



**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

**Белорусский национальный
технический университет**

Кафедра «Лазерная техника и технология»

ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ОПТИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ

Учебно-методическое пособие

**Минск
БНТУ
2017**

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Белорусский национальный технический университет

Кафедра «Лазерная техника и технология»

ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ОПТИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ

Учебно-методическое пособие
по курсовому проектированию

*Рекомендованно учебно-методическим объединением
в сфере образования в области приборостроения*

Минск
БНТУ
2017

УДК 681.7.02:378.147.091.313(075.8)

ББК 22.34я7

Т38

Авторы:

В. И. Шамкалович, Н. О. Старосотников

А. С. Козерук, В. О. Кузнечик

Рецензенты:

д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой технологии стекла
и керамики Белорусского государственного технологического
университета *И. А. Левицкий*;

начальник технологического бюро оптического завода «Сфера»
БелОМО *И. П. Пашкевич*

Т38 **Технология** производства оптических деталей : учебно-методическое пособие по курсовому проектированию / В. И. Шамкалович [и др.]. – Минск: БНТУ, 2017. – 97 с.
ISBN 978-985-550-635-6.

Данное учебно-методическое пособие предназначено для студентов специальности 1-38 01 02 «Оптико-электронные и лазерные приборы и системы» и может быть полезно студентам других приборостроительных и технологических специальностей в целях ознакомления их с основными принципами технологии обработки оптических деталей. Рассматриваются характеристики оптических материалов, принципы расчёта заготовок, методики обработки оптических деталей на разных этапах производства и др.

УДК 681.7.02:378.147.091.313(075.8)

ББК 22.34я7

ISBN 978-985-550-635-6

© Белорусский национальный
технический университет, 2017

СОДЕРЖАНИЕ

1. ТИПЫ ОПТИЧЕСКИХ СТЕКОЛ	4
2. ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ОПТИЧЕСКОГО СТЕКЛА	6
3. ВИДЫ И НАЗНАЧЕНИЕ ОПТИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ	12
4. АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ ДЕТАЛИ	14
5. ВЫБОР И РАСЧЁТ ЗАГОТОВОК	16
6. КОЭФФИЦИЕНТ ЗАПУСКА И ПОНЯТИЕ ПООПЕРАЦИОННОЙ ПОВТОРЯЕМОСТИ	22
7. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТЕЙ ЗАГОТОВКИ	25
8. ВЫБОР И РАСЧЁТ АЛМАЗНОГО И МЕТАЛЛИЧЕСКОГО ИНСТРУМЕНТА	26
8.1. Абразивные материалы	26
8.2. Алмазный инструмент	27
8.3. Металлический инструмент	38
8.4. Таблеточный алмазный инструмент	45
9. ВЫБОР И РАСЧЁТ ПОЛИРОВАЛЬНИКОВ	48
10. РАСЧЁТ БЛОКОВ	51
10.1. Блоки для обработки плоских поверхностей	51
10.2. Блоки для обработки сферических поверхностей	55
10.3. Блоки для обработки призм, пластин и клиньев	66
11. ВЫБОР И РАСЧЁТ НАКЛЕЕЧНЫХ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ СФЕРИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ	71
11.1. Эластичный способ блокировки	71
11.2. Жёсткий способ блокировки	75
12. РАСЧЁТ ПРИПУСКА НА ОБРАБОТКУ ЗАГОТОВОК	86
13. ВЫБОР МЕТОДА ЦЕНТРИРОВАНИЯ. ФАСЕТИРОВАНИЕ ЛИНЗ	89
Список литературы	97

1. ТИПЫ ОПТИЧЕСКИХ СТЕКОЛ

Вещества называются *стёклами* если им присущи по крайней мере следующие признаки:

аморфное состояние вещества;

твёрдость при обычной температуре;

прозрачность хотя бы для некоторой части спектра видимого излучения;

малые электро- и теплопроводность;

стойкость к реагентам атмосферы и воды;

однородность по всему объёму.

Оптическое стекло – это материал, идущий на изготовление деталей оптических систем приборов и отличающийся наивысшими характеристиками качества по однородности и повторяемости свойств по всему объёму стекла. К оптическим материалам относятся: бесцветное, цветное, кварцевое стекло, стёкла со специальными свойствами, оптические кристаллы, оптические ситаллы, оптическая керамика, волоконно-оптические элементы.

Первым отличительным признаком оптического стекла является высокая однородность. Она достигается специальными приёмами варки и режимами термической обработки сырьевого стекла, включая тонкий отжиг. Тонкий отжиг является наиболее длительной и завершающей стадией в технологии оптического стекла. Он приводит всю массу стекла в структурно-однородное состояние. При этом оптические постоянные стекла принимают значения, стандартизированные для каждой марки стекла.

Вторым отличительным признаком оптического стекла считается его высокая прозрачность. *Оптическим стеклом высокого качества* принято называть стекло, обладающее интегральным показателем ослабления $\mu_A < 0,004 \text{ см}^{-1}$. Сверхпрозрачные стекла, с показателем ослабления $0,002\text{--}0,001 \text{ см}^{-1}$ и менее, требуются для волоконно-оптических линий дальней связи. В рабочем диапазоне длин волн, в красной и ближней инфракрасной частях спектра показатель ослабления стекла должен быть около $0,00002 \text{ см}^{-1}$. Широкое развитие цветной фотографии, кино и телевидения потребовало введения нормирования пропускания стекла по спектру.

