

ИНЖ. И. Е. АЛЕКСАНДРОВ

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ПРОБНЫХ СТЕКЛ



ИЗДАНИЕ 1932

И. Е. АЛЕКСАНДРОВ

ИНЖ.-ОПТИК ЗАВЕД. ОПТИЧ. ЦЕХОМ ОПЫТНОГО ЗАВОДА ВООМП

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ПРОБНЫХ СТЕКЛО

ПОД РЕДАКЦ. С. И. ФРЕЙБЕРГА



РЕДАКЦИОННО - ИЗДАТЕЛЬСКИЙ ОТДЕЛ ВООМП

Л Е Н И Н Г Р А Д

1 9 3 2

ОГЛАВЛЕНИЕ

	СТР.
Предисловие	3
От автора	5
Глава I. Общие понятия о пробных стеклах и пользовании ими.	6
Материал. Кольца Ньютона. Полосы равной толщины. Отрицательные ошибки „ямы“. Зональные ошибки.	.
Глава II—Сферометр	18
Вывод формулы. Сферометр на 3-х ножках. Кольцевой сферометр. Кольцевой сферометр для астрономических зеркал.	
Глава III. Изготовление сферических пробных стекел	26
Диаметр пробных стекол. Расчет стрелки. Изготовле- ние пробных стекол. Наклейка и обдирка. Мелкая шли- фовка. Проверка и подготовка к полировке. Изготовление полировальников. Проверка поверхностей. Полировка. Штрихи. Устранение общих ошибок. Отстой. Метод на- блюдения интерференционной картины. Изготовление пробных стекол по шаблонам.	
Глава IV. Изготовление пробных стекол по ми- крометру.	46
Особенности этого способа. Приспособления. Обдирка. Мелкая шлифовка. Отличие микрометров. Полировка. Ра- бочие пробные стекла.	
Глава V. Изготовление плоских пробных стекол	55
Стекланная линейка. Массовое изготовление рабочих пло- ских стекол. Изготовление контрольных плоских стекол. Способ трех уравнений. Особенности изготовления кон- трольных плоских стекол. Применение растиралок. При- менение плоских пробных стекол в механическом про- изводстве.	

Редактор Фрейберг. Технич. ред. Л. Трусов. Сдано в набор 18/X
Подписано к печати 10/XII. Бумага печ. 82 × 111. — 4 л. Колич. печ. знаков
на листе 38048. Тираж 5000 экз. Ленинградский Областлит № 28072.
Заказ № 1393.

Предисловие

Оптическая промышленность СССР лишь недавно получила право гражданства и начала принимать вид заводской промышленности. Поэтому неудивительно, что литературы по вопросам технологических процессов обработки оптического стекла на русском языке почти не существует. Изданные еще во время царского правительства книги лишь поверхностно затрагивают вопросы обработки стекла и не дают ясного о них представления; однако и эти книги для советского читателя совершенно недоступны, так как в данное время представляют собою библиографическую редкость.

С другой стороны, обработка оптического стекла, в особенности в прежнее время, была основана почти исключительно на искусстве отдельных рабочих. Лишь за последние годы процессы обработки оптического стекла начинают изучаться и получают теоретическое обоснование. Изучение этих процессов, однако, не зашло еще настолько глубоко, чтобы существенно повлиять на изменение применяемых ныне приемов обработки стекла, которые и по сей час главным образом зависят от искусства и опытности рабочих.

Одной из весьма важных областей обработки оптического стекла является изготовление пробных стекол. Пробное стекло является для оптика главным пособием, без помощи которого он не исполняет решительно ни одной работы. Оно представляет собой стеклянный шаблон, служащий для проверки поверхности изготавливаемой оптической детали. Изготавливаются пробные стекла в настоящее время как для плоскостей, так и для любой шаровой поверхности заданного радиуса; изготавливать же пробные стекла для иных поверхностей, например цилиндрических, мы еще не умеем.

Так как проверка обрабатываемой поверхности производится при помощи пробного стекла, то, естественно, точность изготовления ее будет, главным образом, зависеть от точности исполнения самого пробного стекла. Чем точнее сделано пробное стекло, тем точнее можно воспроизвести заданную поверхность. Отсюда видно, какую важную роль играет пробное

стекло в процессе обработки оптических деталей и почему оно требует особой точности для своего исполнения.

В настоящей книге „Изготовление пробных стекол“ инж. И. Е. Александров подробно описывает весь ход процесса изготовления и проверки пробного стекла для плоских и шаровых поверхностей и дает описание приборов, употребляемых при этом. Сообщаемые И. Е. Александровым сведения являются описанием приемов работы, применяемых на наших оптических заводах.

Сам автор книги является нашим лучшим специалистом по обработке оптического стекла, который собственными руками проделал все описываемые им производственные операции.

Книга изложена достаточно популярно, а потому доступна весьма широкому кругу читателя. Она явится хорошим пособием для студентов Учебного Комбината Точной Механики и Оптики и других аналогичных ему учебных заведений, а также и для повышения квалификации технического персонала, инженеров и рабочих наших предприятий.

С. И. Фрейберг

Оптическое производство, столь молодое в России — начало его следует отнести к 1905 году, когда при бывшем Обуховском заводе был открыт Механико-Оптический отдел — занимает особое место среди других отраслей промышленности. В то время как в механическом производстве, например, качество продукции в такой же степени зависит от рабочего, как и от качества станка, в оптике качество зависит на 90% от рабочего. Происходит это потому, что большинство операций, в том числе самые ответственные, зависят исключительно от умения и аккуратности рабочего. Изготовление же пробных стекол представляет одну из особо трудных частей оптического производства, ибо почти все операции производятся ручным способом. Поэтому подготовка кадров для этой работы представляет сравнительно трудную и большую задачу, тем более, что готовить кадры почти некому, так как, благодаря чрезвычайному росту оптической промышленности, ощущается сильный недостаток в квалифицированных оптиках. Оптиков же с техническим образованием и того меньше.

Поэтому автор предлагаемой книги надеется, что практические указания, являющиеся результатом двадцатилетней практики, помогут молодым оптикам быстрее овладеть оптическим „искусством“ (я подчеркнул „искусством“ именно потому, что работа оптика в настоящее время, в особенности на ножном станке ближе подходит к искусству, чем к ремеслу) и тем самым послужат делу подготовки кадров.

Автор

ГЛАВА 1

ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ О ПРОБНЫХ СТЕКЛАХ И ПОЛЬЗОВАНИИ ИМИ

Самою ответственной операцией в оптическом производстве является полировка оптических поверхностей (плоских или сферических), с довольно большой точностью как в смысле соблюдения заданного радиуса кривизны, так и в смысле отступлений от сферы или плоскости.

Вычислительное Бюро Государственного Оптического Института требует, чтобы радиусы кривизны оптических поверх-



Рис. 1

ностей выдерживались с точностью до 0,1%. Если представить сплошной линией теоретически вычисленную поверхность, а пунктирными линиями допустимые отступления (рис. 1) и посредством δ обозначить величину отступления изготавливаемой поверхности от заданной, то $\delta = \pm 0,001 \text{ мм}$ ($1\mu = 1 \text{ микрон}$) при диаметре стекла около 50 мм. Разница между отдельными поверхностями при массовой продукции допускается только в 0,5 μ , а при изготовлении ответственных фотографических объективов 0,25 μ . Отступления же от сферы или плоскости — то, что называется астигматизмом — допускается всего в 0,05 μ . Плоские поверхности призм необходимо изготавливать еще с большей точностью.

Чтобы обеспечить такую точность, полировка оптических деталей производится под особые стеклянные калибры, называемые пробными стеклами.

Пробным стеклом называется стеклянный диск, диаметром несколько больше, чем изготавливаемые линзы, толщиной около 20 мм., у которого одна поверхность плоская, полированная на сукне, а вторая — сферическая, заданного радиуса кривизны.

визны, но обратного знака, т. е. для выпуклых линз — вогнутая, а для вогнутых — выпуклая. На рис. 2 представлены 3 пробных стекла — выпуклое, вогнутое и плоское.

Материал Самым подходящим материалом для изготовления пробных стекол следовало бы признать кварц из-за его высокой твердости и незначительного коэффициента расширения. Но кварц слишком редок и дорог. Поэтому предпочтение следует отдать пирексу — стеклу, изготавливаемому из почти чистого кварцевого песка. Пирекс значительно тверже зеркального стекла и, подобно кварцу, обладает небольшим коэффициентом расширения. А это качество имеет существенное значение при отстойке,

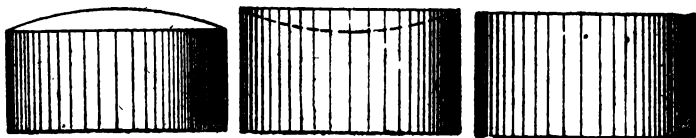


Рис. 2

о чем будем говорить ниже. Пирекс изготавливается на Ленинградском Заводе Оптического Стекла (ЛенЗОС) и стоит всего около 6 р. за кг. Заказывать его следует в виде дисков соответствующих диаметров, толщиной 20—25 мм.

Кольца Ньютона Проверка поверхностей под пробные стекла производится по методу наблюдения интерференционных колец Ньютона. Если некоторую линзу *Л* (рис. 3) с довольно большим радиусом кривизны, наложить на плоскую стеклянную пластинку *П*, вытерев предварительно и ту и другую мягкой тряпкой с денатуратом и смахнув пыль кисточкой, то между ними получатся кольца Ньютона. В центре будет виден черный кружок, а вокруг него ряды концентрических радужных колец, более широких около темного кружка и постепенно суживающихся к периферии. Окраска колец к середине более яркая, к краю постепенно бледнеет. На некотором расстоянии от центра кольца перестают быть видимыми. Объяснением самого явления интерференции мы заниматься не будем, но заметим себе, что явление это вызвано тем, что расстояние между поверхностями стекол, равное нулю в центре, где получился черный кружок,

постепенно увеличивается к краю. Если эти стекла поместить в монохроматический зеленый свет ртутной дуги или наблюдать через зеленый светофильтр, то картина изменится: мы увидим темное пятно в середине и около него ряд кон-

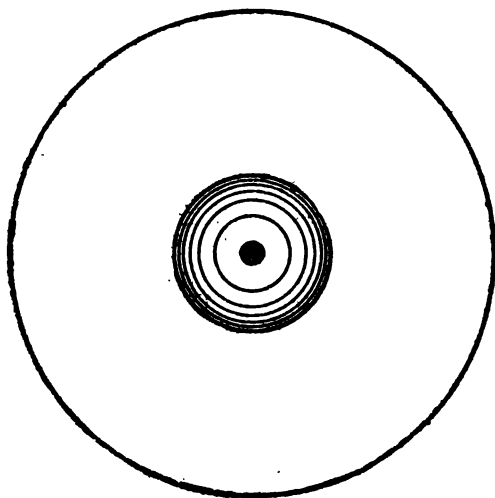


Рис. 3

центрических колец, темных и светлых. В том месте, где находится середина первого темного кольца, считая от центра, расстояние между поверхностями стекол будет равняться $0,5 \lambda$ (половине длины волны) зеленого света. Практически эту величину можно считать равной $0,25 \mu$.¹ В середине четвертого темного кольца расстояние будет равняться 1μ и т. д.

Если на плоское стекло накладывать линзы все с боль-

¹ Фактически длина волны зеленого света равняется $0,546 \mu$.

шим радиусом кривизны, кольца будут получаться все шире, и интерференционная картина будет занимать все большую часть стекла. Если взять линзу диаметром 40 мм и с радиусом кривизны в 200 м, получится ровно 4 кольца. Тогда сферическая поверхность линзы будет отличаться от плоскости на 1 микрон. При радиусе линзы в 800 м и том же диаметре — получится одно кольцо и отступление от плоскости в 0,25 μ .

Полосы равной толщины При такой ошибке, интерференционная картина коренным образом будет отличаться от вышеописанной. В центре уже не будет темного круга, ибо, если попытаться его получить, то все стекло может превратиться в темный круг или „сесть на

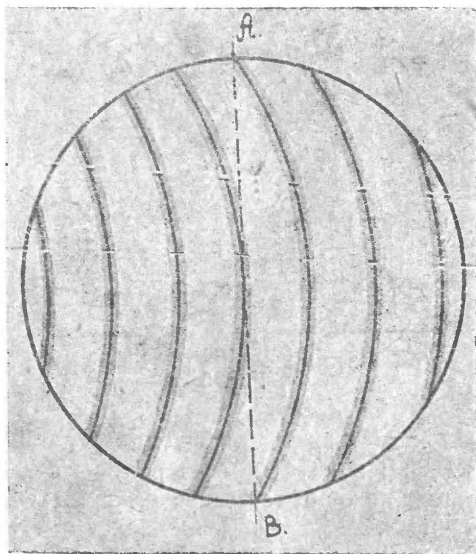


Рис. 4

оптический контакт“, как называется это явление. Стекло в таком случае приходится накладывать так, чтобы в середине был белый цвет; к краю он постепенно будет переходить в соломенно-желтый, темно-желтый, фиолетовый, синий и т. д. В монохроматическом свете будет видно светлое пятно

в середине, потом темное кольцо и светлое. Ошибки в одно кольцо и меньше приходится проверять методом, несколько отличным от только что описанного. Для этого верхнее стекло приходится накладывать на нижнее так, чтобы между ними получился некоторый воздушный клин. Тогда можно будет наблюдать ряд интерференционных полос равных расстояний, изогнутых в той или иной степени. При переходе от

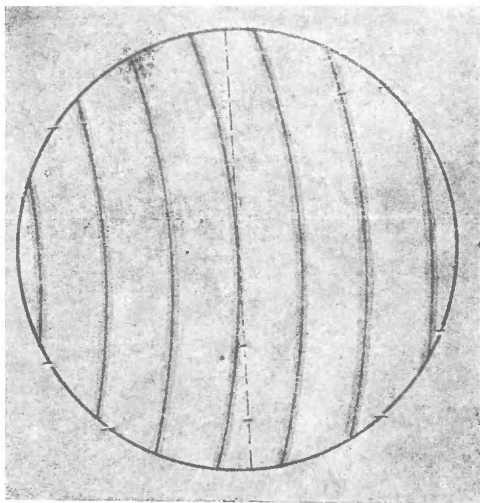


Рис. 5

одной полосы к другой, расстояние между поверхностями изменяется на $0,25 \mu$ и на 4 полосах разница будет в 1μ . А на протяжении всей полосы расстояние между поверхностями остается неизменным.

