

Ж. М. Лоредян

## О МАТЕРИАЛАХ ДЛЯ АСТРОНОМИЧЕСКИХ ЗЕРКАЛ

Для получения высококачественных отражательных астрономических телескопов большую роль играет правильный выбор материала для зеркальных объективов.

Основными критериями для оценки выбора материала астрономического зеркала являются:

1. Устойчивость зеркала к деформациям, возникающим при его изготовлении и эксплуатации.
2. Стабильность по времени механических, химических и оптических характеристик материала зеркала.
3. Податливость материала к механической и оптической обработке.
4. Возможность изготовления крупных зеркал.
5. Экономичность и легкодоступность материала зеркала.

Ниже мы рассмотрим все вышеуказанные критерии применительно к разным материалам.

Различают два вида деформаций астрономического зеркала:

- а) Термические деформации, возникающие из-за появления внутренних напряжений в зеркале при изменении температуры окружающего пространства;
- б) Механические деформации, возникающие из-за воздействия внешних нагрузок и от собственного веса при недостаточной разгрузке зеркала.

### § 1. ТЕРМИЧЕСКИЕ ДЕФОРМАЦИИ АСТРОНОМИЧЕСКИХ ЗЕРКАЛ

Применяемые в настоящее время астрономические зеркала из стекла имеют один существенный недостаток. Стеклянные зеркала из-за малой теплопроводности, при изменении температуры окружающего зеркало пространства, не успевают быстро и равномерно выравнивать температуру по всей своей толще. Выравнивание температуры наступает быстрее в крайних, соприкасающихся с окружающим пространством зонах, и медленнее — в середине зеркала. Из-за неравномерного распределения температуры в толще зеркала возникают термические деформации.

Термические деформации являются проблемой механики упругих тел. Каждый элемент объема зеркала при изменении температуры стремится изменить свой объем в соответствии с коэффициентом линейного расширения материала  $\alpha$ . Но если соседние элементы объема обладают разными температурами, то возникают упругие силы, которые деформируют зеркало. Чем больше коэффициент  $\alpha$ , тем больше сила, деформирующая рабочую поверхность зеркала.

Для уменьшения неравномерности распределения температуры в зеркале необходимо, чтобы материал зеркала обладал способностью быстро распространять температуру по всему объему зеркала. Это свойство материала характеризуется его температуропроводностью  $q$ , которая равна:

$$q = \frac{\lambda}{Cd}, \quad (1)$$

где  $\lambda$  — теплопроводность,  $C$  — удельная теплоемкость и  $d$  — удельный вес материала.

Чем выше температуропроводность материала зеркала, тем меньше деформация зеркала.

Деформации зеркала противостоят упругость материала зеркала. Упругость материала характеризуется модулем упругости  $E$ . Чем больше модуль упругости  $E$ , тем меньше деформация зеркала.

При изменении температуры окружающего зеркало пространства наибольшие деформации наблюдаются на внешней крайней зоне зеркала. Край зеркала быстрее принимает температуру окружающего пространства, в то время как внутренняя масса зеркала дольше сохраняет свою первоначальную температуру. Поэтому края зеркала быстрее оседают от общего уровня при понижении температуры и выпячиваются при повышении ее. Этот вид термической деформации в астрономии получил название „эффекта края“. По величине „эффекта края“ можно судить о стойкости астрономических зеркал к термическим деформациям при переменных температурах.

Для уменьшения „эффекта края“ рекомендуются следующие мероприятия [1]:

1. Уменьшение толщины зеркала. Согласно данным Веллмана [2], изменение температуры по времени на поверхности толстого и тонкого зеркала почти одинаково, внутри же толстого зеркала — во много раз медленнее, чем у тонкого. Поэтому тонкие зеркала менее подвержены появлению внутренних термических деформаций. Но уменьшение толщины астрономических зеркал имеет предел, который обусловлен двумя обстоятельствами. Во-первых, утоньшение зеркала не должно препятствовать высоким требованиям к механической устойчивости зеркала при его изготовлении и эксплуатации: из-за малой жесткости тонкие зеркала деформируются от собственного веса и от внешних нагрузок. Во-вторых, утоньшение зеркала не должно благоприятствовать появлению второго вида термической деформации — „эффекта гнущия“, которая возникает при установившейся разности температуры между передней и задней стороной зеркала. „Эффект гнущия“ обратно пропорционален толщине зеркала, о чем подробнее будет сказано ниже.