К третьему отличительному признаку оптических стёкол относятся большой интервал значений показателей преломления света,

который для разных марок составляет от 1,44 до 2,35 и строгая воспроизводимость показателей преломления, характерных для каждой марки стекла.

Основные постоянные оптических стёкол – показатель преломления и дисперсия – лежат в основе их классификации, а также определяют область применения оптических стёкол, значения данных параметров зависят от химического состава. Названия типов оптических стёкол соответствуют их основному химическому составу.

Типы оптических стёкол

Тип стекла	Условное обозначение	Тип стекла	Условное обозначение
Легкие кроны	ЛК	Кронфлинты	КФ
Фосфатные кроны	ФК	Баритовые флинты	БФ
Тяжёлые фосфатные кроны	ТФК	Тяжёлые баритовые флинты	ТБФ
Кроны	К	Легкие флинты	ЛФ
Баритовые кроны	БК	Флинты	Ф
Тяжёлые кроны	ТК	Тяжёлые флинты	ТФ
Сверхтяжёлые кроны	СТК	Сверхтяжёлые флинты	СТФ
Особые кроны	ОК	Особые флинты	ОФ

2. ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ОПТИЧЕСКОГО СТЕКЛА

Качество изображения, создаваемого оптическим прибором, находится в прямой зависимости от качества оптического материала. В зависимости от поставленных задач, решаемых оптическим прибором, предъявляются соответствующие требования к оптическому материалу.

Оптическое бесцветное стекло нормируется по следующим параметрам: показателю преломления, средней дисперсии, однородности партии заготовок по показателю преломления, однородности партии заготовок по средней дисперсии, оптической однородности, двулучепреломлению, радиационно-оптической устойчивости для стекол серии 100, показателю ослабления, бессвильности, пузырьности (ГОСТ 3514–94).

Качество оптического стекла зависит от величины допустимых отклонений параметров от номинальных значений и регламентируется классами и категориями.

Показатель преломления n_e и средняя дисперсия $n_F - n_C$ нормируются категориями качества (табл. 2.1) и классами (табл. 2.2) с допустимыми отклонениями Δn_e и $\Delta(n_F - n_C)$. Допуски на Δn_e и $\Delta(n_F - n_C)$ могут быть расширены по сравнению с расчётными при условии ограничения отклонений по этим показателям для заготовки внутри одной партии.

Таблица 2.1

Категории стёкол по отклонению показателя преломления Δn_e
и средней дисперсии $\Delta(n_F - n_C)$

Категория	1	2	3	4	5
$\pm \Delta n_e \cdot 10^{-4}$	2	3	5	10	20
$\pm \Delta(n_F - n_C) \cdot 10^{-5}$	2	3	5	10	20

Таблица 2.2

Классы стёкол по однородности показателя преломления Δn_e
и средней дисперсии $\Delta(n_F - n_C)$

Класс	А	Б	В	Г
$\pm \Delta n_e \cdot 10^{-4}$	0,2	0,5	1,0	В пределах отклонений для заданной категории
$\pm \Delta(n_F - n_C) \cdot 10^{-5}$	–	–	1,0	

Фактические значения учитываются при комплектовании оптических деталей системы, а необходимое количество выходных параметров сохраняется путём коррекции геометрических размеров линз: толщин, радиусов кривизны или воздушных промежутков между линзами.

Оптическая однородность показателя преломления характеризуется постоянством показателя преломления по всему объёму образца.

Для образцов стекла диаметром до 250 мм установлено пять категорий оптической однородности (табл. 2.3), характеризующихся разрешающей способностью при длине волны изучения 550 нм. Разрешающая способность определяется отношением угла разрешения ϕ коллиматорной установки, в параллельный пучок лучей которой введён образец стекла, к углу разрешения ϕ_0 самой установки.

Таблица 2.3

Категории оптической однородности стекла

Категория	1	2	3	4	5
ϕ/ϕ_0 , не более	1,0	1,0	1,1	1,2	1,5

Для образцов стекла диаметром более 250 мм также установлено пять категорий оптической однородности, характеризующихся тремя коэффициентами:

K_ϕ , обусловленным неоднородностью показателя преломления, возникшей в процессе отжига;

ΔK , обусловленным асимметричным относительно оси образцов стекла расположением неоднородностей показателя преломления, возникающих в процессе отжига стекла;

K_x , обусловленным неоднородностью показателя преломления, возникшей в процессе варки и разделки стекломассы.

Двойное лучепреломление является показателем качества отжига стекла, который характеризуется разностью хода (в нанометрах на 1 см пути) двух лучей, на которые разделится падающий луч под действием остаточных напряжений при прохождении в толще стекла в направлении наибольшего размера.