Если таким способом наложить на плоское стекло линзу с ошибкой в одно кольцо, то картина получится такая, как это представлено на рис. 4. Сплошные кривые линии представляют здесь середины одноцветных полос или середины темных полос при наблюдении в монохроматическом свете. Если провести через концы одной полосы пунктирную линию AB , то заметим, что она пройдет как раз через соседнюю полосу. А так как разница в расстояниях соседних полос равняется

0,25 μ , то мы можем сказать, что разность воздушного слоя между центром и краем равняется 0,25 μ . Принято говорить, что в данном случае имеется ошибка в „одну полосу“. На практике вместо пунктирной линии накладывают на стекло линейку и наблюдают, какую часть соседней полосы отсекает одна сторона линейки; это и определит величину ошибки, выраженную в полосах.

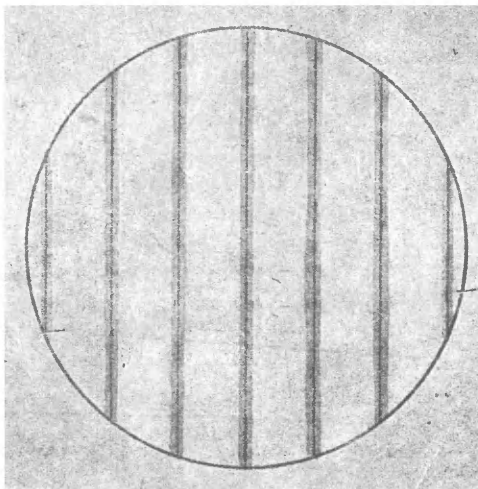


Рис. 6

Рис. 5 представляет интерференционную картину плоскости с ошибкой в 0,5 полосы. Наконец, на рис. 6 изображена картина плоскости с ошибкой за пределами 0,1 полосы.

До сих пор мы говорили об ошибках положительных, т. е. буграх. Бывают и отрицательные, т. е. ямы. В таком случае, интерференционная картина, представленная на рис. 3, получилась бы в виде очень узких колец на краю. С уменьшением ямы на линзе, кольца будут делаться все шире и ярче. Если взять стекло с ямой в 1 μ , то картина будет почти такая же, как и в первом случае, т. е. при бугре в 1 μ , — те же 4 кольца. Чтобы отличить бугор от ямы, требуется некоторый навык. Опытный оптик делает

это с одного взгляда. Дело в том, что при бугре окраска колец в середине более интенсивна, чем по краю, при яме же наоборот. Для неопытного наблюдателя можно порекомендовать такой способ различения: надо слегка надавить пальцем на один край стекла; тогда, в случае бугра, центр картины сместится к месту надавливания; если же на стекле яма — смещения не произойдет. При проверке по методу интерференционных полос равной толщины, бугор от ямы следует отличать следующим способом: если в тонкой части клина (место, где стекла были прижаты одно к другому) полосы обращены выпуклостями, то на стекле яма; если же, наоборот, вогнутостями — то бугор. Так, если на рис. 5 стекло, прижато к плоской пластинке *п* слева, то на нем бугор в 0,5 полосы; если же тонкая часть клина находится справа, то на нем яма такой же величины.

Зональные ошибки

До сих пор мы говорили об ошибках регулярных, представляющих или правильный бугор или правильную яму. Но если положить на плоскую пластинку кусок зеркального стекла, отполированного на сукне, то картина получится вроде той,

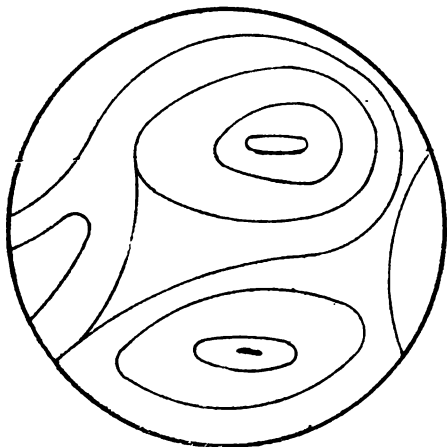


Рис. 7

что представлена на рис. 7. Здесь мы не видим уже тех регулярных ошибок, как это было в предыдущих случаях. Полосы идут неправильно; на одной и той же поверхности одновременно могут быть местные бугры и ямы. При полировке стекол на варе таких больших отступлений от сферы или от плоскости не бывает. Но все же случаются ошибки до 1-2 полос. Эти местные или „зо-

нальные“ ошибки чаще бывают следующих видов.

1. Местный бугор чаще всего бывает вместе с поднятым краем. У неопытных оптиков эта ошибка полу-

чается почти всегда при полировке стекол. Верхняя часть рис. 8 представляет интерференционную картину, а нижняя — профиль поверхности с ошибками в увеличенном виде, причем пунктирная линия представляет профиль требуемой по-

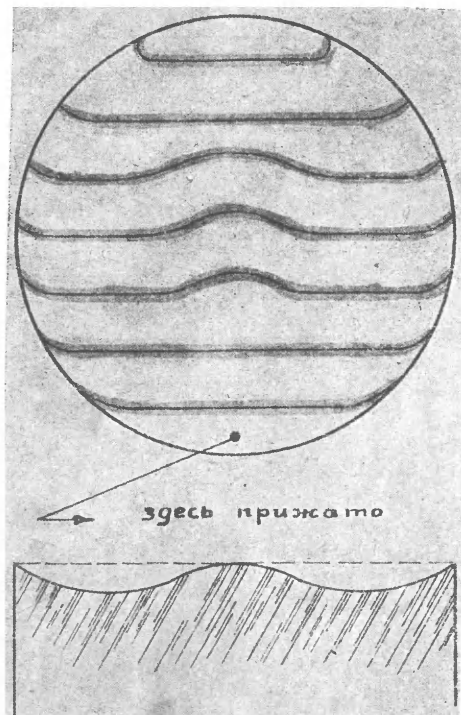


Рис. 8

верхности, а сплошная линия — профиль получившийся. Такая ошибка иногда называется сплюснутым сфероидом.¹

2. Завал или „сорванный край“ получается чаще всего, если начать полировку, не разогрев и не расправив полировальника и представлен на рис. 9 тем же способом.

¹ А. А. Чикин. Отражательные телескопы.

3. Местная яма чаще всего получается вместе с небольшим завалом (рис. 10).

4. Астигматизм, или „корыто“, как его называют оптики, получается главным образом при полировке линз на

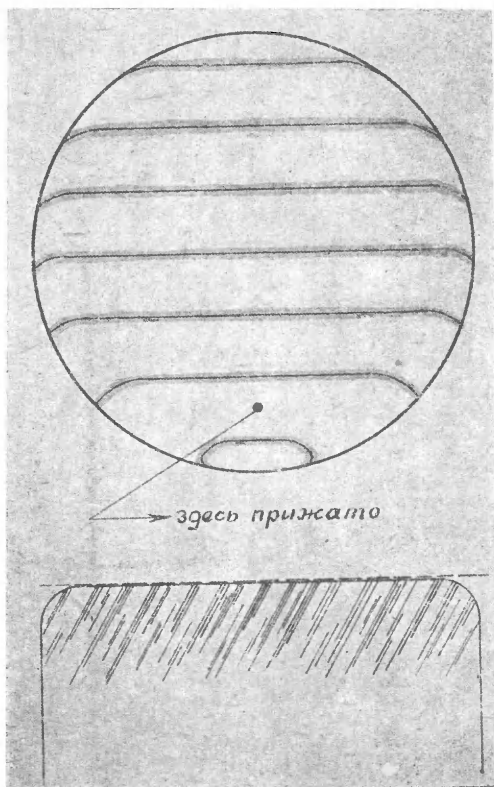


Рис. 9

автоматических станках, благодаря действию наклеечного сургуча. Рис. 11 представляет один из видов астигматизма. На верхней части рисунка представлена интерференционная картина с клином по диаметру AB . Здесь виден бугор в $1/4$ полосы. На нижней части рисунка представлена картина с клином по диаметру CD . В этом направлении имеется бугор в одну

полосу. Значит на этом стекле имеется астигматизм или „крыто“ в $\frac{3}{4}$ полосы.

Вот самые характерные случаи „местных“ или зональных ошибок оптических поверхностей. Часто на одной и

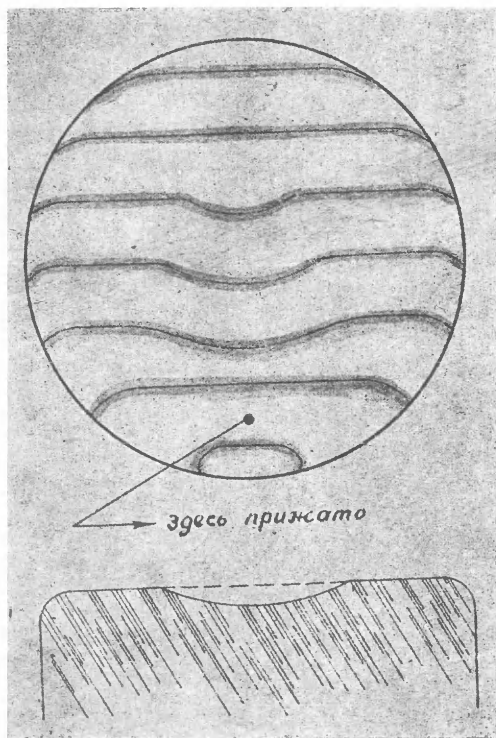


Рис. 10

той же поверхности они встречаются в различных комбинациях. Для распознавания всех этих ошибок с целью их устранения и служат пробные стекла—плоские и сферические, без которых оптические стекла, не изготавливаются кроме астрономических объективов и отражательных зеркал для телескопов. Последние проверяются другими методами.

Изготовление сферических пробных стекол, в зависимости от величины радиусов кривизны, производится тремя спосо-

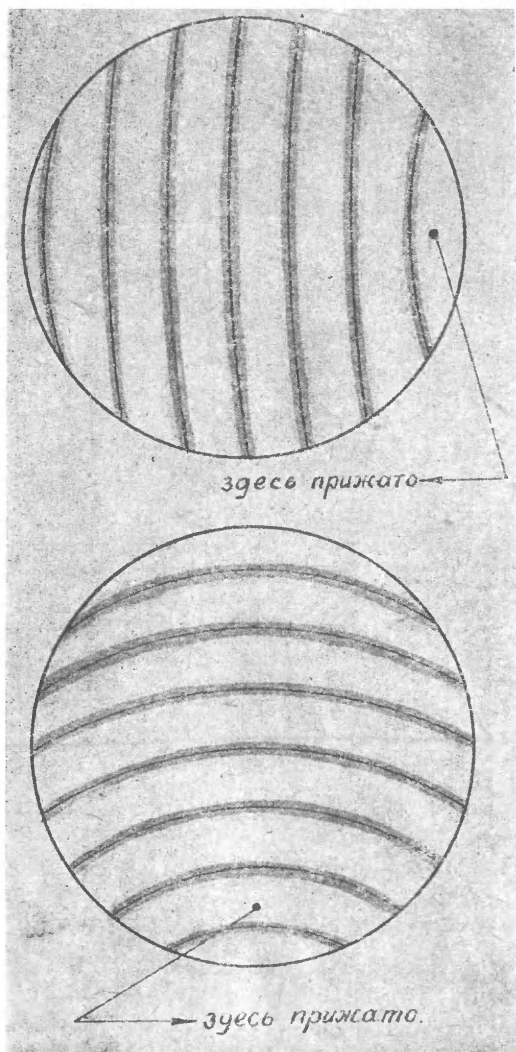


Рис. 11.

бами, отличающимися один от другого методами проверки кривизны стекол при шлифовке. По первому способу — под сферометр — изготавливаются стекла с радиусами кривизны от ∞ до 35 мм. По второму способу — под шаблон — стекла с радиусом 35—15 мм. Наконец, третьим способом — по микрометру — изготавливаются стекла с радиусами от 15 мм и ниже. Мы рассмотрим их один за другим в том же порядке.

ГЛАВА II

СФЕРОМЕТР

Вывод формулы Сферометром называется прибор, посредством которого можно измерить h , т. е. высоту, сегмента сферической поверхности какого угодно

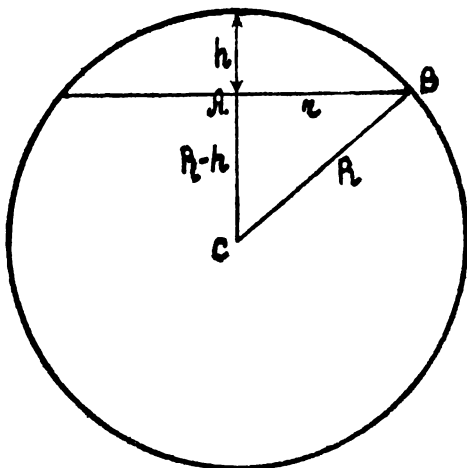


Рис. 12

радиуса при определенной величине диаметра сегмента, равной $2r$. Зная величину h , можно вычислить радиус кривизны сферической поверхности. Рис. 12 представляет пересечение сферы радиуса R с плоскостью чертежа.

Из треугольника ABC имеем

$$CB^2 = AC^2 + AB^2,$$

откуда

$$AC = \sqrt{CB^2 - AB^2}.$$

Подставив обозначения из рис. 12, получаем

$$R - h = \sqrt{R^2 - r^2},$$

откуда

$$h = R - \sqrt{R^2 - r^2} \quad (1)$$

Это — основная формула, по которой определяется h для заданного радиуса при изготовлении пробных стекол.

Подставив сразу обозначения сторон из треугольника ABC , имеем

$$R^2 = r^2 + (R - h)^2,$$

т. е.

$$R^2 = r^2 + R^2 - 2hR + h^2,$$

откуда

$$2hR = r^2 + h^2,$$

т. е.

$$R = \frac{r^2}{2h} + \frac{h}{2} \quad (2).$$

Это и есть формула, при помощи которой определяется величина радиуса кривизны сферической поверхности.