2. Применение тонких зеркал с повышенной жесткостью. Жесткость тонких зеркал можно повысить применением ребер жесткости. Ребра могут быть отлиты вместе с зеркалом или приварены к нему.

3. Терmostатирование зеркала в телескопе в дневное нерабочее время, для поддерживания средней температуры

приближающейся ночи, что позволит свести до минимума разность температур между зеркалом и окружающим пространством во время ночной наблюдения.

4. Выбор места для установки телескопа с минимальным суточным перепадом температуры.

5. Рациональный выбор материала для зеркала. Этот способ является наиболее эффективным. Для характеристики „эффекта края“ разных материалов Д. Д. Максутов ввел коэффициент  $\psi$ , равный

$$\psi = \frac{Eq}{\alpha}, \quad (2)$$

где  $E$  — модуль упругости,  $q$  — температуропроводность,  $\alpha$  — коэффициент линейного расширения материала зеркала.

Подставляя значение  $q$  из формулы (1) в выражение (2), получаем

$$\psi = \frac{E}{d} \frac{\lambda}{\alpha \cdot C}. \quad (3)$$

Чем больше величина  $\psi$ , тем выгоднее материал для зеркала, в смысле уменьшения „эффекта края“. Из выражения (3) следует, что с целью уменьшения термической деформации, для зеркала следует выбирать материал наиболее упругий и наиболее легкий (отношение  $\frac{E}{d}$ ). По температурным характеристикам данный материал должен иметь малый коэффициент линейного расширения  $\alpha$ , малую удельную теплоемкость  $C$  и большую теплопроводность  $\lambda$ .

Значения  $E$ ,  $d$ ,  $\lambda$ ,  $C$ ,  $\alpha$ ,  $q$  и  $\psi$  для разных материалов даны в табл. 1. Величины этих коэффициентов выбраны из справочников для интервала температуры от  $-20^{\circ}$  до  $+20^{\circ}\text{C}$ .

Из таблицы заметно многократное преимущество металлических материалов перед стеклянными. Благодаря высокой температуропроводности  $q$  и упругости  $E$  коэффициент  $\psi$  у металлов имеет большие значения, чем у стекла. Так, например, применяемые в начале эры рефлекторов брон-

Таблица 1

Материал	$\lambda, \frac{\text{кал}}{\text{см. сек.}^{\circ}\text{C}}$	$C, \frac{\text{кал}}{\text{г.}^{\circ}\text{C}}$	$\alpha, \frac{1}{\text{C}^{\circ}} \cdot 10^{-6}$	$d, \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$	$E \cdot 10^6, \frac{\Gamma}{\text{см}^2}$	$\frac{E}{d} \cdot 10^6$	$q, \frac{\text{см}^3}{\text{сек}}$	$\psi \cdot 10^{10}$	$\omega \cdot 10^{-4}$
Зеркальная бронза	0.2	0.08	18.6	8.6	800	93	0.291	1250	8.92
Сталь	0.11	0.12	11	7.7	2100	273	0.119	2270	4.66
Алюминий	0.538	0.215	24.3	2.7	709	263	0.927	2700	1.67
Никель	0.22	0.1065	13.4	8.9	2085	234	0.232	3610	5.82
Медь	0.94	0.0915	16.5	8.94	1217.5	136	1.148	8470	7.66
Серебро	1	0.0599	19.7	10.5	760	72.4	1.589	6130	12.34
Инвар	0.011	—	0.9	7.9	1400	177	0.022	3420	5.93
Бериллий	0.385	0.392	11.1	1.85	3000	1620	0.531	14350	0.46
Титан	0.036	0.1248	8.2	4.5	988.5	220	0.064	770	3.04
Молибден	0.32	0.061	5.1	10.2	3360	329	0.514	33900	5.62
Хром	0.16	0.106	6	7.19	2590	360	0.21	9070	3.79
Магний	0.376	0.243	26	1.74	457	263	0.889	1560	1.07
Пирекс	0.0024	0.17	3.2	2.25	700	311	0.00627	137	1.28
Сигнал	0.0046	0.224	0-0.7	2.5	1000	400	0.0082	$\infty - 1170$	1.25
Крок K8	0.0023	0.18	7.6	2.52	820	325	0.0051	55	1.40
Фланкт Ф1	0.0016	0.11	7.1	3.57	570	160	0.0041	33	2.83
Плавленый кварц	0.0024	0.18	0.4	2.21	700	317	0.006	1050	1.24

зовые зеркала имеют „эффект края“ в 9 раз меньший, чем зеркала из пирекса.