При охлаждении стекла ниже температур отжига в нем появляются механические напряжения, вызывающие соответствующее двулучепреломление. Связь между двулучепреломлением, выраженным изменением показателя преломления Δn , и механическими напряжениями $\Delta\sigma$ устанавливается при помощи оптического коэффициента напряжения B :

$$\Delta n = B\Delta\sigma = \delta/S,$$

где S – длина хода луча в образце, см;

δ – разность хода, возникающая при прохождении поляризованного света через напряжённый образец, нм;

Большинство стёкол имеет положительное значение B (если напряжения при растяжении, как принято в теории упругости, считать с положительным знаком) в пределах $(0,6-4,0)10^{-12}$ Па⁻¹. Установлено пять категорий двулучепреломления. Как видно из табл. 2.4, при этом учитывается значение коэффициента напряжения B .

Таблица 2.4

Категории стёкол по двулучепреломлению

Категория	Двулучепреломление, нм/см, не более, при оптическом коэффициенте напряжения $B \cdot 10^{12}$, Па ⁻¹		
	До 2,0	От 2,0 до 2,8	Св. 2,8
1	1,5	2	3
2	4,0	6	8
3*	7,0	10	13
4	10,0	15	20
5	35,0	50	65

* При просмотре заготовок деталей в поляризованном свете в рабочем направлении не должны обнаруживаться просветлённые участки.

У заготовок малого размера двойное лучепреломление не оказывает существенного влияния на качество изображения. Двойное лучепреломление появляется из-за напряжений, возникающих в стекле при его охлаждении. Оно может быть значительно уменьшено отжигом стекла. При определённых условиях отжига между оптической однородностью стекла и двойным лучепреломлением имеется соответствие, при котором контроль оптической однородности крупных заготовок можно выполнять по двойному лучепреломлению.

Показатель ослабления μ_A является параметром, по которому нормируется светопоглощение стекла. Он представляет собой величину, обратную расстоянию, на котором поток излучения от стандартного источника типа А (лампа накаливания с цветовой температурой 2850 ± 50 К) ослабляется в результате поглощения и рассеяния в стекле в 10 раз. Установлено восемь категорий допускаемых значений показателя ослабления (табл. 2.5).

Таблица 2.5

Категории стёкол по показателю ослабления

Категория	1	2	3	4
$\mu_A, \text{см}^{-1}$	0,0002–0,0004	0,0005–0,0009	0,0010–0,0017	0,0018–0,0025
Категория	5	6	7	8
$\mu_A, \text{см}^{-1}$	0,0026–0,0035	0,0036–0,0045	0,0046–0,0065	0,0066–0,0130

Светопоглощение стекла неравномерно по спектру, поглощение в ультрафиолетовой и синей частях спектра во много раз больше, чем в жёлтой и красной частях.

Свилы являются резко выраженными локальными оптическими неоднородностями стекла. Они представляют собой прозрачные нитевидные или слоистые включения, имеющие показатель преломления, отличный от показателя преломления основной массы стекла. Присутствие в стекле свилей снижает качество изображения. Класс бессвильности стекла характеризуется отсутствием видимых включений различного рода при просмотре стекла при определённых условиях в одном (А) или двух (Б) взаимно перпендикулярных направлениях. Установлены две категории бессвильности. Контроль осуществляется на установке, градуированной по контрольным образцам свилей, соответствующим первой и второй категориям бессвильности. Стекло,

бессвильное в двух взаимно перпендикулярных направлениях, бессвильно и в любом другом направлении. По классу А обычно заказывают стекло для призмной оптики, по классу Б – для линзовой оптики. Мелкие и крупные нитевидные одиночные свили не оказывают влияния на технологию обработки стекла. Свилы в виде слоёв вызывают астигматизм поверхности. В местах выхода на поверхность узловых или одиночных свилей возникают местные ошибки.

Пузыри – газовые и воздушные включения, некоторое количество которых остаётся в затвердевавшем стекле из-за физико-химических процессов, происходящих в расплавленной стекломассе на различных стадиях технологического процесса. Пузырность принято характеризовать двумя параметрами – диаметром наибольшего пузыря в заготовке стекла и суммарным числом всех пузырей в 1 кг сырьевого стекла. Предельные значения диаметров пузырей для всех категорий лежат в пределах от 0,002 до 5,0 мм (табл. 2.6). Камни, кристаллы и головки узловых свилей приравнивают к пузырям. Камни, сопровождающиеся трещинами, в заготовках не допускаются.

Таблица 2.6

Категории стёкол по пузырьности

Категория	Диаметр наибольшего пузыря в заготовке, мм, не более	Категория	Диаметр наибольшего пузыря в заготовке, мм, не более
1	0,002	6	0,7
1a	0,05	7	1,0
2	0,1	8	2,0
3	0,2	9	3,0
4	0,3	10	5,0
5	0,5		

Классы пузырьности оптического стекла характеризуются средним числом пузырей в 1 кг сырьевого стекла (табл. 2.7). Подсчёт числа пузырей для определения класса пузырьности начинается с размера 0,03 мм. Группы пузырьности сырьевого оптического стекла характеризуются рассчитанной площадью сечения всех пузырей, заключённых в 100 см³ стекла (табл. 2.8).