Самым простым видом сферометра является Сферометр на 3-х ножках сферометр, изображенный на рис. 13. Он держится на трех ножках, концы которых

A , B и C слегка закруглены и служат вершинами равностороннего треугольника ABC . Острие D микрометрического винта M , при вращении последнего, может быть приведено до соприкосновения с плоскостью треугольника ABC и тогда нижний конец его совпадает с центром O окружности, описанной около треугольника ABC . Радиус этой окружности и является радиусом сегмента сферической поверхности. По изготовлении сферометра, величина r измеряется и дается вместе с прибором. Высота же сегмента или величина h в нашей формуле определяется на сферометре следующим способом. Прибор ставится на плоское стекло и микрометрический винт M опускается до соприкосновения нижнего конца с поверхностью стекла. Требуется некоторый навык, чтобы уловить тот момент,

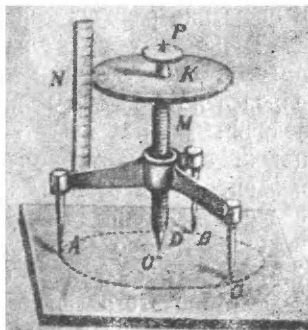


Рис. 13

и дается вместе с прибором. Высота же сегмента или величина h в нашей формуле определяется на сферометре следующим способом. Прибор ставится на плоское стекло и микрометрический винт M опускается до соприкосновения нижнего конца с поверхностью стекла. Требуется некоторый навык, чтобы уловить тот момент,

когда произошло соприкосновение. Если конец винта еще не дошел до стекла, то сферометр прочно стоит на нем, но как только винт коснется поверхности, при дальнейшем завинчивании уже не все ножки будут касаться поверхности и сферометр начинает вращаться вместе с винтом. При постукивании пальцем по ножкам в этом случае раздается легкий стук. Но вращение и постукивание сейчас же прекращается, стоит только винт немного повернуть обратно. Этим обстоятельством пользуются для того, чтобы конец винта M совместить с плоскостью стекла, что и удастся сделать с точностью до 2—3 микронов. Когда это достигнуто, отвернув гайку P и удерживая винт M неподвижно, круг K поворачивают так, чтобы нулевое деление приходилось против линейки N . Целые миллиметры отсчитываются по линейке. Нулевое деление приходится против круга K . Деления идут от нуля в обе стороны. Доли миллиметра отсчитываются на круге K , который разделен обыкновенно на 250 частей. При шаге винта в 0,5 мм получается цена делений в 2 микрона. Выверенный таким способом сферометр ставится на сферическое стекло, затем винт, в зависимости от того, вогнутая или выпуклая линза, описанным способом ввинчивается или вывинчивается до соприкосновения с поверхностью, после чего производится отсчет стрелки h . Вычисление радиуса кривизны R производится по формуле (2).

Точность сферометра на 3-х ножках не очень велика, потому что самый момент соприкосновения может быть определен только с точностью до 2 микронов. Кроме того, величина r не является величиной постоянной, так как ножки сферометра кончаются маленькими закруглениями и, в зависимости от кривизны поверхности, соприкасаются с последней различными точками. При этом величина r входит в формулу во 2-й степени, поэтому изменение ее на 0,01—0,02 мм сильно сказывается на точности измерения R . Вследствие этого сферометр на 3-х ножках не имеет широкого применения в оптической промышленности, несмотря на его дешевизну. При изготовлении же астрономических зеркал он применяется с успехом.

В оптической промышленности употребляются кольцевые сферометры, обеспечивающие требуемую точность измерения. Их идея принадлежит проф. Аббе (*Abbe*). Изготавливают их фирмы К. Цейсса и К. Бамберга, теперь „Аскания“. Кольцевым сфе-

рометр называется потому, что стекло при измерении накладывается на стальное кольцо (рис. 14), диаметр которого измеряется с точностью до 0,01 мм и половина его является постоянной величиной r для формулы сферометра. Стекло ложится на кромку k , представляющую пересечение плоскости с конической поверхностью, поэтому r остается для поверхностей разной кривизны постоянной величиной, в отличие от сферометра на 3-х ножках. Рис. 15 представляет схему кольцевого сферометра. Кольцо надевается на верхнюю часть прибора и плотно сидит на конусе A . Через верхнюю часть проходит стержень B , оканчивающийся шариком, который упирается в стекло. Стержень посредством груза K надавливается на стекло всегда с одинаковой силой. Средняя часть стержня обработана плоско и на ней укреплена серебряная шкала N , разделенная через 0,1 мм. Она должна быть наделена с большой точностью и если имеются ошибки в пределах 1—3 микронов, шкала должна быть проверена на компараторе, и ошибки указаны

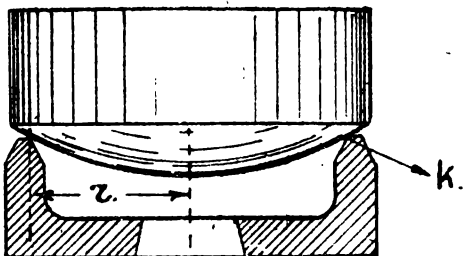


Рис. 14

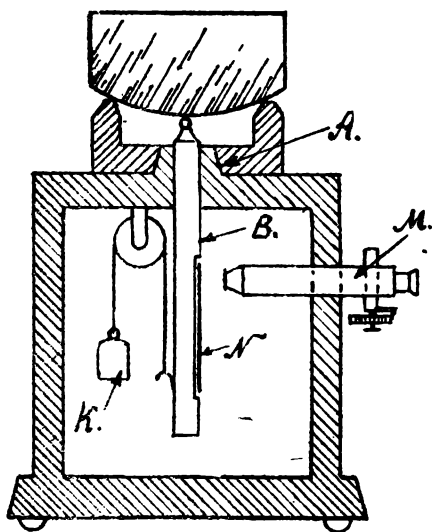


Рис. 15

для поправки отсчета. В правой стенке прибора находится отсчетный микроскоп с микрометрической головкой. Микроскоп

фокусируется на шкалу путем передвижения самого микроскопа, а по глазу — перемещением окуляра. В поле зрения окуляра перемещаются две паутинки посредством микрометрического винта с барабаном, разделенным на 50 частей. При полном обороте барабана паутинки перемещаются на 0,05 мм; таким образом цена делений барабана составляет 0,001 мм. Нулевое положение паутинок отмечено знаком в поле зрения. Шкала иногда делается двусторонняя — с нулем посередине. Но это менее удобно, так как нулевое деление большей частью не совпадает с измерением плоскости и при проверке вносит путаницу. Лучше односторонняя шкала с нулем на краю.

К сферометру прилагается набор колец, начиная от самых маленьких, диаметром около 5 мм, и кончая большими, диаметром 120 мм. Величина r обыкновенно выгравировывается на самом кольце: r_1 для выпуклых стекол и r_2 для вогнутых. К сожалению, кольца, полученные с фабрики, приходится промерять, так как величины r иногда даются с ошибками. При изготовлении пробных стекол, последние надо накладывать на кольцо очень осторожно, чтобы не сделать забороз, а также, чтобы кольцо не сильно стиралось стеклом. Кольца время от времени приходится протачивать заново и снова промерять. Вместо проточки можно кольца шлифовать — внутреннюю часть на грибе, наружную в чашке, — а чтобы получить кромки — слегка шлифовать на плоском шлифовальнике.

При измерении радиуса кривизны только одного стекла, первый отсчет производится по плоскому стеклу, а второй уже по измеряемому. Когда же проверяются парные пробные стекла, то проверка, также как изготовление, производится для обоих вместе, причем для r берется среднее арифметическое от r_1 и r_2 .

Наложив на кольцо одно из стекол, паутинки подводятся так, чтобы ближайшее деление шкалы пришлось точно между ними. Отсчет целых миллиметров и десятых долей производится по шкале, а сотых и тысячных — по барабану. Надо только внимательно следить, чтобы не забыть прибавить 0,05, когда индекс отстоит от штриха шкалы больше, чем на полделения. Начинаящим работникам можно посоветовать такой способ. Наложивши стекло на кольцо, надо сначала паутинки подвесить к индексу. Тогда в поле микроскопа получится примерно такая картина, как это представлено на рис. 16. Затем

медленно перемещать паутинки к штриху a и вместе с тем следить, повернется ли барабан меньше одного оборота или больше. В первом случае сотых и тысячных будет столько, сколько показывает барабан, а во втором случае на 0,05 больше. Показание сферометра, в случае представленном на рис. 16, будет примерно 38.970.

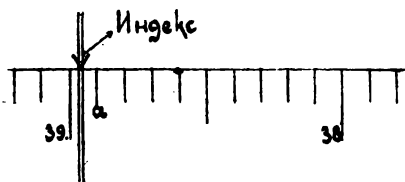


Рис. 16

Так как установка паутинок производится с точностью до 1—2 микронов, отсчет следует производить несколько раз и брать среднее арифметическое от всех показаний.

Получив, таким образом, показания от обоих стекол, нужно от большего отнять меньшее. Разделив на 2, получаем величину h , по которой и вычисляем радиус кривизны по формуле сферометра.

Рис. 17 представляет фотографию сферометра Бамберга. Это очень портативный прибор, весьма удобный в работе. Зеркало сбоку направляет свет от лампы внутрь прибора.

Стенки внутри покрыты белой краской, отражающей свет, благодаря чему освещение шкалы получается мягкое и ровное. Прибор стоит 900 р. золотом.

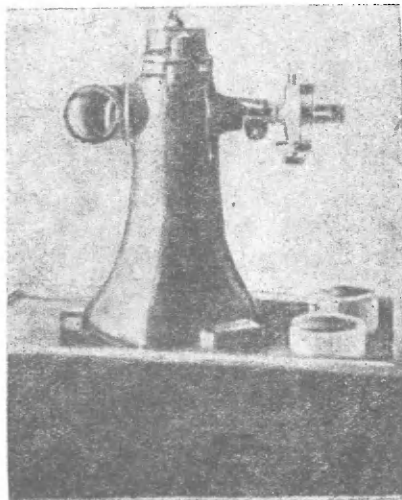


Рис. 17

Кольцевой сферометр для астрономических зеркал. Тою же фирмой Бамберга изготовляются кольцевые сферометры для измерения радиусов кривизны больших астрономических зеркал. Так как большие зеркала невозможно накладывать на сферометр, то этот сферометр сам ставится

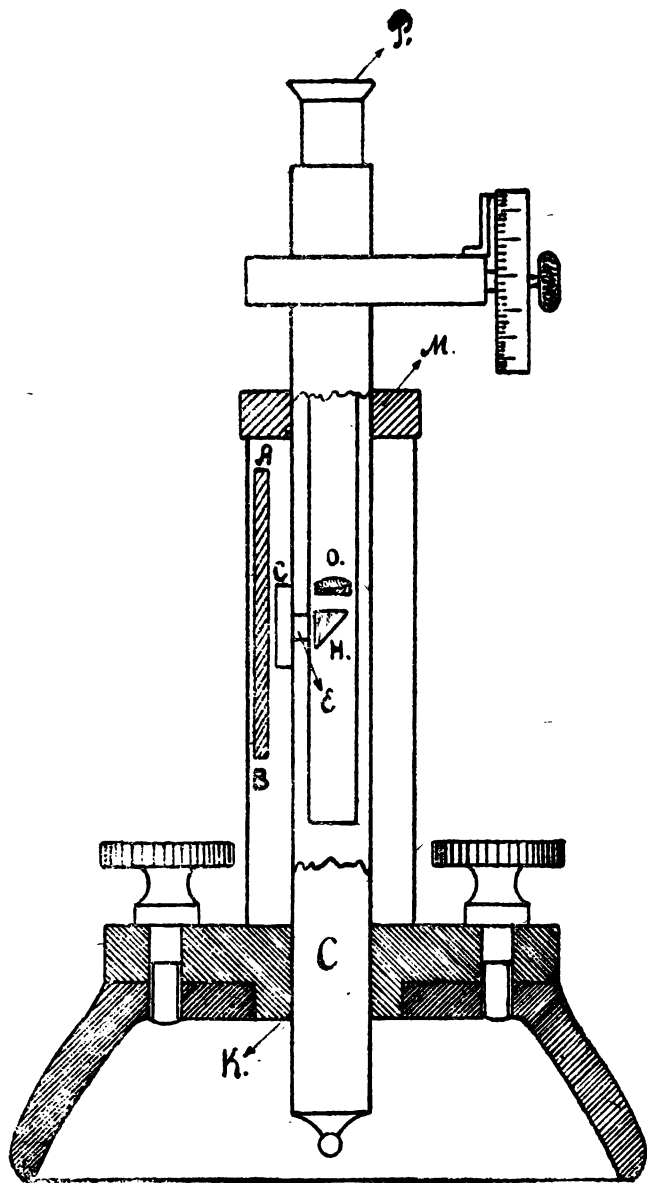


Рис. 18

на стекло. Рис. 18 представляет схему такого сферометра. Кольцо привертывается четырьмя винтами к телу сферометра. Отсчетный микроскоп помещается внутри подвижного стержня, который перемещается в гнездах *K* и *M* и давит на стекло своею тяжестью всегда с одинаковой силой. Шкала нанесена на пластинке *AB*, которая освещается зеркальцем *C*, укрепленным на стержне. Через отверстие в стенке стержня *E* лучи света от шкалы попадают внутрь и, отразившись в прямоугольной призме *H*, падают на объектив отсчетного микроскопа *O*. Таким образом, работающий видит деления шкалы через окуляр *P*. В остальном этот сферометр ничем не отличается от обыкновенного, только шкала разделена через 0,2 мм, что несколько затрудняет отсчет. Для отсчета полудесятых долей миллиметра по обе стороны индекса имеются соответствующие указатели, в виде гребенки. Фокусировку объектива следует производить перемещением самой

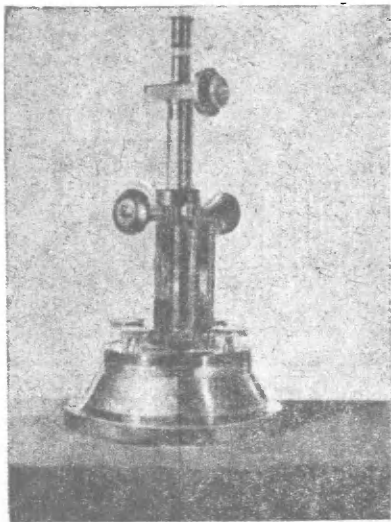


Рис. 19

шкалы, для чего последняя укреплена на 4 винтах и перемещается между четырех пар гаечек. Фокусировка по глазу производится перемещением окуляра. Такой сферометр снабжается набором колец диаметром до 250 мм. Один экземпляр его имеется в Оптическом цехе Опытного завода. На нем изготавливаются пробные стекла диаметром от 55 мм. Его недостаток заключается в том, что освещение шкалы при перестановке сферометра с одного стекла на другое меняется, и это влияет на точность отсчета. Рис. 19 представляет фотографию кольцевого сферометра для астрономических зеркал.

ГЛАВА III

ИЗГОТОВЛЕНИЕ СФЕРИЧЕСКИХ ПРОБНЫХ СТЕКОЛ

Действие сферометра основано на определении радиуса кривизны стекла через h , т. е. высоту сегмента сферической поверхности. Из рис. 20 видно, что чем больше радиус кривизны, тем меньше величина h при одном и том же диаметре.

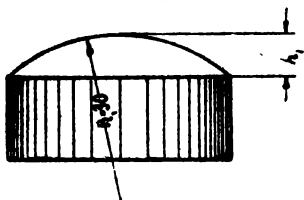


Рис. 20

Величина h связывается с радиусом кривизны R следующей формулой

$$h = R - \sqrt{R^2 - r^2} \quad (1)$$

Из этой основной формулы, выведенной в гл. II, выводится вторая, нужная нам:

$$R = \frac{r^2}{2h} + \frac{h}{2}, \quad (2)$$

где r — половина диаметра кольца. Эта величина заранее определяется для каждого кольца и для данных формул является величиной известной. Этих величин для каждого кольца дается две, так как кольцо имеет на конце небольшую плоскость, шириною около 0,2 мм (рис. 21). Выпуклое стекло ложится на внутреннюю кромку кольца и для него r_1 меньше. Вогнутое же стекло ложится на наружную кромку и для него r_2 больше. Эти величины даются с точностью до 0,01 мм.