Уменьшению „эффекта края“ способствует, согласно выражению (3), малое значение коэффициента  $\alpha$ . Так, например, 8-кратное преимущество плавленого кварца перед пирексом есть результат малого значения его коэффициента  $\alpha$ . Пирекс, благодаря меньшему значению коэффициента  $\alpha$ , имеет преимущество перед другими стеклянными материалами (крон, флинт).

Практического и теоретического исключения тепловой деформации можно добиться, применяя в качестве материала для зеркала кристаллизированное стекло с нулевым коэффициентом линейного расширения — ситалл. Отечественное стеклонарение в настоящее время может изготовить ситалловые заготовки достаточно больших размеров, которые в определенных диапазонах температуры имеют коэффициент  $\alpha$ , равный 0. Согласно выражению (3), при  $\alpha = 0$  коэффициент  $\psi = \infty$ , т. е. теоретически исключается „эффект края“.

Как указывалось выше, существует еще один вид температурной деформации, так называемый „эффект гнутия“. Он проявляется в том, что при наличии постоянной разности температуры  $\Delta t$  между передней и задней поверхностями зеркала, в толще его, возникает и устанавливается градиент температуры, который, деформируя зеркало, ведет в первом приближении к изменению фокусного расстояния. Вследствие „эффекта гнутия“ зеркало изменяет стрелку кривизны на величину

$$\Delta x = \frac{D^2 \cdot \alpha \cdot \Delta t}{8l}, \quad (4)$$

где  $D$  — диаметр зеркала,  $l$  — толщина его,  $\alpha$  — коэффициент линейного расширения материала зеркала,  $\Delta t$  — установившаяся разность температуры между поверхностями зеркала.

Для уменьшения „эффекта гнутия“, согласно выражению (4), следует выполнять следующие условия: во-первых, изготавливать зеркала с большой толщиной; во-вторых, изготавливать зеркала из материалов с малым коэффициентом  $\alpha$ ;

в третьих, иметь малое значение  $\Delta t$ . Если соблюдение II и III условий благоприятствуют исключению обоих видов тепловой деформации („эффекта края“ и „эффекта гнущия“), то соблюдение I условия приводит к определенному противоречию. Для уменьшения „эффекта края“, как известно, выгодно иметь тонкие зеркала, но в то же время уменьшение толщины зеркала благоприятствует появлению „эффекта гнущия“. Поэтому борьбу с „эффектом гнущия“ выгоднее вести соблюдением II и III условий, т. е. рациональным подбором материала зеркала. Для уменьшения установившегося градиента температуры в толще зеркала из-за наличия постоянной разницы температуры  $\Delta t$  между его поверхностями и для уменьшения температурной деформации соответственно необходим материал с большой теплопроводностью  $\lambda$  и малым коэффициентом линейного расширения  $\alpha$ .

В отношении уменьшения „эффекта гнущия“, согласно данным табл. 1, также выявляется большое преимущество металлических зеркал перед стеклянными. Металл в первом приближении имеет на два порядка большую теплопроводность, чем стекло, а коэффициент  $\alpha$  стекла лишь в лучшем случае на один порядок меньше коэффициента  $\alpha$  металла.

## § 2. МЕХАНИЧЕСКИЕ ДЕФОРМАЦИИ АСТРОНОМИЧЕСКИХ ЗЕРКАЛ

Механические деформации астрономических зеркал могут возникнуть по следующим двум причинам:

Во-первых, из-за воздействия внешних сил при обработке и эксплуатации зеркала. Этот вид механической деформации выявляется при сильных зажимах зеркала в оправе или на станке, а также при воздействии больших усилий на зеркало при его обработке (сверлении, круглении, шлифовке и т. д.).