Таблица 2.7

Классы стёкол по пузырьности

Класс	Среднее число пузырей диаметром свыше 0,03 мм, не более	Класс	Среднее число пузырей диаметром свыше 0,03 мм, не более
А	3	Д	300
Б	10	Е	1000
В	30	Ж	3000
Г	100		

Таблица 2.8

Группы стёкол по пузырьности

Группа	Суммарная площадь сечений пузырей в 100 см ³ стекла, мм ²	Группа	Суммарная площадь сечений пузырей в 100 см ³ стекла, мм ²
1	Менее 0,032	5	0,5–1,0
2	0,032–0,125	6	1,0–2,0
3	0,125–0,250	7	2,0–4,0
4	0,25–0,50		

Для технолога класс пузырьности сырьевого стекла имеет определённое значение, так как в многопузырном стекле увеличивается вероятность образования вскрытых пузырей на полированной поверхности деталей, присутствие которых исключает получение поверхностей высоких классов чистоты. Крупные пузыри вызывают вокруг них появление местных ям на поверхности. Они затрудняют чистку поверхностей, нанесение на них покрытий высокого качества, затрудняется соединение деталей склеиванием или оптическим контактом.

Пузыри нормируются из-за видимости их в поле зрения оптического прибора, в случае их расположения вблизи плоскости изображения появляются размытые пятна, а при их большом количестве увеличивается диффузное рассеяние.

3. ВИДЫ И НАЗНАЧЕНИЕ ОПТИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ

По геометрическим признакам оптические детали подразделяют на следующие основные типы: линзы, пластины, клинья, призмы, зеркала с плоскими и криволинейными поверхностями. Кроме того, существуют оптические детали, относящиеся к дополнительным типам:

асферические;

комбинации основных типов (децентрированные линзы, линзовые растры);

комбинации поверхностей сложного микропрофиля (дифракционные решётки, волоконно-оптические элементы, микроканальные пластины).

По функциональному назначению все оптические детали делятся на следующие виды:

– создающие отклонение оси оптической системы (клинья, преломляющие призмы);

– создающие поступательное смещение части системы (линзы, зеркала, плоскопараллельные пластинки, отражательные призмы);

– приносящие в систему дополнительную оптическую силу (коллективы);

– корригирующие элементы, не вызывающие вышеперечисленных отклонений, но влияющие на качество изображения (пластины Шмидта);

– диспергирующие элементы, разлагающие излучение на монохроматические составляющие (преломляющие призмы, дифракционные решётки);

– поляризационные элементы, преобразующие проходящий через них свет в поляризованный (двупреломляющие призмы);

– комбинированные элементы, сочетающие в себе одновременно несколько функций.

Линзы ограничиваются двумя преломляющими сферическими, плоскими, цилиндрическими и различными асферическими поверхностями, из которых хотя бы одна является поверхностью вращения. По характеру преобразования пучка лучей выделяют:

положительные (собирающие) линзы, имеющие положительные задние фокусные расстояния;

отрицательные (рассеивающие) линзы, имеющие отрицательные задние фокусные расстояния;

телескопические (афокальные) линзы, оптическая сила которых равна нулю.

Толщина положительных линз, как правило, по оси больше, чем на краю, а отрицательных – наоборот.

По форме преломляющих поверхностей линзы бывают сферические, асферические, цилиндрические, торические.

Призмы имеют плоские отражающие и преломляющие поверхности, расположенные под различными углами друг к другу. В зависимости от хода осевого луча призмы делятся на простые с ходом луча в одной плоскости и сложные – с ходом луча в разных плоскостях (призмы с крышей). Призмы используют:

для изменения направления светового пучка и оборачивания изображения (наблюдательные и измерительные оптические приборы);

соединения и разделения световых пучков;

разделения поля зрения уменьшения габаритов оптических систем, т. е. придания прибору компактной конструкции.

Также призмы имеют специальное применение (компенсация поворота изображения в оптических приборах с подвижными оптическими элементами). По сравнению с зеркалами призмы имеют ряд преимуществ:

призма, имеющая несколько отражающих граней представляет собой жёсткую систему (постоянство углов между отражательными гранями), в то время как система зеркал вследствие разделительного крепления требует тщательной юстировки при сборке;

крепление призм в оправках проще;

при полном внутреннем отражении от граней призм, при котором отсутствуют потери света на этих гранях, в то время как у зеркал потери света при отражении всегда значительны (от 5 % при серебрении до 45 % при хромировании);

отражающие грани призм, имеющие зеркальные покрытия, проще защитить от внешних воздействий, чем внешние покрытия зеркал;

некоторые отражательные призмы невозможно заменить зеркалами (призму Дове, Шмидта и др.) без увеличения габаритов системы.

Следует отметить, что замена призм зеркалами целесообразна в тех случаях, когда имеет значение масса системы.

Плоскопараллельные пластины могут быть светофильтрами, сетками, защитными стёклами.

Клинья применяются для получения и измерения малых углов отклонения луча. Измерительные клинья (компенсаторы) бывают двух типов: клин, перемещающийся вдоль оси в сходящемся пучке и пара вращающихся клиньев.

4. АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ ДЕТАЛИ

Критерии технологичности. Совершенство конструкций оптических деталей и сборочных единиц характеризуется их соответствием своему функциональному назначению, удобством, надёжностью и экономичностью работы в приборе, а также тем, в какой мере учтены и использованы возможности наиболее прогрессивных методов и средств их изготовления и контроля.