Итак, подставив в формулу (2) величину r и найденную величину h и произведя указанные действия, получим R — радиус кривизны стекла.

При изготовлении пробных стекол итти приходится обратным путем. По заданному R — пользуясь формулой (1), определяем h и шлифуем стекло так, чтобы при измерении сферометром получилось заданное h . Расчет стрелки лучше всего производить на арифмометре. Если же его нет, то можно пользоваться логарифмами — шести- или семизначными.

Как правило, пробные стекла изготавливаются парами — выпуклое и вогнутое для каждого радиуса. Это делается для того, чтобы при полировке иметь возможность обнаружить зональные ошибки. Диаметр пробных стекол, с одной стороны, определяется диаметром линзы. Но это относится к так наз. рабочим пробным стеклам, т. е. тем, по которым производится полировка массовой продукции. Диаметр же основных или контрольных пробных стекол получается в зависимости от величины радиуса кривизны. Так как, чем больше радиус кривизны, тем меньше h , то

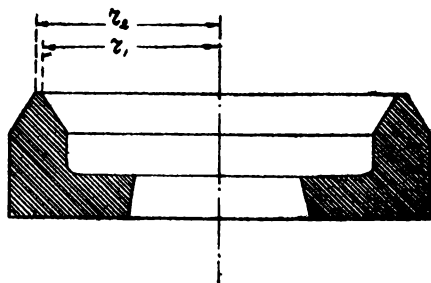


Рис. 21

чтобы обеспечить точность измерения в 0,1%, надо чтобы h было не меньше 1 мм. Это достигается тем, что для больших радиусов кривизны диаметр стекол берется больше:

Ниже представлена таблица, определяющая величину диаметров пробных стекол в зависимости от величины радиусов, как это принято в практике Опытного завода ВООМПа.

R	3000 и выше	1500—3000	1000—1500	200—1500	40—200	30—40	20—30	15—20
Д	130	110	95	75	55	40	35	25—30

Когда определен диаметр пробных стекол
Расчет стрелки. (каждый сферометр снабжен набором колец различных диаметров; диаметр стекла берется на 5 мм больше диаметра подходящего кольца), производят расчет величины h .

При шлифовке производят проверку обоих стекол сразу, т. е. накладывают сначала одно стекло и производят отсчет, потом второе и, отняв от одного числа второе, получают сразу величину, равную $h_1 + h_2$. Поэтому и рассчитывают сразу эту величину только для упрощения дела, расчет ведется не для каждого стекла в отдельности, а берется среднее арифметическое от r_1 и r_2 и вычисляется среднее h до четвертого знака включительно. Умножив на 2, получаем величину $2h$, которая и дается оптику, изготовляющему пробное стекло. Для того, чтобы не смешать их с другими стеклами, изготавливаемыми одновременно, лучше всего давать стрелку на чистой четвертушке бумаги, выписав в левом верхнем углу радиус и рядом величину $2h$ (рис. 23), чтобы оптик мог записывать на том же листке отсчеты при измерениях.

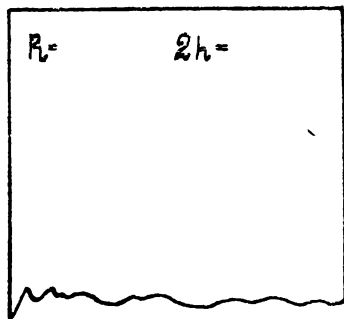


Рис. 23

Расчет производится по формуле (1), слегка измененной:

$$h = R - \sqrt{(R+r)(R-r)}$$

Приводим два расчета из практики Опытного завода

$$1) R = 71.11, D = 55; r = 25.109,$$

Расчет

$$\begin{array}{r} R - 71.11 - 71.11 \\ + r - 25.109 \quad 25.109 \\ \hline 96.219 \quad 46.001 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} + \lg 96.219 = 1.983.2608 \\ + \lg 46.001 = 1.662.7673 \end{array}$$

$$\lg [(R+r)(R-r)] = 3.646.0281$$

$$\lg \sqrt{(R+r)(R-r)} = 1.823.014$$

Проверка по формуле (2)

$$\begin{array}{r} \lg r^2 = 2.799.6540 \\ - \lg 2h = 0.961.9334 \end{array}$$

$$\lg \frac{r^2}{2h} = 1.837.7206$$

$$\frac{r^2}{2h} = 68.821$$

$$\frac{h}{2} = 2.2902$$

$$R = 71.111$$

$$R = 71.11 \text{ (выписывается позже)}$$

$$R \text{ совпадает с заданным радиусом кривизны, значит расчет произведен правильно}$$

$$\sqrt{(R+r)(R-r)} = 66.5296 \text{ (выписывается прежде)}$$

$$h = 4.5804$$

$$2h = 9.1608$$

$$\frac{h}{2} = 2.2902$$

$$2) R = 136.6; D = 75; r = 35.11;$$

$$R = 136.6 \quad 136.6$$

$$\begin{array}{r} + \\ r = 35.11 \quad 35.11 \\ \hline 171.71 \quad 101.49 \end{array}$$

$$+ \lg 171.71 = 2.234.7956$$

$$+ \lg 101.49 = 2.006.4333$$

$$\lg (R+r)(R-r) = 4.241.2189$$

$$\lg \sqrt{(R+r)(R-r)} = 2.120.60945$$

$$R = 136.6 \text{ (выписать позже)}$$

$$\sqrt{(R+r)(R-r)} = 132.0108 \text{ (выписать раньше)}$$

$$h = 4.5892$$

$$2h = 9.1784$$

$$\frac{h}{2} = 2.2946$$

$$\lg r^2 = 3.090.8616$$

$$\lg 2h = 0.962.7670$$

$$\lg \frac{r^2}{2h} = 2.128.0946$$

$$\frac{r^2}{2h} = 134.306$$

$$+ \frac{h}{2} = 2.2946$$

$$R = 136.6006$$

То же совпадает с заданным радиусом кривизны

Изготовление пробных стекол производится в следующем порядке: прежде всего изготавливаются заготовки в обдирочной мастерской. Последней дается задание с указанием диаметра и толщины (20—25 мм). Количество заготовок всегда делается с запасом, чтобы при изготовлении 1-2 пар заготовки нашлись на складе. Потом заготовки передаются в автоматную мастерскую для полировки на сукне одной плоской поверхности. Для этого стекла приклеиваются мастикой к плоской планшайбе D 200—250 мм и блоком шлифуются и полируются на большом автомате. Вся операция без наклейки занимает около 4 шпиндель-часов на один блок.

Механическому цеху заблаговременно заказывается пара шаблонов того же радиуса и гриб с чашкой, диаметром на 10—15 мм больше, чем диаметр стекол.

Наклейка и обдирка

Получив заготовки, шаблоны, шлифовальники и расчет стрелки, оптик начинает работу с наклейки стекол на маленькие латунные планшайбы, как это представлено на рис. 24, полированными гранями вниз. Наклейку следует производить на ножном станке, так чтобы при вращении стекло не било и чтобы полированные грани были залиты мастикой. Затем в обдирочной мастерской производится обдирка сферических поверхностей по шаблонам и потом 5-минутная шлифовка на шлифовальниках, изготовленных механическим цехом.

Мелкая шлифовка

Мелкая
шлифовка
производит-

ся оптиком на ножном станке, стекло на стекле. В качестве шлифовальника на шпиндель станка попеременно ставится то

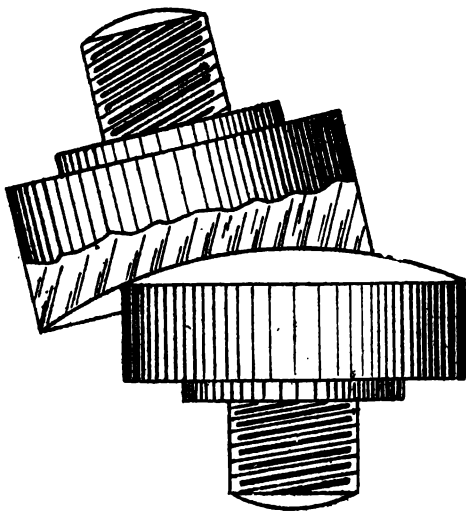


Рис. 25

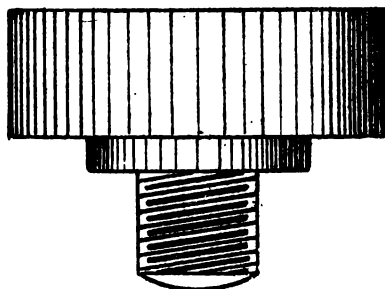
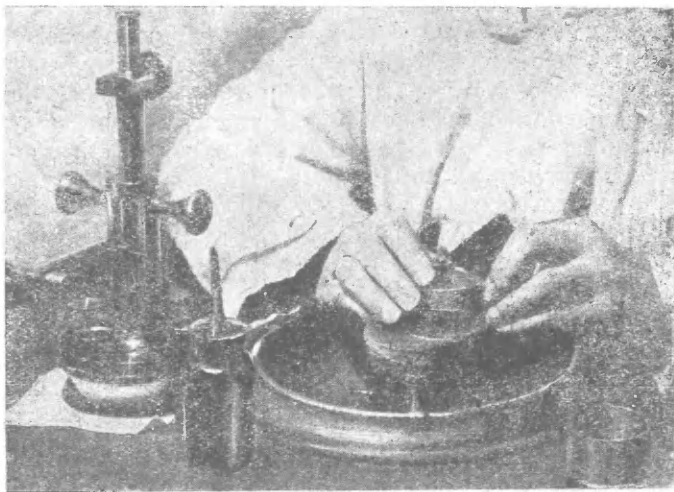


Рис. 24

выпуклое стекло, то вогнутое. Работать следует на средней скорости, двигая рукой верхнее стекло не слишком далеко от центра. Прошлифовав стекла 2 раза 5-минутным наждаком, оптик проверяет стрелку. Обыкновенно после обдирки отступление получается до 0,1 мм. 5-минутным наждаком это отступление надо уменьшить до 0,01—0,02 мм. Это делается следующим образом. На том пробном стекле, которое вращается на

шпинделе станка, края срабатываются быстрее, чем середина. На верхнем же стекле, наоборот, середина срабатывается быстрее, чем края. Если производить шлифовку так, как это представлено на рис. 25, т. е. поставив на шпиндель станка выпуклое стекло, то очевидно, что h будет увеличиваться и на верхнем и на нижнем. Если стекла поставить, наоборот, вогнутым вниз, h будет на обоих стеклах уменьшаться. При работе это необходимо всегда помнить.



Шлифовка пробных стекол

Итак, если стрелка окажется больше заданной, оптик ставит вогнутое стекло вниз, шлифует 2-3 раза (прошлифовать один раз — значит прошлифовать с одной подкладкой наждака; после каждой подкладки оба стекла следует вымыть губкой и вытереть холщевой тряпкой на-сухо) и снова проверяет и т. д. Когда ошибка будет в пределах 0,01—0,02 мм, он переходит к 15-минутному наждаку и шлифует таким же способом до тех пор, пока ошибка не уменьшится до 0,001—0,003 мм, затем приступает к 30-минутной шлифовке или шлифовке американским наждаком № 303. Эта работа требует навыка, большой аккуратности и внимания. Чтобы не поцарапать стекла, наждак следует размазать по всей поверхности ниж-

него стекла и осторожно, без нажима, растереть верхним стеклом, прежде чем начать вращение стекла. При этой операции могут встретиться следующие затруднения:

1) трудность получить величину $2h$ с точностью до $0,5 \mu$: она получается то больше, то меньше заданной.

2) поверхности после шлифовки получаются то с большим бугром, то с большой ямой.

Чтобы преодолеть первое затруднение, надо шлифовать, вращая станок как можно медленнее и производя средние движения верхним стеклом. Американский наждак № 303 при шлифовке сторон диаметром 55 мм за один раз изменяет стрелку на $1-2 \mu$. Чем медленнее вращать станок и быстрее двигать рукой верхнее стекло, тем медленнее изменяется h . Только практикой можно добиться хороших результатов.

При более быстром вращении станка и длинных штрихах, т. е. при большем смещении верхнего стекла от центра, изменение стрелки происходит быстрее, но при этом на верхнем стекле получается большая яма, в несколько колец, имеющая местный характер. Если же штрих делать слишком короткими, то на стеклах получится большой бугор. Поэтому, чтобы избежать затруднений 2-го порядка, надо верхнее стекло двигать так, чтобы край его смещался от края нижнего до центра и обратно.

Проверка и подготовка к полировке

Когда шлифовка закончена, необходимо пригласить цехового мастера для проверки точности работы. Это необходимо сделать потому, что ошибки в $1-2 \mu$ легко ускользают от внимания рабочего. Если отступление стрелки от заданной величины окажется не больше $0,5 \mu$, оптик приступает к полировке. Прежде всего он должен тщательно вымыть станок, таз, чашку для воды и стекла. Затем на тех самых шлифовальниках, на которых производилась обдирка и 5-минутная шлифовка, он изготавливает полировальники из полировочной смолы надлежащей твердости. Если смола будет слишком тверда, поверхности стекла получатся с зональными ошибками, интерференционные полосы будут не прямые, а слегка волнистые, как это представлено на рис. 26. Кроме того, на полировальнике из твердой смолы трудно регулировать полировку. Так, если сильнее полируется середина, то с трудом удастся добиться того, чтобы полировались края и наоборот. На слишком мягкой смоле, во-первых, получаются завалы и, во-

вторых — трудно сполировывается яма и почти всегда получается местный бугор. К сожалению, для полировальной смолы нет установленной шкалы твердости. На некоторых заводах еще до сих пор оптики сами варят для себя смолу, пробуя твердость ее на зубах. На Павшинском же заводе и на Опытном имеется целый набор смол различной твердости, так что при некотором навыке выбор подходящей смолы не представляет большого труда. На полировальнике из смолы подходящей твердости при данной температуре несильное надавливание ногтем должно оставлять довольно заметный след.