Во-вторых, из-за упругого прогиба зеркала под действием собственного веса при недостаточной или неправильной разгрузке зеркала в трубе телескопа. Этот вид механической деформации из-за своей важности подробно изучался

Д. Д. Максутовым [1], а для подтверждения теоретических расчетов в отделе приборостроения Пулковской обсерватории проводились экспериментальные исследования деформации зеркала под действием собственного веса [3]. Кафедрой динамики и прочности машин АГИ им. М. И. Калинина проводился цикл теоретических исследований по определению прогиба зеркала телескопа при различных положениях трубы, деформации оправы и расположении опор зеркала [4].

В астрономических телескопах для исключения упругого прогиба зеркало опирается на некоторое число опор. Каждая опора при различных положениях трубы воспринимает на себя часть нагрузки. Число опор, их расположение выбирается из условия, чтобы деформация зеркала не превышала допустимую величину

$$\delta_1 \leq \frac{\lambda}{8}, \quad (5)$$

где  $\lambda$  — длина световой волны.

Согласно Д. Д. Максутову, деформация разгруженного зеркала выражается следующей величиной:

$$\delta = k \frac{d}{E} \left( \frac{D^4}{l^2} \right) \cos z, \quad (6)$$

где  $k$  — коэффициент, зависящий от единиц измерения, количества опорных точек и их расположения;  $D$  — диаметр;  $l$  — толщина зеркала;  $z$  — угол наклона зеркала к горизонту;  $E$  — модуль упругости;  $d$  — удельный вес материала зеркала.

Следовательно, при заданных размерах, заданной системе разгрузки и заданной ориентировке в пространстве, для уменьшения деформации гнущия от собственного веса необходимо для зеркала выбирать материал наиболее легкий и упругий, т. е. обладающий наибольшим отношением  $\frac{E}{d}$ .

Из табл. 1, сопоставляя значения отношения  $\frac{E}{d}$  для разных материалов, заметно большое преимущество бериллия

перед всеми остальными материалами. Зеркала, изготовленные из пирекса, кроны, кварца, стали, алюминия, имеют примерно одинаковую прогибаемость под действием собственного веса. Маложестки зеркала из серебра, зеркальной бронзы и меди. Для уменьшения механических деформаций зеркала, его оправы и трубы телескопа большое значение имеет малый вес зеркала. Относительный вес зеркала при заданных размерах, заданной минимальной величине деформации и заданной системе разгрузки можно характеризовать коэффициентом Максутова  $\omega$ , равным

$$\omega = \sqrt{\frac{d^3}{E}}. \quad (7)$$

Чем меньше  $\omega$ , тем выгоднее материал. Значения  $\omega$  для различных материалов даны в табл. 1. Самым малым относительным весом обладает зеркало из берилля (в 6 раз легче, чем зеркало из пирекса). Тяжелыми являются зеркала из флинта, зеркальной бронзы, меди, молибдена, инвара, серебра, стали. Приблизительно одинаковый относительный вес имеют зеркала из пирекса, кроны, плавленого кварца, алюминия и магния. Значительного уменьшения собственного веса зеркала можно достигнуть за счет применения сотовой или механически облегченной конструкции.

### § 3. ВЫБОР МАТЕРИАЛА ДЛЯ АСТРОНОМИЧЕСКОГО ЗЕРКАЛА

После подробного рассмотрения устойчивости ряда материалов к тепловым и механическим деформациям, выясним другие требования, предъявляемые к материалам астрономических зеркал. Табл. 1 показывает, что по лучшим значениям коэффициентов Максутова  $\psi$ ,  $\omega$  и отношения  $\frac{E}{d}$  на первом месте стоит бериллий. Целесообразность его применения в качестве материала для астрономических зеркал подробно изучена Н. Н. Михельсоном [5]. Механическая обработка берилля затруднительна из-за его хрупкости. Оптическая обработка его возможна, но требует специальных абразив-

ных порошков. Качество полированной поверхности берилля удовлетворительно — грануляция и рассеяние света у берилля не хуже, чем у стали [6]. Свежеотполированная поверхность его быстро тускнеет, но хорошо покрывается слоем алюминия. Берилль очень ядовитый материал и требуются чрезвычайные предосторожности при работе с ним. Технологически очень трудно изготавливать большие заготовки из берилля. Вышеуказанные недостатки, а также дефицитность и высокая стоимость не позволяют в настоящее время применять берилль в качестве материала для астрономических зеркал, за исключением случая малых зеркал специального назначения.