Обобщённым критерием технологичности конструкции изделия является её экономическая целесообразность при заданном качестве и принятых условиях производства, эксплуатации и ремонта.

Производственная технологичность заключается в сокращении затрат средств и времени на конструкторскую и технологическую подготовку производства и технологические процессы изготовления. Эксплуатационная технологичность имеет место при сокращении затрат средств и времени на техническое обслуживание и ремонт изделия.

Все оптические детали согласно ОСТ 3-2408–80 разделяются на четыре категории сложности (табл. 4.1). В зависимости от того, к какой категории сложности относится деталь, выбирают схему построения технологического процесса, назначают последовательность выполнения операций и режимы работы станков. Критериями сложности являются конструктивные параметры детали и требования к точности их выполнения. Если параметры относятся к разным категориям сложности, ее принимают наивысшей.

Пример анализа технологичности детали

Общее отклонение

$$N_{\text{вкл}} = N/D = 3/50 = 0,006 \text{ (I категория).}$$

Относительная толщина детали

$$t/D = 4,5/50 = 0,09 \text{ (II категория).}$$

Поле допуска 0,1 (II категория).

Чистота полированной поверхности:

P_A – II (II категория);

P_B (III – II категория).

Коэффициент относительной твёрдости по сошлифовыванию

H_S – 0,52 (II категория).

Таким образом принимаем I категорию сложности изготовления детали.

Таблица 4.1

Категории сложности оптических деталей

Параметр	Категория сложности			
	I	II	III	IV
Общее отклонение $N_{\text{усл}}$ для деталей диаметром D , мм: До 130	До 0,3	Св. 0,3 до 0,8	Св. 0,8	Не нормируется
Св. 130 до 250	До 0,4	Св. 0,4 до 0,9	Св. 0,9	
Относительная толщина детали t/D или t/L	До 0,03	Св. 0,03 до 0,05	Св. 0,05 до 0,09	Св. 0,09
Поле допуска, мм	До 0,04	Св. 0,04 до 0,10	Св. 0,1 до 0,3	Св. 0,3
Предельные отклонения угловых размеров	До 0,5	До 1,0	Св. 1,0	Св. 5,0
Чистота полированной поверхности	0–40; I	II	III	VI–IXa
Коэффициент относительной твёрдости по сошлифовыванию H_S	Св. 1,5 до 0,4	Св. 0,4 до 0,6	Св. 0,6 до 0,8	Св. 0,8 до 1,5
$N_{\text{усл}} = N/D$, где D – диаметр блока (диагональ), см.				

5. ВЫБОР И РАСЧЁТ ЗАГОТОВОК

Основанием для разработки параметров заготовки является конструкторский чертёж оптической детали, по которому разрабатывают чертёж оптической заготовки для принятого технологического процесса. На чертеже указываются припуски на обработку, чистовые размеры и требования к материалу. Чертёж заготовки необходим для заказа полуфабриката поставщику стекла.

Припуск – слой материала, который удаляется с заготовки в процессе обработки. При выборе припуска на диаметр или толщину в расчёт принимается наибольшее значение изготавливаемого размера оптической детали. Также следует учитывать глубину залегания дефектов и нижний допуск на изготовление заготовок. В среднем припуск на шлифовку и полировку одной стороны, в зависимости от марки стекла, может быть принят приблизительно равным 0,15 мм.

Расчётным путём определяются минимально допустимые размеры по толщине, диаметру или стороне заготовок, радиусы сферических поверхностей. В промышленных условиях для производства оптических деталей используются заготовки из оптического стекла. Сваренное стекло превращают в полуфабрикаты в виде бруса, плитки, листа, блока, штабика, прессовок и др. В соответствии с ГОСТ 13240–78 тип заготовки определяется с учётом вида, формы, габаритных размеров заготовки, полуфабриката и марки стекла, указываются качественные характеристики стекла и допуски на его дефекты.

С учётом всех указанных факторов и ГОСТ 13240–78 составлена табл. 5.1, из которой может быть взята величина полного припуска на диаметр, толщину линз и габариты пластин и призм. Номинал диаметра заготовки менее 50 мм округляется до 0,5 мм, свыше 50 мм – до 1,0 мм в сторону увеличения. Припуски на обработку заготовок, линз, круглых, прямоугольных, квадратных пластин и призм, полученных прессованием и механической разделкой с обработкой края, должны соответствовать значениям, указанным в табл. 5.1 (ОСТ 3-510).

Таблица 5.1

Припуски на обработку заготовок оптических деталей, мм

Припуск	Диаметр или наибольшая сторона заготовок							
	От 50 включительно	50–80	80–100	100–120	120–150	150–250	250–360	360–500
Диаметр	1,3	2,5	2,8	3,8	4,0	7,5	12,0	16,0
Прямоугольное сечение	1,5	2,5	2,8	3,8	4,0	7,5	12,0	16,0
Толщины по оси	1,8		2,8		5,0	6,0	8,0	
Числовой стороны призмы	1,2	1,5	2,0		2,5	–		
Шамотной стороны призмы	1,5	1,8	2,7		3,0	–		

Пример расчёта размеров заготовок для линзы диаметром 50 мм, толщиной по центру 4,5 мм и радиусами кривизны $R_A = \infty$ и $R_B = 60,67$ мм.