На слишком мягкой смоле след этот будет очень глубоким, на твердой же — едва заметным. Дать более определенные указания по данному предмету пока, к сожалению, не представляется возможным. Нельзя также вырабатывать рецептуру для варки смол определенной твердости, ибо канифоль и вар или древесный пек, как он называется в промышленности — материалы, из ко-

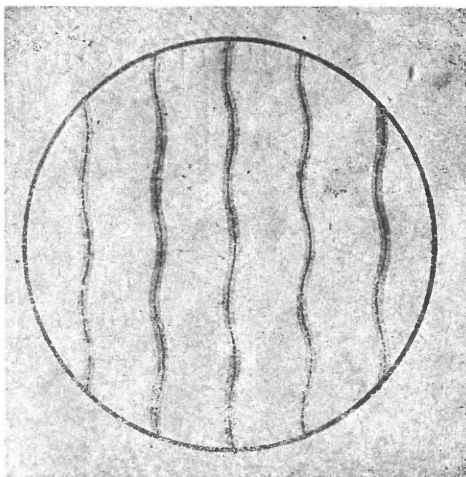


Рис. 26

торых готовится полировальная смола — не имеют постоянной твердости. Надеемся, что химические лаборатории оптических заводов в ближайшее время разрешат вопрос о шкале твердости и о надежном методе для испытания твердости полировальной (а также наклеечной) смолы.

Изготавливать полировальники лучше всего следующим способом: нагреть на спиртовке шлифовальник до такой степени, чтобы кусочек полировальной смолы, положенный на него, легко плавился только не перегреть, обмазать тем же кусочком смолы весь шлифовальник и наложить на него кусочков смолы столько,

чтобы полировальник получился толщиной 2-3 мм, не больше, потом перенести шлифовальник на шпиндель ножного станка. Когда вся смола на шлифовальнике расплавится, ее надо

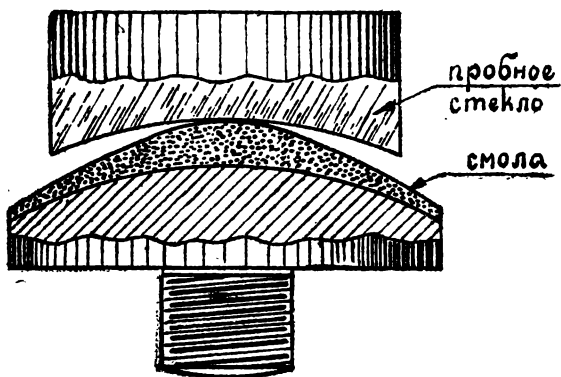


Рис. 27

мокрыми пальцами расправить по всему шлифовальнику, но так, чтобы в середине смолы было больше (рис. 27). Потом пробным стеклом, смоченным в воде, при легком вращении станка,

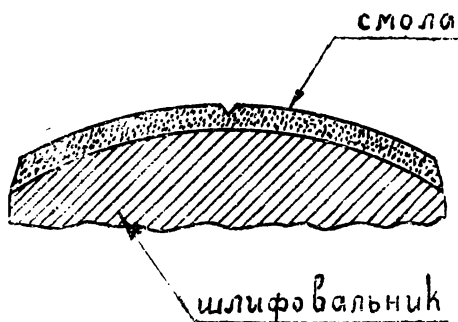
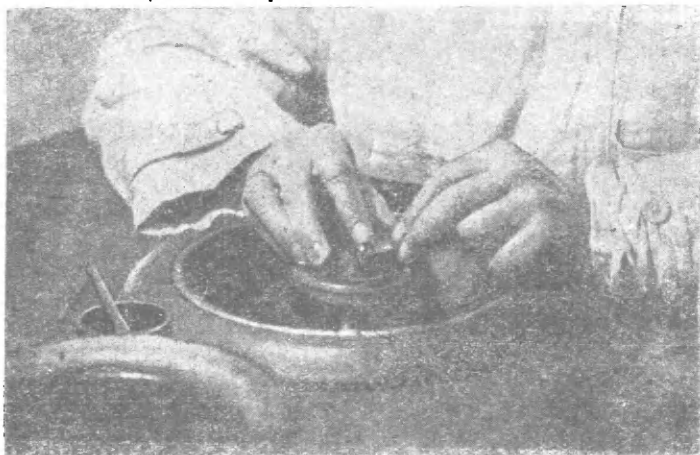


Рис. 28

расправить смолу так, чтобы она лежала ровным слоем. Если один край получится толще, то исправлять приходится надавливанием на этот край. Чтобы лучше знать, куда надо надавливать, следует поставить пробное стекло в центре и, задерживая его рукой, вращать станок. Тогда можно будет наблюдать коле-

бания отражения лампочки от плоской поверхности стекла. Когда полировальник будет почти готов, пробное стекло надо обильно смазать крокусом и с крокусом закончить изготовление полировальника. Это делается с той целью, чтобы в теплую смолу впитался слой крокуса. Тогда поли-

ровальник с самого начала будет быстро полировать. Потом полировальник следует опустить в чашку с водой и, когда он остынет, острым ножом, при быстром вращении станка, следует обрезать лишнюю часть смолы с края, так чтобы полировальник был на 6—8 мм больше стекла, при диаметре последнего около 55 мм. А в общем эта разница составляет 10—15%. В середине полировальника надо сделать углубление около 3 мм диаметром (рис. 28). Это делается для того, чтобы в него уходила лишняя смола при оседании полировальника во время полировки.



Полировка пробных стекол

Проверка поверхностей Когда полировальники готовы, оба пробных стекла слегка прополировывают. Для этого полировальники следует подогреть не сильно, чтобы при слабом надавливании ногтем получался глубокий след. Каждое стекло следует полировать всего в течение 2-3 мин., но надо следить, чтобы блеск получался сразу на всей поверхности. Если этого не получается, полировальник следует нагреть еще раз и расправить стеклом, не вращая станка. Когда стекла достаточно блестят, одно из них отбивается от планшайбочки легкими ударами маленького молотка по последней, с плоской поверхности смываются остатки мастики тряпкой с денатуратом, оба стекла вытираются тряпкой с денатуратом, смахиваются кисточкой пылинки, стекло без

планшайбы накладывается на второе, и проверяется, насколько одно стекло отличается от другого. Если ошибка не превышает 4—5 колец, можно приступать к полировке. У достаточно опытного оптика ошибки получаются в пределах 2 колец, и только в том случае, если стекла имеют большую кривизну, бугор достигает 4 колец. Если же ошибка велика, то верхнее стекло приходится снова приклеить и продолжать шлифовку.

Полировка Если шлифовка произведена удовлетворительно, оптик приступает к полировке. Если была ошибка, допустим, бугор в 4 кольца то, оставив одно стекло в качестве пробного, второе полируют так,

чтобы снять с него только половину общей ошибки, т. е. оставить бугор в 2 кольца. Когда это достигнуто, второе стекло остается в качестве пробного и с первого ошибка сполировывается окончательно. Вот тут-то и начинается самая трудная часть работы — устранение мелких ошибок, особенно зональных или местных, причем до-

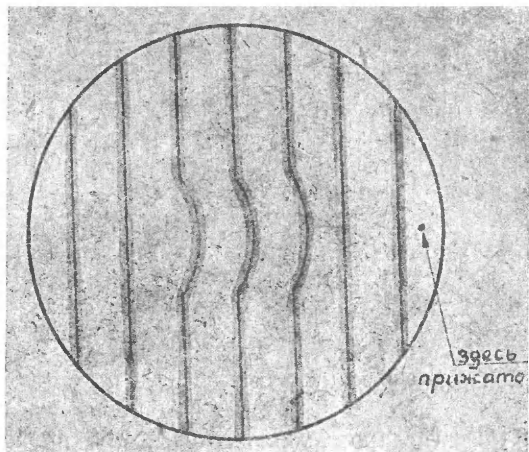


Рис. 29

вольно трудно распознавать, на котором из стекол находится ошибка. Ниже мы приводим несколько примеров зональных ошибок. На рис. 29 представлена местная яма. Чтобы узнать, на котором из стекол она находится, надо верхнее стекло передвинуть в такое положение, как это представлено на рисунке. Если интерференционная картина будет такова, как на рис. 30, то очевидно, что местная яма находится на нижнем стекле, ибо искривленные полосы не сместились при движении

верхнего стекла. Если же картина получится такова, как на рис. 31, то очевидно, что местная яма — на верхнем стекле.

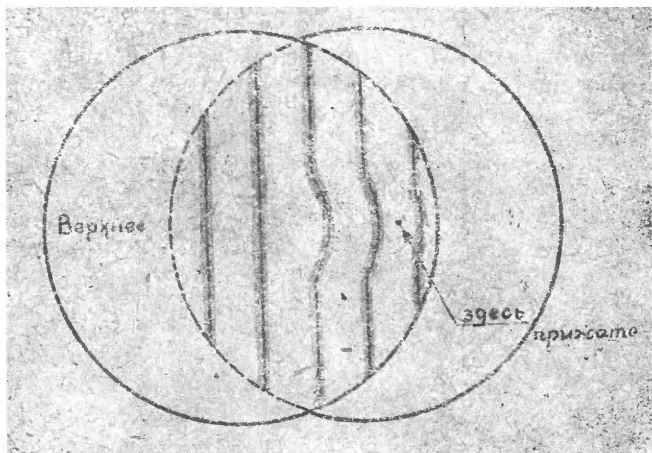


Рис. 30

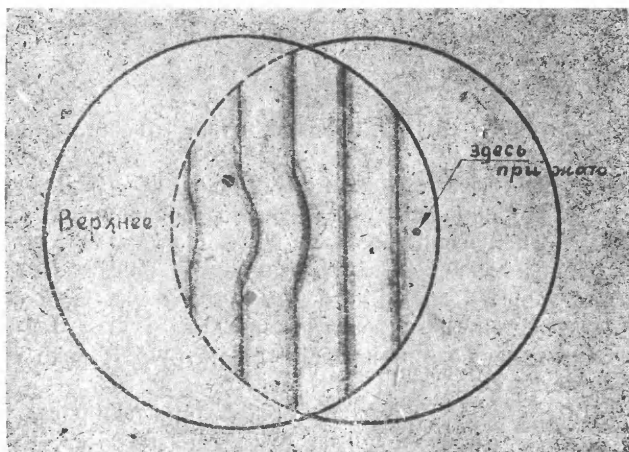


Рис. 31

Если вместо местной ямы будет местный бугор, картина получится почти такая же и способ распознавания тот же самый.

При завале (рис. 32) для того, чтобы узнать, на котором из стекол он находится, верхнее стекло надо сдвинуть так, как это представлено на рис. 33. Очевидно, что завал находится

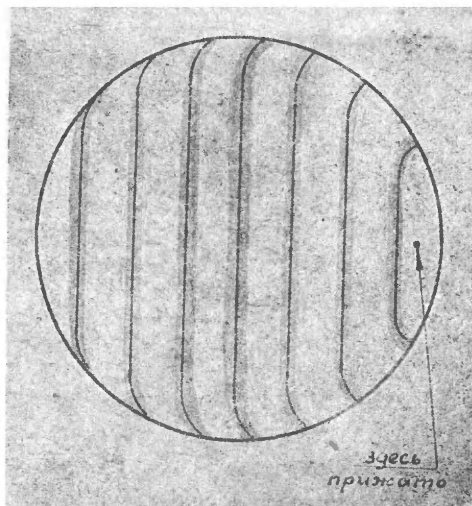


Рис. 32

на верхнем стекле. Бывает, конечно, и так, что завалы имеются на обоих стеклах.

Как же избежать общих и местных ошибок? Для этого полировку надо производить следующим образом.

Чтобы не получались завалы, стекло нужно держать правой рукой довольно сильно сжатым между большим пальцем с одной стороны и средним, безымянным и мизинцем с другой, указательный палец слегка прижимает стекло сверху. Указательным и средним пальцем левой руки стекло слегка придерживается слева.

Штрихи

Движения стекла по полировальнику, производимые рукой, называются штрихами.

Этой терминологии и мы будем придерживаться при дальнейшем изложении. При обыкновенной полировке, когда

не требуется большой точности, стекло нужно двигать так, чтобы оно описывало эллипс, следуя за вращением полировальщика. Если круг представляет полировальник (рис. 35), то центр стекла будет описывать эллипс, подобно начерченному; надо стараться, чтобы его длинная ось все время пере-

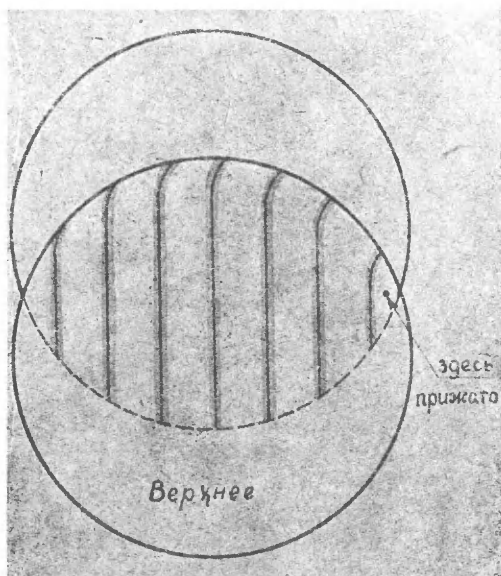


Рис. 33

мещалась от диаметра AB в ту и другую сторону параллельно себе. Положение эллипса во время работы определяется следующим образом. Надо стараться, чтобы при движении от работающего пробное стекло доходило только до края полировальника, как это представлено на рис. 36. При движении же наоборот к работающему тот же край стекла должен доходить до центра полировальника (рис. 37).

Эти штрихи выработаны продолжительной практикой в мастерских Государственного Оптического Института, и всякое отступление от них приводит к тем или иным зональным ошибкам. Так, если штрихи будут короче указанных или если центр стекла будет описывать примерно тот же эллипс,

но около центра полировальника, на стекле неизбежно напонируется местный бугор и приподнятый край. Если, наоборот, полировать более длинными штрихами или центр стекла отводить еще больше на край полировальника, получится местная яма, чаще всего вместе с завалом. Отсюда само

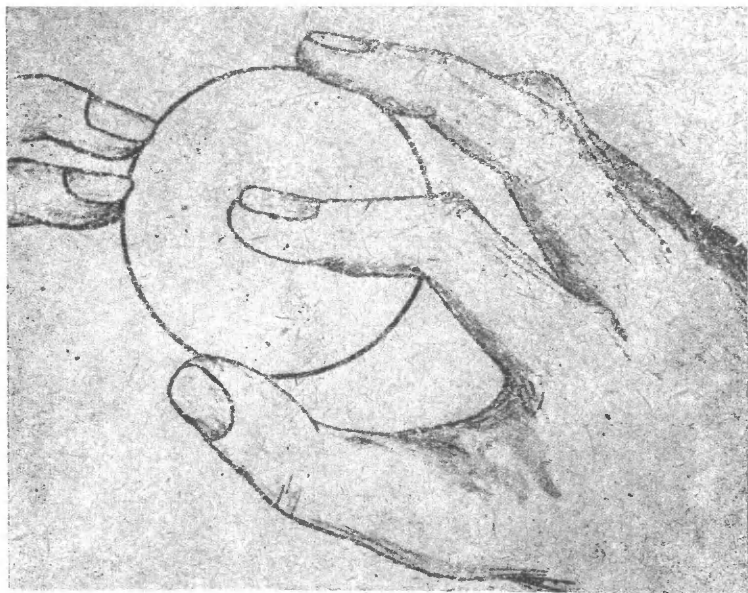


Рис. 34

собой напрашивается вывод: если получится местный бугор, то чтобы его убрать, надо полировать теми штрихами, при которых получается местная яма и наоборот.