Доступным и достаточно хорошим материалом для зеркал по температурным характеристикам является нержавеющая сталь. Податливость механической и оптической обработке, хорошая коррозийная устойчивость позволяют изготавливать из стали качественные астрономические зеркала, но, правда, небольших размеров. Большой удельный вес стали, а отсюда и большой относительный вес, при изготовлении и эксплуатации крупных зеркал приводит к значительным механическим деформациям и усложняет систему разгрузки и балансировку телескопа.

Малая жесткость и плохое качество отполированной поверхности титана и магния, дефицитность и большой относительный вес молибдена являются причинами отказа от применения их в качестве материала для зеркала.

Хорошим материалом для астрономических зеркал является плавленый кварц. Благодаря очень малому значению коэффициента теплового расширения  $\alpha$  у зеркал из кварца практически отсутствуют термические деформации. Они достаточно жестки и легки. Оптическая обработка кварца из-за высокой твердости проходит несколько медленнее пирекса, но быстрее металлов. Качество поверхности кварца высокое, он устойчив к коррозийным воздействиям окружающей атмосферы. Но высокая стоимость и трудность отливки больших дисков из плавленого кварца ограничивают применение его в качестве материала для зеркал. Кроме того, все материалы, обладающие малым коэффициентом  $\alpha$ ,

в число которых входит и кварц, имеют два существенных недостатка, ухудшающие качество изображения и усложняющие конструкцию телескопа:

1. Малое значение коэффициента  $\alpha$  способствует неизменности фокусного расстояния зеркала при перепадах температуры окружающего пространства. Но труба телескопа, изготавливаемая обычно из металла (сталь, алюминий), имея большой коэффициент  $\alpha$ , смещает кассетную часть от фокуса. Происходит дефокусировка системы, устранение которой требует частого вмешательства астронома при наблюдении или же заставляет вводить в конструкцию телескопа специальные устройства, автоматически компенсирующие дефокусировку системы.

2. При использовании материала с малым значением коэффициента  $\alpha$  требуется между зеркалом и оправой, изготавливаемой обычно из материалов с большим коэффициентом  $\alpha$  (сталь, алюминий), оставлять значительный температурный зазор. Это приводит к смещению зеркала в оправе и разъюстировке телескопа.

Как говорилось выше, полное исключение тепловых деформаций достигается применением ситалла, имеющего близкий к нулю коэффициент  $\alpha$ . Жесткосные и весовые характеристики ситалла аналогичны пирексу, плавленому кварцу и алюминию. Быстрая изготовления и контроля из-за малого времени температурной отстойки зеркала, возможность оптического исследования внутренних напряжений, отсутствие термических деформаций выдывают ситалл из одно из первых мест в качестве материала для астрономического зеркала. Но недостатки материалов с малым значением коэффициента  $\alpha$ , хрупкость, плохая механическая обрабатываемость и значительная стоимость не дают ситаллу решающего преимущества перед металлом.

Среди металлических материалов, указанных в табл. 1, особого внимания заслуживает алюминий и его сплавы. Доступность, дешевизна, достаточно высокая жесткость, устойчивость к тепловым деформациям, малый удельный вес, возможность отливки крупных заготовок благоприятствуют применению их в качестве материала для астрономических зер-

кал. Но качество поверхности зеркала, изготовленного из алюминия и его сплавов, не отвечает высоким требованиям, предъявляемым к отражательной оптике. Из-за мягкости материала поверхность зеркала при шлифовке и, особенно, при полировке покрывается царапинами. Повышение твердости, благодаря применению особо твердых алюминиевых сплавов или анодированию рабочей поверхности зеркала до  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , не исключает окончательно указанный недостаток из-за невысококачественной полировки и значительной пористости отражающей поверхности. Исключить эти недостатки возможно покрытием поверхности алюминия тонкой пленкой более твердого, беспористого металла. В качестве таких материалов целесообразнее употребить хром или никель, обладающие высокой коррозийной стойкостью. Полированная поверхность никеля или хрома имеет значительную отражательную способность, практически не меняющуюся при коррозийном воздействии атмосферы. Отражательная способность хромовых и никелевых пленок вполне достаточна для проведения оптического контроля при изготовлении зеркала. Нанесением в вакууме тончайшей алюминиевой пленки можно довести отражение рабочей поверхности до 90% и повысить отражательную способность зеркала в ультрафиолетовой области.