Диаметр заготовки

$$D_3 = 50 + 1,5 = 51,5 \text{ мм.}$$

Радиусы кривизны R_A – шамотный слой $P = 1,8$ мм, R_B – чистая сторона $P = 1,5$ мм.

Припуск на толщину

$$t_3 = 4,5 + 1,8 + 1,5 = 7,8 \text{ мм.}$$

Правильность выбранного припуска P проверяют по расчёту косины или разности в толщине $\Delta t_{\text{кр}}$, мм, которая должна быть не менее 0,4 мм. Для различных типов линз используются формулы определения $\Delta t_{\text{кр}}$:

– для двояковыпуклых (знак «-») и двояковогнутых (знак «+»)

$$\Delta t_{\text{кр}} = \frac{Pd(R_1 + R_2 \pm t)}{2R_1R_2};$$

– для плосковогнутых и плосковыпуклых линз

$$\Delta t_{\text{кр}} = Pd / 2R;$$

– для положительных менисков

$$\Delta t_{\text{кр}} = \frac{Pd(R_2 - R_1 + t)}{2R_2(R_1 - h_1)};$$

– для отрицательных менисков

$$\Delta t_{\text{кр}} = \frac{Pd(R_1 - R_2 + t)}{2R_2(R_1 - h_1)};$$

где R – радиус (R_1 – больший, R_2 – меньший);

t – толщина линз по центру, мм;

h – стрелка прогиба поверхности линзы, мм.

Радиус кривизны сферических заготовок линз назначается с учётом радиуса детали и припуска на толщину по оси $\Delta t_{\text{кр}}$ по формулам:

– для выпуклой поверхности

$$+R_{\text{заг}} = R_{\text{дет}} + \Delta t_{\text{кр}} / 2 + \Delta;$$

– для вогнутой поверхности

$$-R = -R + \Delta t / 2 + \Delta,$$

где Δ – надбавка к радиусу, предусматривающая утолщение заготовок на краю линзы, которая должна быть не менее 0,5 мм. Утолщение нужно и потому, что, как правило, обработка заготовок начинается с края и определяется по формуле

$$\Delta = 0,4(R_{\text{дет}} / D_{\text{дет}})^2$$

и округляется до 0,1 мм при значениях менее 1,5 мм; до 0,5 – при значениях от 1,5 до 3 мм; до целого числа – при $\Delta \geq 3$ мм; для $\Delta < 3$ мм к полученному значению добавляют 0,5 мм.

Припуск на распиливание кратных заготовок

$$\Delta \varepsilon = 1,15Hn,$$

где 1,15 – коэффициент, учитывающий увеличение ширины распила из-за торцевого биения, несовпадения плоскости вращения круга с направлением подачи и др.;

H – толщина отрезного алмазного круга по ГОСТ 10110;

n – число распилов.

Припуски на обработку заготовок круглых пластин из штабика, чистовых прессовок и заготовок, полученных из стекломассы, должны соответствовать значениям, указанным в табл. 5.2.

Таблица 5.2

Припуски на заготовки оптических деталей,
учитывающие способ их получения, мм

Вид заготовки	Диаметр или наибольшая сторона	Припуск		
		диаметра заготовки	стороны заготовки прямоугольного сечения	толщины по оси
Штабик	8–17	1,8	–	1,5
Прессовка	12–22	1,2		1,1
Заготовки и стекломасса	14–30	0,8		
	30–35	1,2		
	35–50	1,3		
	50–70	1,1	1,5	
	70–120	1,3	–	2,1
	120–150	1,8		

По согласованию с изготовителем при заказе заготовок допускается уменьшение припуска на обработку диаметра и стороны заготовки прямоугольного сечения диаметром или наибольшей стороной свыше 150 мм. Припуски на обработку устанавливаются из расчёта суммарного припуска на залегание дефектов с двух сторон плюс нижнее предельное отклонение размера заготовки.

Припуск на диаметр менисковых линз и линз, пологих с малым различием толщин центра и края (длиннофокусных), должен быть увеличен. Для длиннофокусных (плохо центрирующихся) линз справедлива формула

$$P = 0,35f / d,$$

где P – величина припуска на обработку, мм;

f – фокусное расстояние линзы, мм;

d – диаметр заготовки, мм.

Размеры отражательных призм зависят от размеров поперечного сечения пучка и определяются при расчёте оптических систем. Расчётные размеры призм обычно увеличивают на 0,5–2 мм для обеспечения юстировки и крепления призм в оправках. Указанный припуск берётся меньше, когда призма закреплена в гнезде и больше – при креплении в отдельной оправе. Защитные фаски на призмах (от выколок) нормализованы. Они снимаются по нормали к биссектрисе угла между гранями, ширина фасок измеряется по наибольшей стороне треугольника. На ребре призм снимается фаска шириной 0,02–0,05 мм.

Погрешности углов между отражающими и преломляющими гранями и пирамидальность приводят к клиновидной развёртке, а пирамидальность также вызывает ошибку визирования. Величина допусков на указанные углы и пирамидальность вычисляются в зависимости от допустимых величин хроматизма и требований к точности всего прибора. Погрешности углов крыши вызывают двоение изображения, поэтому допуски на эти углы всегда назначаются жёсткими (3–4"). Погрешности углов между преломляющими гранями неподвижных призм вызывают только изменение угла отклонения пучка, которое может быть скомпенсировано юстировкой оптической системы.