У молодых оптиков довольно часто на краях пробных стекол получается завал. Он может напонируется от следующих причин: 1) от слабого держания стекла в руке, 2) от слишком большого диаметра полировальника, 3) от очень теплых рук работающего и 4) от слишком мягкой смолы полировальника. Необходимость разбираться в таком количестве причин и даже в большем, очень часто встает перед оптиком. Выяснив, что является причиной завала, надо принять те или иные меры к его устранению. Многие оптики в таком случае

практикуют такой способ. Наполировав яму в 0,5 полосы, затем ее медленно споліровывают без нажима. Надо заметить,

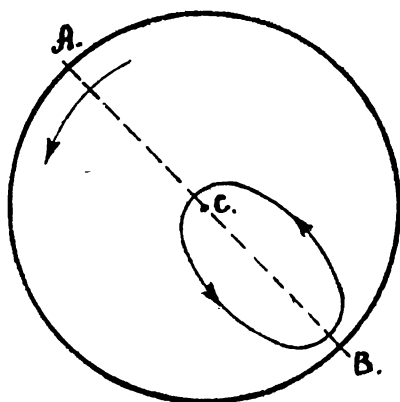


Рис. 35

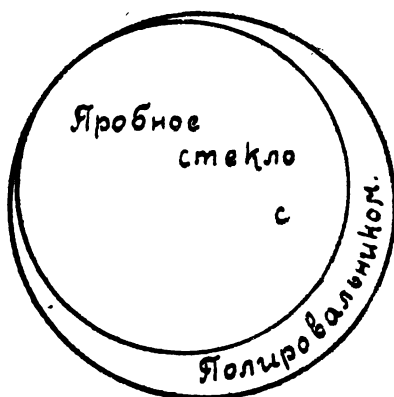


Рис. 36

что у опытного оптика глаз и руки так набиты, что хорошая поверхность получается автоматически, если только полировальник сделан из подходящей смолы. Это дается не сразу

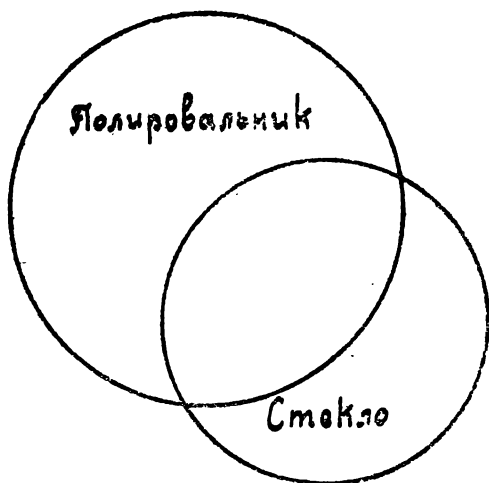


Рис. 37

но надеемся, что вышеизложенные указания помогут молодым оптикам быстро научиться получать правильные поверхности. Автор этих строк неоднократно применял их при обучении молодежи и результат всегда получался блестящий.

Устранение общих ошибок Теперь относительно споллировки общих ошибок. Для снятия бугров и ям существует два способа — подрезка и изменение штрихов или и то и другое вместе.

Если на полировальнике во время вращения станка сделать в середине концом острого ножа ряд concentрических

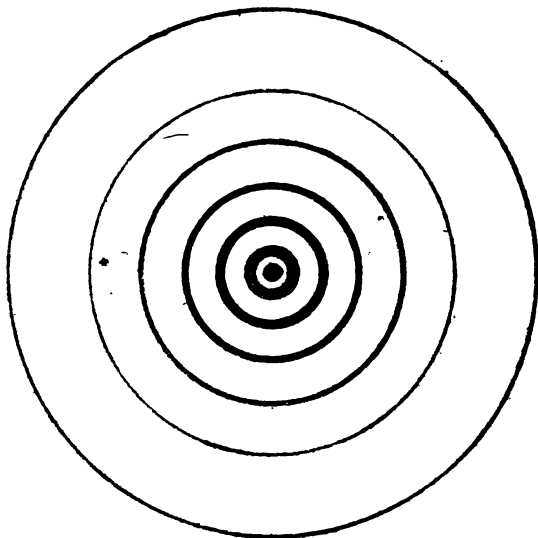


Рис. 38

канавок глубиною около 0,3 мм, в середине более глубоких и частых (рис. 38), то средняя часть полировальника будет полировать медленнее, чем края, и, значит, на стекле будет наполировываться бугор. После 5—8-минутной полировки канавки заполируются и их надо возобновить. Если же канавки не заполировываются, значит смола слишком тверда. При очень мягком полировальнике резки заполировываются слишком быстро. Если резки сделать на краю полировальника, то явление будет обратное и полировальник будет спо-

лировывать бугор или наполировывать яму. Этот метод, при изготовлении пробных стекол, является основным и окончательным, ибо им можно получать поверхности с точностью до 0,1 полосы и больше.

Но если ошибки велики, то к ним добавляют и второй метод. Так, при большом бугре, например, кроме резок применяют еще удлинение штриха и смещение центра стекла к краю. Для быстрого снятия ямы штрихи, наоборот, укорачивают и центр стекла смещают к центру полировальника. Не надо забывать, что при полировке такими штрихами всегда получаются местные ошибки; поэтому комбинированный метод следует оставить, когда общая ошибка не менее 0,5 полосы, чтобы подойти к правильной поверхности правильными штрихами, действуя только подрезкой.

Когда устранены зональные ошибки и общие ошибки достигли размера 0,2—0,5 полосы, оптик сталкивается с явлением отстоя. Пара пробных стекол, наложенных по всем правилам, дает некоторую интерференционную картину, которая в течение 10—15 минут изменяется, а потом, как будто остается неизменной. Но потом он замечает, что стекла, оставленные вечером с маленьким бугром, утром оказываются с небольшой ямой.

Это явление отстоя на яму в течение ночи наблюдается всегда. Если материалом для изготовления пробных стекол послужило зеркальное стекло, отстой получается в 1 кольцо и больше на стеклах с большим диаметром. Предполагалось, что пирекс, благодаря своему ничтожному коэффициенту расширения, совсем не даст отстоя. На практике же отстой получился, хотя и меньше в 2-3 раза. Поэтому для того, чтобы получить хорошую пару пробных стекол, оптику приходится специально наполировать бугор около 0,3 полосы при диаметре стекол в 55 мм.

Молодые оптики имеют обыкновение, когда стекла, по их мнению, готовы, взять их в руки и нести показывать мастеру. Этого никогда не следует делать, ибо стекла от рук нагреваются и интерференционная картина меняется. Изменение может произойти также и от того, что в помещении мастера температура может оказаться иной, чем в мастерской. Поэтому, оставив стекла на станке, надо пригласить мастера к своему рабочему месту. Если мастер найдет стекла удовлетворительными, он отнесет их в свою комнату и только

на другой день, т. е. после отстоя, произведет окончательную приемку. Готовые стекла он передает оптику, чтобы снять фасетки на краях, во избежание заколов при работе с ними.

Для того чтобы интерференционная картина была лучше видна, пробные стекла при наблюдении следует класть на кусочек черного сукна. Картина получается отчетливее в том случае, когда свет падает от пространного источника диффузного

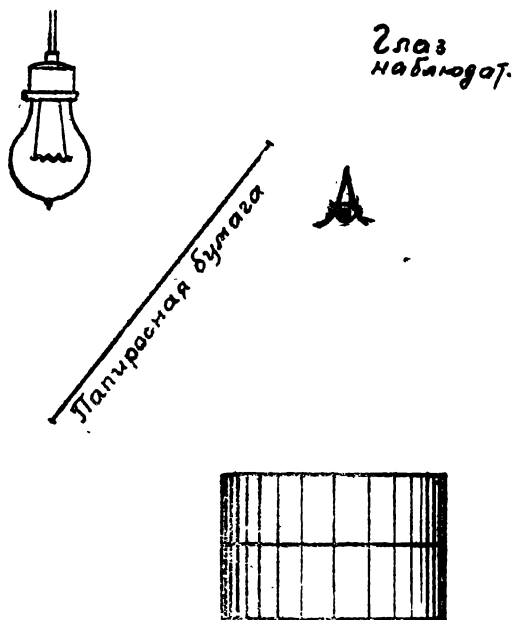


Рис. 39

света. Для этой цели между электрической лампочкой и стеклами помещают кусок папиросной бумаги, который и служит источником диффузного света. Бумагу надо поместить сбоку, как это представлено на рис. 39.

После изготовления пробные стекла отправляются в лабораторию для окончательной проверки радиуса кривизны. Удовлетворительными считаются такие стекла, радиус кривизны которых отличается от заданного не больше, чем на 0,1%.

Величиною радиуса, полученного при этой проверке, маркируются вновь изготовленные стекла, и тут же заносятся в каталог цеха, а также и в общий каталог Объединения.

Изготовление пробных стекол по шаблонам Как показала практика, пробные стекла с радиусами кривизны в пределах 15—35 мм великолепно можно изготавливать по латунным шаблонам. В таком случае латунный шаблон для чашек вытачивается в виде кружка диаметром равным $2R$ с точностью до 0,01 мм. Метод работы остается тот же самый, только проверка кривизны производится вместо сферометра по латунному шаблону. Шлифовка будет считаться удовлетворительной в том случае, если выпуклый шаблон на вогнутом стекле при легком трении оставляет ровный след меди. Отступления радиуса кривизны от заданного колеблются в пределах 0,02 мм, что вполне достаточно, а работа с шаблоном идет значительно быстрее и легче.

ГЛАВА IV

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ПРОБНЫХ СТЕКОЛ ПО МИКРОМЕТРУ

Пробные стекла с малыми радиусами кривизны или невозможно изготовлять по сферометру, или точность получается недостаточной, так же как и по шаблону. Между тем, точность здесь требуется довольно высокая, в особенности при изготовлении пробных стекол для объективов к микроскопам. Поэтому пробные стекла с радиусами кривизны от 15 мм и ниже изготовляются по третьему методу, т. е. по микрометру.

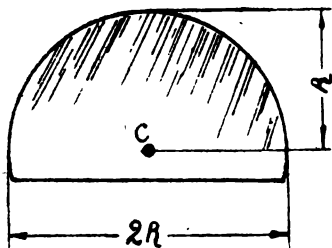


Рис. 40

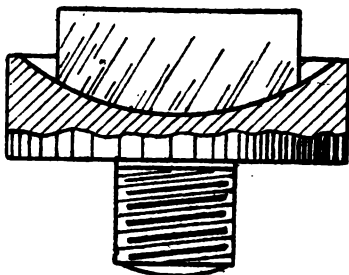


Рис. 41

Сущность этого метода заключается в том, что сначала изготавливается только выпуклое стекло высотой несколько больше радиуса, так что стекло получается немного больше полусферы (рис. 40). В таком случае, измерив микрометром диаметр стекла и разделив полученную величину на 2, получаем радиус кривизны с точностью до 1—3 м.

При изготовлении пробных стекол этим методом, возникает целый ряд трудностей, которые надо уметь преодолевать. Во-первых, надо помнить, что, если только диаметр полусферы будет перешлифован, стекло погублено, его уже не исправить. Поэтому при окончательной шлифовке надо быть очень осторожным и не торопиться. Впрочем, запоротое стекло выбра-

Особенности
этого способа

сывать не приходится, оно пригодится для изготовления другого пробного стекла с меньшим радиусом.

Во-вторых, шлифовка стекол больше полусферы представляет некоторые особенности по сравнению с плоскими стеклами или сферическими, но с малым относительным отверстием. Когда мы шлифуем стекло хотя бы такое, как представлено на рис. 41, то с каждой подкладкой наждака мы снимаем некоторый слой со всей поверхности стекла, правда не совсем одинаковой толщины — в середине снимается больше, на краю меньше, а кривизна остается без изменения. Если же мы таким же способом будем шлифовать полусферу

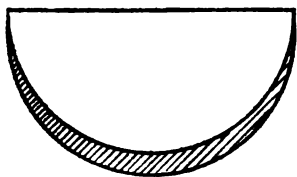


Рис. 42

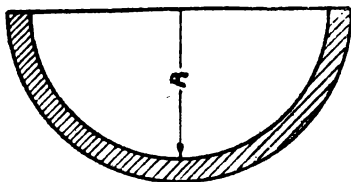


Рис. 43

или больше полусферы, то при неизменной кривизне слой будет сниматься так, как это представлено на рис. 42, т. е. со середины сошлифуеться больше всего, к краям меньше, а на самом краю стекло шлифоваться не будет. Если же требуется снять ровный слой некоторой толщины со всей поверхности, как это имеет место при мелкой шлифовке, то радиус кривизны неизбежно уменьшится на ту же величину (рис. 43). А так как слой снимается постепенно, то и кривизна стекла, а значит, и кривизна чашки, должна меняться непрерывно. Это достигается тем, что шлифовальная чашка после каждой подкладки наждака подрезается в середине при помощи шабера.

Наконец, в-третьих, надо иметь в виду, что крупный мат и точки, оставшиеся от карборунда при обдирке, могут быть сняты с краев стекла только за счет уменьшения радиуса кривизны. Поэтому обдирку надо производить в чашке большего радиуса, чем заданный. Разница выводится следующим подсчетом:

Надо оставить слой на	3 м	шлифовку	0,15 мм
"	"	5 "	0,07 "
"	"	15 "	0,05 "
"	"	30 "	0,03 "
Итого			0,3 мм

Принимая во внимание все вышеизложенное, изготовление пробных стекол по данному методу должно идти следующим порядком.

Возьмем для примера пробные стекла с радиусом в 10,53 мм.

Приспособления Механическому цеху заблаговременно надо заказать следующие приспособления:

а) Одну пару латунных шаблонов с радиусом 10,53 (рис. 44).

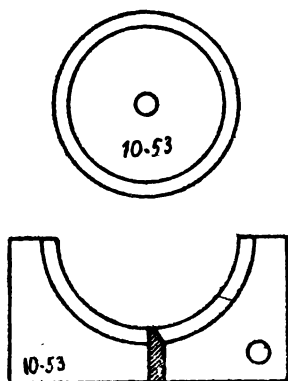


Рис. 44

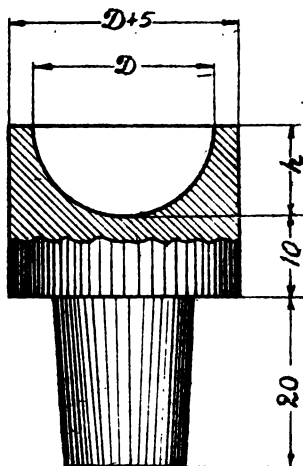


Рис. 45

б) Если в кладовой не найдется подходящих, то также пару шаблонов с радиусом 10,83.