Технологические этапы изготовления такого зеркала должны быть следующими:

а) предварительное приданье формы поверхности основы зеркала точением и обработкой свободными абразивными порошками;

б) покрытие рабочей поверхности никелевыми или хромовыми пленками;

в) обработка под оптическую поверхность.

Наносимый слой металла должен иметь толщину, достаточную для шлифовки и полировки.

Нами для исследования возможности изготовления астрономических зеркал из алюминиевого материала с хромовыми и никелевыми покрытиями был проведен цикл экспериментальных работ.

По рекомендации НИИ материалом для зеркала был выбран алюминиево-магниевый сплав АМгбЛ.

Этот сплав предназначен для изготовления деталей, подвергающихся коррозийным воздействиям, несущих средние статические и малые ударные нагрузки, т. е. соответствует требованиям, предъявляемым к материалам астрономических зеркал.

Химический состав сплава АМгбЛ следующий:

1. Основные компоненты:

магний	—	6 — 7%
бериллий	—	0.02 — 0.1%
титан	—	0.05 — 0.15%
цирконий	—	0.05 — 0.2%
алюминий	—	остальное

2. Примеси:

кремний	—	0.2%
железо	—	0.2%
марганец	—	0.2%

Сплав готовился в коксовом горне в графитовом тигле. Заготовки отливались методом литья в песчаную форму. С целью снятия напряжений, возникающих при литье и механической обработке, заготовки зеркал проходили цикл термической обработки. Вначале детали подвергались полуторакому 200-часовому отжигу для снятия литьевых напряжений, затем после механической обработки — 500-часовому тонкому отжигу для снятия напряжений от „наклела“.

Механические свойства отлитых образцов даны в табл. 2.

Прочность и твердость алюминиево-магниевого сплава больше, чем у чистого алюминия. Значения их еще более повышаются после термообработки. Модуль упругости сплава почти такой же, как и у алюминия:  $E = 7300 \text{ кг}/\text{мм}^2$ . Удельный вес его:  $d = 2.62 \text{ г}/\text{см}^3$ . Коэффициент линейного

Таблица 2

Состояние материала	Механические свойства				
	$\delta_s$ кг/мм <sup>2</sup>	$\sigma_b$ кг/мм <sup>2</sup>	$\sigma_{\text{ж}}$ кг/см <sup>2</sup>	$H_B$ кг/мм <sup>2</sup>	$\delta\%$
Литое	12.7	23.8	1.6	70	9.2
Отожженное	13	21.6	0.4	76.3	4.3

расширения при  $0^\circ C$   $\alpha = 23.8 \cdot 10^{-6} \frac{1}{C}$ . Теплопроводность при  $0^\circ C$   $\lambda = 0.275$  кал/см·сек  $C$ . Теплоемкость при  $+20^\circ C$   $C = 0.226$  кал/г  $C$ . Температуропроводность  $q = 0.465$  см<sup>2</sup>/сек. Коэффициент Максутова  $\psi = 1420 \cdot 10^{10}$ . Коэффициент Максутова  $\omega = 1.57 \cdot 10^{-4}$ . Значение отношения  $\frac{E}{d} = 278$ .

