали очевидные волновые процессы колебания всех оцениваемых (около 10) параметров сварных соединений титановых сплавов на макро- и микроуровне (с высокой амплитудой). В ходе их длительного старения геометрия, поля напряжений образцов и кристаллической решётки, твёрдость, плотность дислокаций, химсостав и др. параметры в первые 24-120ч старения менялись синусообразно до 80% от исходной величины. И этот процесс не заканчивался через 500, 1500ч. и более. Последующие исследования показали, что и сам основной металл до сварки даже в нормальных условиях (и в «стабилизированном» термообработкой состоянии) непрерывно меняет, по волновому закону вида нерегулярных колебаний, свои размеры и форму, плотность и даже массу. Синусообразные малоамплитудные волны чередуются со скачками, достигающими «катастрофических» величин. Эти «гигантские волны» или «волны – убийцы», по терминологии океанологов, в твёрдом теле могут достигать 6-12% по геометрии и плотности, и до 1% по массе на макроуровне (на «микро-», как отмечалось, до 80% и более). Это на десятки порядков (!) выше разрешённых теорией «расчётных» значений. «Рекордные» скачки совпали со спитакским землетрясением декабря 1988г. и событиями августа 1991г. Эти и другие открытые в эти годы эффекты (макродефект массы и геометрии, с их изменением при сборке на те же колоссальные величины; влияние на свойства твёрдых тел их фазо-эволюционных и возрастных характеристик и т.д.) потрясают не только наши представления о мире, но и официальные «устои» его уже многовековой и даже тысячелетней (с Демокрита и его «атомизма») естественно – научной картины мира. Оказывается, мир и Вселенная не просто Едины, а и впрямь – безбрежный живой Организм, где нет косного, неизменного, изолированного, случайного. И это даёт неограниченные возможности в жизни и технике, в обеспечении их качества и безопасности.

Именной указатель

А		Д	
Абдулкадыров М.А.	13, 89	Домнин А. В.	109
Альянов А.В.	117	Давыдов А.Н.	73
Архипов С.А.	18, 56, 59, 63, 66, 75		
Афанасов Д.С.	26	Е	
Ахметов Р.Н.	9	Елизаров Д.А.	73
Б		З	
Бабаянц Г.И.	39, 40, 86	Запотылько Н.Р.	28
Бабаянц К.Г.	39, 40, 86	Заварзин В.И.	56
Белоусов С.П.	89	Зверев А.В.	33
Беляев К.С.	63	Зорина М.В.	102,104
Богачев Е.А.	86	Зубко А.В.	66
Бурыкин В.В.	97		
В		И	
Вайнер Ю.А.	102	Игнатов А.Н.	13
Ведутенко В.В.	112	К	
Вельтищева В.В.	80	Камышан З.И.	33
Ведутенко В.В.	115	Карфидов А.О.	78
Виленский А.В.	55	Катков А.А.	28
Г		Кирдина Л.Н.	73
Гречишников В. А.	107	Клебанов Я.М.	73
		Ковалев В.А.	100
		Ковалев С.В.	84
		Козлов А.Н.	73
		Колочкин В.Я.	48

Корнетова Н.В.	117, 119	Моишеев А.А.	7
Королёв П.А.	78	Мороз В.Г.	119
Коротаев В.В.	42	Морозов А.Н.	50
Котов В.В.	36	Морозов С.А.	48, 56, 59, 63, 80
Кравченко С.О.	56		
Кудрявцева Н.В.	80	Н	
Кудрявцев О.Б.	9	Нефедов И.М.	104
Кузин В.В.	93	Никитин Д.Б.	30, 31
		Нонин А.С.	9
Л			
Лавриненко В.И.	95	О	
Лалакин А.В.	66	Овчинников В.В.	119
Лахин А.В.	86	Одинокоев С.Б.	48
Ларионов Н.В.	86		
Ли А.В.	48	П	
Лившиц М.Ю.	73	Пасичный О.О.	111
Локтионов Ю.Д.	39	Патрикеев В.Е.	13, 89
Лобан О.М.	73	Пащенко Е.А.	100
Лельков М.В.	50	Парвулюсов Ю.Б.	52
Лысой Б.Г.	55	Пашков В.А.	55
Ляпусов С.Г.	113	Петасюк Г.А.	91
		Петухов Ю.Е.	109
М		Пестов А.Е.	102, 104
Маслов В.П.	106	Потапова Ю.В.	9
Манохин А.С.	97	Попов Н.Н.	26
Мионов А.И.	78	Проц Л.А.	95
		Пулин Ю.И.	117

Р

Резчиков Е.А.	119
Романов В.Б.	109
Романова Т. Л.	45
Рубец А. А.	109

С

Савельев А.В.	117
Савельев В.Ф.	117, 119
Савельев И.И.	28
Салашенко Н.Н.	102. 104
Сальникова М.А.	59, 63
Свирин в.В.	78
Семенов А.П.	13, 89
Сеник Б.Н.	15
Сидорко В.И.	100
Сизенев В.С.	87
Синельников А.О.	28
Сокольский М.Н.	45
Струля И.Л.	87
Сторож А.Д.	9
Суганеев В.С.	39, 40
Суслов Л.А.	104

Т

Тарасов А. П.	15
Тарасов А. В.	109
Терёшин М.В.	113
Тимофеев А.Н.	86
Трегуб В.П.	45
Торопов М.Н.	102. 104
Тышкунев Н.В.	80

Ф

Федоров М.Ю.	93
Федоров С.Ю.	93
Филатов Ю.Д.	84. 106
Филатов А.Ю.	100

Х

Химич Ю.П.	30, 31
------------	--------

Ч

Чулин И.В.	109
Чурин С.А.	104
Чхало Н.И.	102, 104

Ш

Шайда А.Н.	9
Шаров Ю.А.	89
Шкаманова М.В.	52
Штрапенина Р.Б.	39

УДК 681.7

Размерная стабильность материалов и конструкций оптических и оптико-электронных приборов: Тезисы докладов. – Красногорск: ОАО «Красногорский завод им. С.А. Зверева», 2014. – 124 с.

Публикуется в авторской редакции

Ответственные за выпуск: Архипов С.А., Орешкин А.П., Титов Е.И.

© ОАО «Красногорский завод им. С.А. Зверева», 2014 г.