Заготовки серийных оптических деталей (призм, пластин, клин) изготавливаются методом горячего формования стекла, нагретого до температуры пластического состояния. Конфигурация заготовки определяется формой будущей детали с учётом припусков последующей механической обработки. Припуски и предельные отклонения размеров заготовки регламентированы ГОСТ 13240. В оптическом производстве применяют технологические процессы горячего формообразования, включая свободное и принудительное моллирование, прессование, вытягивание штабиков. Основным видом заготовок для изготовления серийных деталей являются пресковки – заготовка с минимальными допусками на припуск. Изготовление заготовок из сырьевого стекла осуществляется методами резания, раскалывания, распиливания, высверливания.

Толщина прескованной или отпиленной заготовки призмы $t_{\text{пр}}$ или размер между её нерабочим боковыми поверхностями, независимо от её формы, определяется по формуле

$$t_{\text{пр}} = t_{\text{м}} + 2a,$$

где $t_{\text{м}}$ – наибольший диаметр или сторона, размер толщины готовой детали, мм;

a – припуск чистовой стороны согласно табл. 5.1.

Для расчёта габаритов призмы необходимо найти высоту призмы и размеры наибольшей стороны призмы. Припуск на каждую из сторон рассчитывается исходя из её размеров. При наличии шамотного слоя на одной из сторон величина припуска увеличивается. При расчёте плоских заготовок (пластин, клиньев) используются габаритные размеры оптических деталей с увеличением размеров на припуск в соответствии с данными табл. 5.1.

После проведения необходимых расчётов производится графическое оформление чертежа. Графика эскиза особо не оговаривается, кроме круглых заготовок, ось вращения которых изображается горизонтально, и призм, изображаемых гипотенузной гранью вниз. На чертежах заготовок линз и дисков надлежит указывать размеры заготовки и в скобках – размеры готовой детали (диаметр, радиусы и другие параметры формы поверхности, толщину по оси). Для

прямоугольных заготовок (плиток, клиньев, кубиков) указываются габаритные размеры, величины фасок и при необходимости угол, размеры скосов. На чертежах заготовок призм, некруглых деталей указывают линейные и угловые размеры, определяющие форму заготовки и готовой детали, а также размеры фасок.

Требования к оптическим параметрам указываются в таблице в углу чертежа. Для ненормируемых параметров ставят прочерки. Классы шероховатостей берутся из ГОСТ 2.309–73 и выбираются для рабочих поверхностей линзы $Rz0,05$ (полировка); для базовых поверхностей $Rz2,5$. Классы чистоты рабочих поверхностей регламентирует ГОСТ 11141–84. Размеры заготовок проставляются с указанием допусков изготовления по табл. 3–5 ГОСТ 13240–78. В штампе проставляются наименование, шифр заготовки, материал и её масса.

6. КОЭФФИЦИЕНТ ЗАПУСКА И ПОНЯТИЕ ПООПЕРАЦИОННОЙ ПОВТОРЯЕМОСТИ

Согласно ОСТ 3-5581–83 количество годных деталей характеризуется коэффициентом выхода годных деталей как по всему технологическому процессу, так и по отдельным операциям.

Коэффициентом выхода годных деталей $K_{вг}$ называется отношение количества годных деталей, полученных после выполнения всех операций технологического процесса, к количеству заготовок, запущенных в производство:

$$K_{вг} = N_{г} / N_{заг},$$

где $N_{г}$ – количество годных деталей;

$N_{заг}$ – количество заготовок, запущенных в производство.

Коэффициентом выхода годных заготовок на операции $K_{вг}^n$ называется отношение количества годных заготовок, полученных после выполнения операции, к количеству заготовок, поступивших на данную операцию:

$$K_{вг}^n = N_{г}^n / N_{заг}^n,$$

где n – номер операции по технологическому процессу;

N_{Γ}^n – количество годных заготовок после выполнения операции;

$N_{\text{заг}}^n$ – количество заготовок, поступивших на операцию.

Величину, обратную коэффициенту выхода годных деталей, называют *коэффициентом запуска* K_c , который показывает, сколько заготовок необходимо запустить в производство, чтобы получить требуемое количество годных деталей:

$$K_c = 1/K_{\text{вг}}.$$

Величина, обратная коэффициенту выхода годных заготовок на операции, называется *операционным коэффициентом запуска* K_o^n , который показывает, сколько заготовок необходимо запустить на операцию, чтобы получить требуемое количество годных заготовок:

$$K_o^n = 1/K_{\text{вг}}^n.$$

Коэффициент запуска на детали, выпускаемые разовой партией в количестве до 30 шт., периодически повторяемыми партиями менее 10 шт. в год, а также вновь осваиваемые в производстве детали сложной конструкции устанавливается индивидуально и утверждается в установленном порядке.