в) Стальную или чугунную чашку для обдирки выпуклого стекла $R=10,83$, $D=21,96$, т. е. с углублением $h=R$ (рис. 45).

г) 2 таких же латунных чашки с $R=10,53$ и $D=21,06$ (рис. 45).

д) 2 гриба — стальной и латунный для изготовления вогнутого пробного стекла с $R=10,53$ и $D=0,98 \times 2 R=20,64$ (рис. 46).

В обдирочной мастерской надо изготовить 3 заготовки (одну в запас на случай брака) диаметром 21,8 и высотой

$h = 1,1 R + 0,5 = 12,1$ мм. По одной плоской поверхности отполировать в автоматической полировочной мастерской способом, описанным выше.

Обдирка

Обдирка производится следующим способом. Оба стекла приклеиваются к деревянным ручкам с помощью наклеичного сургуча (рис. 47). Наклеивать заготовки следует так, чтобы стекло на ручке занимало центральное положение и его плоские поверхности были перпендикулярны к оси ручки, которая на рис. 47 изображена в натуральную величину. При наклейке следует быть осторожным,

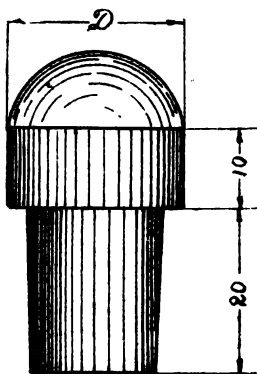


Рис. 46

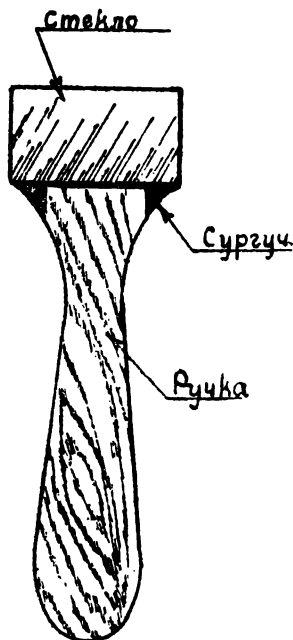


Рис. 47

чтобы не обжечь пальцы, что с новичками нередко случается. Стекла лучше всего нагреть на небольшом треножнике с плоской крышкой, а сургуч на ручке — нагреть на пламени спиртовки и сильно разогретый приложить к стеклу. Потом пальцами, слегка смоченными в воде, расправить сургуч так, чтобы он закрывал всю полированную плоскость и вместе с тем не мешал шлифовке, так, как это изображено на рисунке 39. Вместе с тем руками надо выровнять положение стекла, вращая ручку перед глазами. Если сургуч застынет раньше, чем все манипуляции будут проделаны, стекло надо осторожно

нагреть на пламени спиртовки, все время вращая, чтобы нагрев происходил со всех сторон. Обдирка вогнутого стекла не представляет никаких трудностей. Она производится на стальном грибе с тем расчетом, чтобы глубина сферической поверхности готового стекла равнялась $0,7 R$.

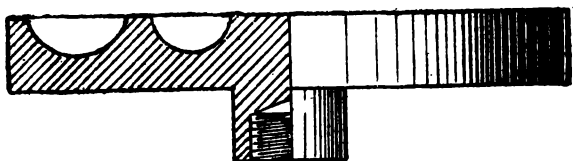


Рис. 48

Обдирку выпуклого стекла нельзя производить сразу в чашке ибо оно в ней не поместится. Можно начать ее в чашке, с большим радиусом кривизны, например 12—13 мм. Но лучше всего предварительную обдирку сделать на планшайбе с канавками (рис. 48). Такие планшайбы в оптических мастерских всегда имеются. Если же нет планшайбы с канавками, обойтись можно и обыкновенной планшайбой, действуя следу-



Рис. 49

ющим образом. Надо взять ручку в кулак правой руки так, чтобы она у самого стекла была захвачена между большим пальцем и второй фалангой указательного, и опустить руку так, чтобы стекло с ручкой заняло такое положение, как это представлено на рис. 49. Далее, вращая руку в кисти в сторону, противоположную вращению станка, обдирать стекло со всех сторон, слегка меняя наклон, чтобы поверхность получилась близкой к сфере. Не дойдя 3 мм до конца цилинд-

дрической поверхности, следует перейти на чашку и обдирать стекло по шаблону $R=10,83$.

Мелкая шлифовка. Прежде, чем приступить к мелкой шлифовке, следует составить следующую таблицу диаметров пробного стекла во всех стадиях шлифовки. Диаметр готового стекла 21,060:

Оставить на полировку 0,006; Ø	после 30 м. шлиф.	21,066
" 30 м шлиф. 0,06; Ø	" 15 "	21,126
" 15 " " 0,10; Ø	" 5 "	21,226
" 5 " " 0,15; Ø	" 3 "	21,376

Руководствуясь этой таблицей, можно теперь приступить к мелкой шлифовке. Трехминутным наждаком надо шлифовать



Обдирка пробного стекла на планшайбе с канавками

в латунной чашке $K=10,53$, подрезав ее предварительно с краю шабером, чтобы по шаблону был просвет около 0,2 мм. Сначала будут шлифоваться только края, а потом дойдет и до середины. Когда трехминутная шлифовка будет закончена, в той же чашке надо довольно сильно вырезать середину, углубив чашку приблизительно на 0,3 мм и продолжать шлифовку уже пятиминутным наждаком. Если чашку не подрезать, то стекло будет шлифоваться только в середине, как это было

объяснено выше. Подрезать придется несколько раз, пока стекло не получится нужного диаметра.

Для шлифовки 15-минутным наждаком надо взять вторую латунную чашку $R = 10,53$ и также подрезать края, но немного, чтобы просвет по шаблону 10,53 получился всего в 0,05 мм. Шлифовку производить тем же способом, но после каждой подкладки наждака надо вымыть стекло и чашку и вытереть полотенцем досуха. По окончании 15-минутной шлифовки станок и стекло надо тщательно вымыть губкой или мокрой тряпкой. Чистку станка повторить после 30-минутной шлифовки.

30-минутным наждаком следует шлифовать в той же чашке, подрезав середину. На полировку, согласно вышеприведенной таблице, следует оставлять 0,006 мм. Новичку можно оставлять и 0,01. Это удлинит полировку, но зато будет время, чтобы научиться устранять зональные ошибки.

Всю мелкую шлифовку можно проделать и на одной чашке, подрезая все время середину, но это занимает больше времени, потому что чашку придется углубить приблизительно на 1,5 мм. Лишняя же изготовленная чашка все равно уйдет для шлифовки линз, стоит только обрезать края на нужный диаметр.

30-минутная шлифовка производится с точностью до 0,002 мм по микрометру Пальмера, который рассчитан давать точность в 0,01 мм. Поэтому работа с ним представляет некоторые трудности. Прежде всего сам прибор должен быть хорошего качества и сравнительно новый. Микрометр с сработанным цилиндром или концами даст ошибки в пределах 0,005 мм. Из приборов зарубежных фирм лучше всего годятся для такой работы микрометры Рейникера (германская фирма Reipicker) и Браун и Шарп.

В настоящее время довольно хорошие микрометры выпускает завод Красный Инструментальщик в Ленинграде.

Микрометр обязательно должен быть с трещоткой, не очень тугой, в особенности при изготовлении маленьких пробных стекол. Надо иметь в виду, что мелкие пробные стекла при проверке микрометром могут несколько сжиматься (на 3—4 м), поэтому измерять их следует с особой осторожностью. Перед работой необходимо выверить нулевое положение и, если есть ошибка, то поправку сразу же ввести в табличку. Наконец, микрометр надо зажать в подставку. Рис. 50 представляет фотографию микрометра, зажатого в подставку фирмы К. Цейсса.

Ее можно изготовить значительно проще. Тысячные доли миллиметра приходится отсчитывать на-глаз. Это следует делать, пользуясь лупой, лучше всего 6-х типа Штейнгеля.

Полировка

Когда 30-минутная шлифовка кончена, можно приступить к полировке. Для полировальника

лучше всего взять чашку с радиусом 11,5 мм, диам. 23 мм, или близкую к ней. Часто подходящая чашка имеется на складе цеха. Если же нет, то можно воспользоваться обдирочной чашкой, края которой уже значительно сработаны, их остается несколько подправить.



Рис. 50

Полировальник надо изготовить такой глубины, чтобы в нем помещалось полсферы стекла или немного меньше. Полировку подобных стекол так и напрашивается производить симметричными штрихами, через центр. Но этого делать отнюдь не следует, чтобы не получить большого местного бугра. Полировать нужно, принимая во внимание изложенные выше указания.

Когда останется споллировать с диаметра 1—1,5 μ , полировку следует прекратить и приняться за шлифовку вогнутого стекла. Включительно до 15-минутного наждака следует шлифовать на латунном шлифовальнике по шаблону 10,53. Перед 30-минутной шлифовкой надо изготовить полировальник на обдирочном грибе. Прошлифовав один раз 30-минутным наждаком, надо прополировать и отклеенным от ручки выпуклым стеклом проверить поверхность. В зависимости от качества последней, надо подрезать чашку, прошлифовать и снова

прополировать и т. д. до тех пор, пока не получится углубление с ямой в 3—4 кольца. Тогда следует приступить к полировке вогнутого стекла. Когда ошибка будет в пределах $1/4$ полосы, стекло надо снять с ручки, наложить на выпуклое стекло и тщательно исследовать, нет ли местных ошибок на выпуклом стекле. Если таковые обнаружатся, их следует споллировать и вместе с тем довести диаметр стекла до нужного размера с точностью до 1 микрона. Потом уже надо окончательно отполировать вогнутое стекло, оставив на отстой бугор в $1/4$ полосы. Дальше надо сделать все, что было указано выше, т. е. сдать стекла в лабораторию для проверки радиуса кривизны, маркировать и т. д. Как правило, нет надобности совершенно споллировать мат с работающих поверхностей пробных стекол. Даже лучше, если поверхность останется слегка матовой при рассматривании простым глазом, потому что такая поверхность лучше вытирается и меньше царапается.

Рабочие пробные стекла Пробные стекла, изготовленные вышеописанными способами, являются контрольными. Употреблять их для массовой работы не рекомендуется. Для этой цели по ним изготавливаются так называемые рабочие пробные стекла, диаметром на 0,5—2 мм больше, чем изготавливаемые линзы. Большой припуск нежелателен, ибо в таком случае при полировке на блоке оно будет, при накладывании на линзу, задевать краем соседнюю.

После организации Всесоюзного Объединения Оптико-Механической Промышленности (ВООМП) состоялось постановление Правления о составлении общего каталога пробных стекол всех ленинградских оптических заводов, с указанием, на котором из них данное стекло находится. Каталог должен находиться при Вычислительных Бюро. Последние, при расчете новых оптических систем, по возможности должны употреблять те радиусы кривизны, для которых уже имеются пробные стекла. При даче расчета системы заводу, Вычислительное Бюро указывает, какие пробные стекла имеются и на каком заводе. Получив контрольные пробные стекла, завод изготавливает по ним рабочие стекла, а контрольные возвращает обратно. В силу этого же постановления о всех вновь изготовленных пробных стеклах заводы обязаны уведомлять Правление для занесения их в каталог.

ГЛАВА V

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ПЛОСКИХ ПРОБНЫХ СТЕКОЛ

Плоские поверхности встречаются очень часто, почти во всех оптических системах, и не только на призмах, но и на линзах объективов и окуляров. Поэтому плоские пробные стекла должны быть у всех оптиков всегда под руками, начиная от самых маленьких диаметром в 6—7 мм до самых больших в 120—150 мм.

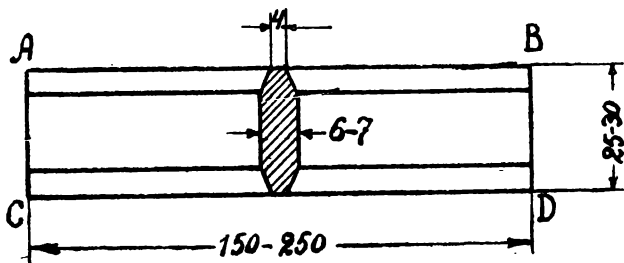


Рис. 51

Изготовление рабочих плоских стекол по имеющимся контрольным не представляет никакой трудности. Для этого берут заготовку нужного диаметра, отполированную с одной стороны на сукне, и шлифуют на шлифовальнике диаметром на 15% больше диаметра стекла на ножном станке 15- и 30-минутными наждаками.

Правильность шлифовальника при этом следует проверять по стеклянной линейке (рис. 51), узкие грани которой *AB* и *CD* представляют собою хорошие плоскости, проверенные по пробному стеклу. Эти поверхности оставляются матовыми после 15-минутного наждака и слегка прополировываются. Изготавливаются линейки сразу целым блоком, штук 25—30. Для этого из зеркального стекла толщиной в 6—7 мм, если есть, то из обрезков, вырезаются полосы шириною около 30 мм и длиною 150—250 мм. Полосы склеиваются мастикой в блок, как это

представлено на рис. 52. Блок обдирается с обеих сторон на обдирочном станке до тех пор, пока полосы не сравняются. Тогда обе плоскости шлифуются на шлифовальном автоматическом станке большого размера на правильном плоском шлифовальнике до 15-минутного наждака включительно. Для проверки плоскостей, их слегка прополировывают и проверяют

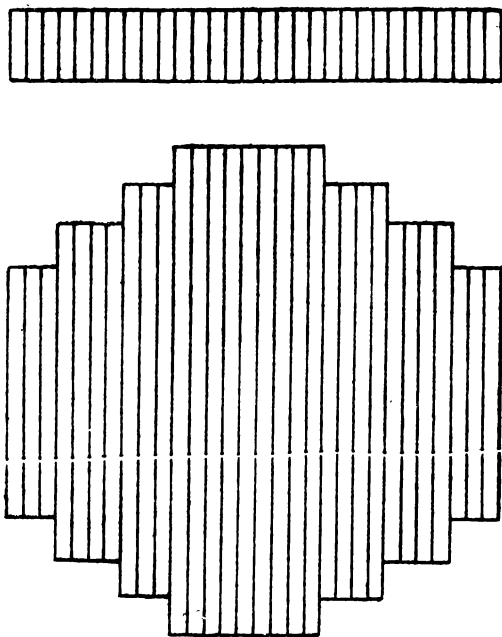


Рис. 52

под плоское пробное стекло диаметром около 100 мм. Ошибка при этом не должна превышать 1 полосу — желательно $\frac{1}{4}$ полосы. По окончании шлифовки блок расклеивается, снимаются фасетки, как представлено на рис. 51 и линейки готовы. Стоимость такой линейки, представляющей измерительный инструмент высокой точности, не превышает 10 рублей. Линейки хранятся в цеховой кладовой и выдаются рабочим на книжку или на марку.