Сравнение алюминиевого сплава АМгБЛ с другими материалами для астрономических зеркал показывает следующее. По термическим характеристикам (коэффициенты  $q$  и  $\psi$ ) он значительно превосходит наиболее ходовой материал для зеркал-пирекс. Термическая деформация сплава от „эффекта края“ в 10 раз меньше, чем у пирекса. Деформация зеркала от „эффекта гнутия“ из-за высокой теплопроводности сплава АМгБЛ по сравнению с пирексовыми зеркалами практически отсутствует. Теплопроводность сплава в 110 раз выше теплопроводности пирекса. Хотя сплав АМгБЛ по термическим характеристикам уступает чистому алюминию, но из-за более высоких механических и химических характеристик его следует предпочесть алюминию. По прочности сплав в 2—3 раза превосходит алюминий, по твердости — в 3—4 раза. Относительное удлинение его почти в 5 раз меньше, чем у алюминия. Значительная твердость сплава позволяет производить предварительную обработку вплоть до полировки перед нанесением слоя хрома или никеля. По жесткости зеркала из сплава АМгБЛ также несколько превосходят алюминиевые зеркала, что позволяет отливать более тонкостенные ребристые заготовки.

Для изучения возможности изготовления астрономических зеркал из сплава АМгбЛ с хромовыми и никелевыми покрытиями был проведен обширный цикл экспериментальных работ. Разрабатывались технологии нанесения и точной обработки покрытий, изучалось температурное и химическое воздействие окружающей среды на составные зеркала. В результате экспериментов выявилась возможность применения металлических зеркал из сплава АМгбЛ с хромовым и никелевым покрытием в астрономической оптике.

## Ժ. Մ. ԿՈՐԵՅԱՆ

## ԱՍՏՂԱԳԻՏԱԿԱՆ ՀԱՅԵԼԻՆԵՐԻ ՄԱՍԻՆ

## Ա մ փ ռ փ ո ւ մ

Որպես աստղագիտական հայելու նյութ առաջարկվում է օգտագործել ԱՄբ6Լ համաձուլվածքը: Մատչելիությունը, էժանությունը, բավականին բարձր կոշտությունը, ջիրմալին դեֆորմացիաների դեմ դիմացկունությունը, փոքր տեսակարար կշիռը, ալդ բոլորը նպաստում են համաձուլվածքի օգտագործմանը, որպես նյութ աստղագիտական հայելու համար: Բայց համաձուլվածքի փափկության և վատ քիմիական դիմացկունության պատճառով հայելու մակերեսի որակը ցածր է:

Ալդ թերությունները վերացնելու համար առաջարկվում է համաձուլվածքի մակերեսը պատել ավելի կարծր և կորողիալի դեմ դիմացկուն մետաղի շերտով — էլեկտրոլուծությական խրոմով և քիմիական նիկելով:

Խրոմապատված և նիկելապատված ԱՄբ6Լ համաձուլվածքից հայելիներ պատրաստելու հնարավորությունը հետազոտելու համար կատարվել են փորձառական աշխատանքներ: Հետազոտումները հայտնաբերեցին ալդպիսի հայելիների պատրաստման հնարավորությունը:

G. M. LORETSIAN

## THE MATERIALS USED FOR ASTRONOMICAL MIRRORS

### Summary

The alloy AMg6L is recommended as a material for astronomical mirrors. This material is available, cheap, has a quite a high degree of a stiffness, it is durable to thermal deformations and has a small specific weight. All these are favorable factors for using it as a material for astronomical mirrors. But because of the fact that the alloy is soft and has a bad chemical durability the surface of the mirror is not of high quality. To exclude these shortcomings we propose to cover the alloy surface with a harder and anticorrosive metall. Electrolytic chrome or chemical nickel is suggested. The possibility of making a mirror from the alloy AMg6L with a chrome or nickel film is considered. The experiments have revealed the possibility of making such mirrors.

### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. *Д. Д. Максутов, Изготовление и исследование астрономической оптики. ГИТТА, Л.-М., 1948.*
2. *P. Wellman, Z.für Ap., 25, 104, 1954.*
3. *Е. Г. Гроссвальд, К. С. Тавастшерна, Известия ГАО, 177, 114, 1964.*
4. *Т. В. Будников, В. М. Фридман, Известия ГАО, 177, 119, 1964.*
5. *В. С. Чернина, Известия ГАО, 177, 125, 1964.*
6. *В. М. Фридман, Известия ГАО, 177, 138, 1964.*
7. *В. А. Пальмов, В. А. Пупырев, Известия ГАО, 177, 145, 1964.*
8. *Н. Н. Михельсон, Известия ГАО, 162, 153, 1958.*
9. *Д. Коупер, Б. Миддлхёрст. Телескопы. Изд. ИЛ, М., 1963.*