Проверка плоскости шлифовальника стеклянной линейкой производится следующим способом. Линейка берется пальцами правой руки за серединку, прижимается плоскостью *AB* или *CO* к плоскости шлифовальника, и по длине линейки делается движение длиной около 40 мм, по возможности через центр шлифовальника. Линейка на шлифовальнике оставляет заметный след, по характеру которого и судят об ошибке на шлифовальнике. Так, если след сильнее в середине, а на краю даже совсем пропадает, то на шлифовальнике бугор и его следует подрезать в середине. Если,

наоборот, след сильнее на краях, то резать следует края. При этом можно судить не только о качестве ошибки, но и о ее величине. Подрезать плоский шлифовальник при маленьких ошибках лучше всего осколками карборундового камня с зерном № 80 или 100. При помощи стеклянной линейки ошибка шлифовальника до 2 колец легко обнаруживается.

Шлифовку плоского пробного стекла можно считать законченной, когда ошибка не превышает 1 полосы. Но лучше всего стремиться получить шлифовку со всем хорошую плоскость, особенно при диаметре стекла свыше 50 мм, ибо время затраченное на подгонку шлифовальника, с лихвой окупится при полировке.

Полировку следует производить по тем же правилам, которые были изложены выше при описании изготовления сферических стекол.

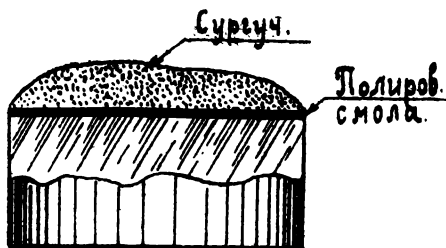


Рис. 53

Массовое изготовление рабочих плоских стекол

Изготавливать рабочие плоские стекла только что описанным способом есть смысл только в маленькой мастерской с общим количеством рабочих до 20 чел. или же для практики молодых оптиков. В больших же мастерских эту работу

надо производить в массовом порядке следующим образом. На заготовки пробных стекол, на отполированные на сукне поверхности наклеивается самый мягкий сургуч, употребляемый для наклейки на блоки флинтowych стекол так, как это представлено на рис. 53. Между стеклом и сургучом прокладывается тонкий слой (не толще 0,5 мм) полировальной смолы. Это делается для того, чтобы избежать деформации стекла сургучом. Затем стекла наклеиваются в блоки по 7 штук. Делается это следующим образом. Прежде всего, матовые плоскости хорошо очищаются от сургуча, который легко мог попасть при наклейке. Потом они притираются к шлифовальнику диаметром, равным $3\frac{1}{4}$ — $3\frac{1}{3}$ диаметра стекла, одно стекло в середину и 6 штук по краям. Притирать следует слегка увлажненными плоскостями и так, чтобы отнюдь не было

соприкосновения между соседними стеклами, ибо это вызовет неровную полировку поверхностей. Лучше всего оставлять расстояния между стеклами в 1—1,5 мм. Когда стекла притерты, к ним приклеивается планшайба—блок, почти такого же диаметра, как и шлифовальник. Блок для этого нагревается до

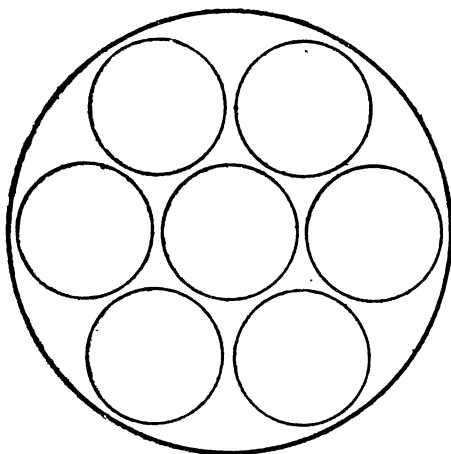
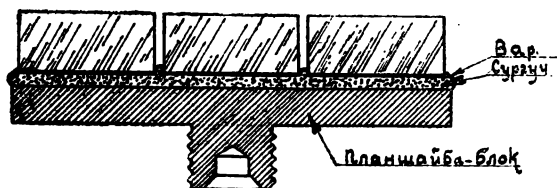


Рис. 54

110° С и накладывается на стекла. Когда сургуч достаточно расплавится, блок остужается водой. Рис. 54 представляет блок со стеклами. Шлифовка и полировка такого блока производится на большом шлифовально-полировальном автоматическом станке. Шлифовальник проверяется под стеклянную линейку. Надо добиваться, чтобы после шлифовки была почти хорошая плоскость. Полировку можно считать законченной, когда ошибка будет около 0,5 полосы, лучше с ямой, чем с бугром, так как от ямы подходить к хорошей плоскости легче,

чем от бугра: после бугра большею частью остается легкий завал на краях. Окончательная же полировка плоскостей производится на ножном станке. А так как сразу полируется не меньше 7 стекол, то на каждое стекло идет времени сравнительно немного, потому что время, потраченное на налаживание работы, т. е. на подбор смолы, изготовление полировальника и т. д., делится на 7. Кроме того, во время отстойки одних стекол оптик полирует другие. При индивидуальном изготовлении, на одно стекло пойдет около 6 часов—при массовом же — 3-4.

Изготовление контрольных плоских стекол

В каждой оптической мастерской, кроме рабочих, должны быть и контрольные плоские стекла, или то, что принято называть эталонами плоскостей, возможно большего диаметра—100-150 мм. Изготовление таких стекол представляет довольно трудную работу, требующую высококвалифицированного оптика, ибо точность плоскости требуется не ниже, чем 0,1 полосы, а трудность работы возрастает пропорционально квадрату диаметра. Обыкновенно таких эталонов сразу изготавливается 3 штуки. Когда не имеется готового эталона, то это единственный способ получить правильную плоскость.

Достигается это следующим способом. Когда плоскости отшлифованы на ножном станке, их прополировывают и, если нет под руками никакого плоского пробного стекла, одно из них—обозначим его № 1 — принимается за пробное и под него подполировываются два другие. Потом эти два накладываются одно на другое. Если на первом стекле была какая-то ошибка, допустим, бугор в одну полосу, то на 2 и 3 будет яма в одну полосу, что при наложении их одно на другое обнаружится ямой в 2 полосы. Дальше второе стекло подполировывается под третье так, чтобы была ошибка в одну полосу, и приняв его за пробное, под него подполировываются первое и третье и т. д., до тех пор, пока все три не получатся с хорошими плоскостями.

Способ трех уравнений

Этот способ довольно длителен. Можно идти более коротким путем. Отшлифовав все три стекла и просветлив настолько, чтобы хорошо была видна интерференционная картина, обозначим собственные ошибки первого стекла через x , второго через y и третьего через z . Будем теперь накладывать их

одно на другое и результаты измерений выпишем в виде трех уравнений:

$$\begin{aligned} 1. \quad x + y &= a \text{ полос} \\ 2. \quad x + z &= b \text{ " } \\ 3. \quad y + z &= c \text{ " } \end{aligned}$$

Мы получили 3 уравнения с тремя неизвестными. Решим их в общем виде. Отняв от первого уравнения второе, получим

$$y - z = a - b.$$

Сложив его с 3 уравнением, получаем

$$2y = a - b + c, \text{ откуда}$$

$$y = \frac{a - b + c}{2}$$

Подставив полученное значение для y в первое уравнение, получаем:

$$x = \frac{a + b - c}{2}$$

Проделав то же самое с 3-м уравнением, получаем

$$z = \frac{c - a + b}{2}$$

В дальнейшем достаточно будет подставить величины a , b и c в полученные 3 формулы чтобы найти величины ошибок каждого стекла.

Пример: Допустим, что в результате наших измерений получилось:

$$\begin{aligned} x + y &= a = +2 \text{ (бугор в 2 полосы).} \\ x + z &= b = -1 \text{ (яма в 1 полосу).} \\ y + z &= c = -0,5 \text{ (яма в 0,5 полосы).} \end{aligned}$$

Подставляя в формулы величины a , b и c , получаем:

$$x = \frac{2 + (-1) - (-0,5)}{2} = \frac{2 - 1 + 0,5}{2} = \frac{1 \cdot 5}{2} = +0,75$$

$$y = \frac{2 - (-1) + (-0,5)}{2} = \frac{2 + 1 - 0,5}{2} = \frac{2 \cdot 5}{2} = +1,25$$

$$z = \frac{-0,5 - 2 + (-1)}{2} = \frac{-0,5 - 2 - 1}{2} = \frac{-3 \cdot 5}{2} = -1,75$$

Значит на первом стекле бугор в 0,75 полосы, на втором бугор в 1,25 полосы и на третьем — яма в 1,75 полосы. Теперь мы можем сполировывать только те ошибки, которые имеются на данном стекле. Приняв первое стекло (стекло с наименьшей ошибкой) за пробное, полируем второе и третье так, чтобы на них был бугор в 0,75 полосы. Потом подполировываем первое под второе без ошибки. Теперь надо снова произвести уже более тщательный промер всех трех стекол и тем же способом найти ошибки на каждом из них. Последние теперь будут очень небольшие — в пределах 0,2 — 0,3 полосы. Дальше надо продолжать полировку тем же способом, пока все три стекла не будут готовы.

Особенности изготовления контрольных плоских стекол При полировке столь больших стекол приходится преодолевать целый ряд трудностей. Во-первых, надо помнить, что отстой получается больше, чем при изготовлении стекол меньшего диаметра. Во-вторых, надо хорошо угадать твердость полировальной смолы. Последнюю приходится брать значительно мягче не только для того, чтобы избежать местных ошибок, но также и потому, что большой полировальник труднее поддается выравниванию. Он должен быть мягким еще и для того, чтобы ошибки сполировывались медленно, иначе плоскость будет переходить с бугра на яму и наоборот. В третьих, окончательную полировку приходится производить на неподвижном полировальнике, только движениями руки. Чтобы полировка велась на разных местах полировальника, последний поворачивается левой рукой примерно на $1/8$ — $1/10$ окружности после каждых 3—4 штрихов.

Применение растиралок При полировке больших стекол есть одно очень неприятное обстоятельство. Чтобы наладить полировальник, снимать ту или иную ошибку, требуется довольно много времени. Между тем, пока происходит отстойка, полировальник успевает деформироваться и, принимаясь за полировку, его приходится снова подогревать, т. е. опять работать втемную. Чтобы избежать этого затруднения, в течение последних двух лет оптики начали употреблять растиралки. Растиралкою называется стекло такого же диаметра, как и изготавливаемое пробное стекло, и, по возможности, той же самой толщины. Во время 5- и 15-минутной шлифовки это стекло шлифуется наравне с пробным. При 30-минутной шлифовке им растирают наждак, чтобы избе-

жать царапин. Для этого, нанеся кисточкой 30-минутного наждака, сначала шлифуют растиралку примерно $1\frac{1}{2}$ минуты. Крупные частицы, иногда попадающиеся в наждаке, при этом растираются, и, если случится царапина, то на растиралке, а не на пробном стекле. Под конец шлифуют и самую растиралку, причем плоскость на ней надо получить по возможности хорошую. При изготовлении полировальника смолу расправляют тоже растиралкой. Во время полировки нагретый полировальник сначала располировывается растиралкой, причем оптик строго следит, как она полируется, т. е. ровно ли, или сильнее в середине или на краю. Когда по его мнению полировальник полирует достаточно хорошо, он принимается за полировку пробного стекла. Во время же отстойки оптик полирует растиралку и таким способом не позволяет полировальнику деформироваться. Применение растиралки значительно ускоряет полировку точных плоскостей.

Применение плоских пробных стекол в механическом производстве. В заключение должно заметить, что плоские пробные стекла за последнее время начинают широко применяться и в механическом производстве при изготовлении эталонов и калибров. Так, при изготовлении наборов

стальных пластинок, дающих эталоны размеров через 1 микрон, называемых пластинками Иогансона (по фамилии их изобретателя, шведского инженера) подшлифовка плоскостей производится под пробное плоское стекло с точностью до 0,25—0,5 полосы.

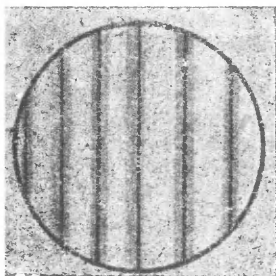


Рис. 55.

При изготовлении и проверке микрометров системы Пальмера также применяются 3 вида плоских пробных стекол. Во-первых, обыкновенными стеклами проверяются концы ножек микрометра, которые должны быть плоскими в пределах 1 полосы. Во-вторых, плоско-параллельными пластинками (параллельность коих выдержана до $\frac{1}{6}$ микрона) проверяется параллельность плоскостей ножек, которая требуется с точностью до 1 микрона. Проверка производится следующим способом: плоскопараллельная пластинка и плоскости ножек тщательно вытираются бумажной тряпкой с денатуратом,

пылинки смахиваются кисточкой, и пластинка зажимается между плоскостями ножек. Если одну плоскость стекла прижать ровно к плоскости ножки, что можно видеть, наблюдая интерференционную картину, то на другой будет видна ошибка в виде параллельных полос. Если их количество разделить на 4, получим ошибку в микронах. Рисунок 55 представляет интерференционную картину микрометра с ошибкой параллельности в 1,5 микрон (6 полос).

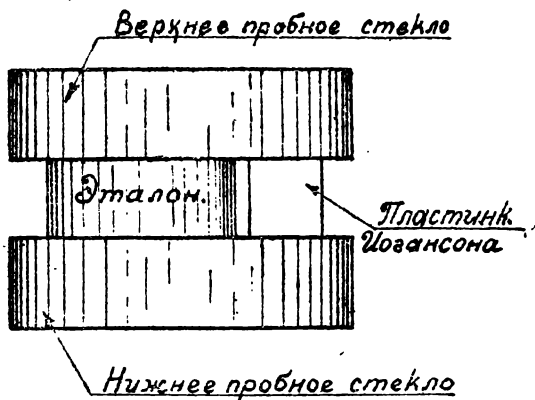


Рис. 56

Наконец, набор плоско-параллельных стекол определенных толщин, например: 10,000; 10,100; 10,200 и 20,000; 20,100 и 20,200, изготовленных с точностью до 0,1 — 0,2 микрона служат для проверки показаний микрометров.

Далее, плоские пробные стекла употребляются при проверке размеров с точностью до долей микрона. Например, эталоны размеров для проверки микрометров, о которых мы только что говорили, можно проверять по пластинкам Иогансона. Для этого эталон и иогансоновская пластинка сажаются на оптический контакт на нижнее плоское пробное стекло, а сверху накладывается верхнее пробное стекло (рис. 56). По характеру интерференционной картины можно судить о том, что толще и на сколько. Точность измерения достигает $\frac{1}{20}$ микрона.