Коэффициент выхода годных деталей на каждой операции определяется согласно табл. 1–3 ОСТ 3-5581–83 с учётом суммарных предельно допускаемых потери по технологическим причинам A_n на каждой операции отдельно:

$$K_{\text{вг}}^n = 100 - A_n.$$

Промежуточный коэффициент запуска $K_{\text{пр}}^n$, учитывающий потери на данной операции:

$$K_{\text{пр}}^n = 100/K_{\text{вг}}^n.$$

Так как необходимо обеспечить требуемое количество годных деталей после выполнения последней операции технологического процесса, то расчёт операционных коэффициентов запуска необходимо вести с конца технологического процесса. Для определения операционного коэффициента запуска на предпоследней операции необходимо учитывать потери на данной и последней операциях:

$$K_o^{n-1} = K_o^n K_{пр}^{n-1}.$$

Операционный коэффициент запуска на первой операции, учитывая потери на всех операциях:

$$K_o^1 = K_o^n K_{пр}^{n-1} \cdot \dots \cdot K_o^2 K_{пр}^1.$$

Под величиной пооперационной повторяемости обработки понимается суммарное количество деталей, которое поступает на первое, второе, третье и т. д. исправление для получения N годных деталей из N деталей, поступающих на операцию. Величина пооперационной повторяемости обработки определяется по формуле

$$\Pi^n = N_1 + N_2 + \dots + N_n,$$

где N_1, N_2, N_n – количество деталей, поступающих на исправление после первого, второго и т. д. предъявления. Величина пооперационной повторяемости обработки характеризуется коэффициентом пооперационной повторяемости обработки K_n – отношением общего количества деталей $N + \Pi^n$, которое необходимо обработать с учетом повторяемости обработки, к количеству необходимых годных деталей:

$$K_n = (N + \Pi^n) / N.$$

Данный коэффициент определяется для расчета загрузки оборудования, рабочей силы, норм времени, необходимого для обработки деталей с учётом повторяемости обработки, для учета расхода обрабатываемого и вспомогательного материалов и снижения коэффициента запуска.

7. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТЕЙ ЗАГОТОВКИ

При назначении очередности обработки поверхностей заготовок деталей разных типов соблюдают следующие положения:

– в качестве черновой базы принимают ту поверхность заготовки, которая обеспечивает минимальную погрешность установки и, в возможно большей степени, равномерное снятие припуска с первой обрабатываемой поверхности;

– чем точнее должна быть поверхность, а вместе с тем и больше сложность изготовления, тем позже её обрабатывают.

Качество поверхностей прессованных шамотных заготовок разное. Глубина залегания дефектов у поверхностей, загрязнённых шамотом, больше, чем на чистой. У заготовок, имеющих форму мениска, загрязнённой является вогнутая поверхность, а у заготовок остальных типовых линз – поверхность большего радиуса. Таким образом, функцию черновой базы должна выполнять поверхность, отличающаяся меньшей глубиной залегания дефектов и, соответственно, меньшим отклонением от заданной формы.

Согласно ОСТ 3-5581–83 технологические потери на операциях шлифования и полирования заготовок линз зависят от формы поверхности и её кривизны. Сложность обработки и потери возрастают с увеличением радиуса кривизны поверхности. При обработке вогнутой поверхности сложность и потери больше по сравнению с выпуклой при их равной кривизне.

Следовательно, целесообразна следующая очередность обработки поверхностей:

1. На операции предварительного шлифования одиночной заготовки или блока первой обрабатывают поверхность с большей глубиной залегания дефектов. У заготовок с одинаковой глубиной залегания дефектов первой обрабатывают поверхность меньшей кривизны.

2. На операциях тонкого шлифования и полирования блоков, собранных эластичным способом, соблюдается та же очередность, что и на операции предварительного шлифования. На основании опыта оптического производства установлена следующая последовательность обработки:

у двояковыпуклых и двояковогнутых линз первой обрабатывается поверхность с большим радиусом;

если же одна сторона обрабатывается по одной поверхности (индивидуально), а вторая – блоками, то первой обрабатывают поверхность с меньшим радиусом, т. е. индивидуально;

у плосковыгнутых линз и менисков первой обрабатывают вогнутую поверхность.

При жёстком способе сборки блока очередность обработки поверхностей определяется на стадии выполнения операции предварительного шлифования.

8. ВЫБОР И РАСЧЁТ АЛМАЗНОГО И МЕТАЛЛИЧЕСКОГО ИНСТРУМЕНТА

8.1. Абразивные материалы

Шлифующие абразивные материалы представляют собой твёрдые мелкозернистые кристаллические вещества в порошкообразном состоянии. Основными свойствами абразивных материалов являются их высокая твёрдость, прочность, наличие острых режущих граней, абразивная способность материала, способность к самозатачиванию. Основными шлифующими материалами являются алмаз, корунд, карбид бора, карбид кремния. Шлифующие абразивные материалы применяются для резания, распиливания, сверления, грубого и тонкого шлифования. В производстве абразивные материалы могут использоваться в свободном или связанном состоянии.

Классификация абразивных материалов осуществляется в зависимости от размера зёрен по группам и номерам зернистости. Зернистость обозначает размер зерна основной фракции. Шлифующие абразивные материалы разделяют на четыре группы:

- шлифзёрна (размером от 2000 до 160 мкм);
- шлифпорошки (размером от 125 до 40 мкм);
- микропорошки (размером от 63 до 14 мкм);
- тонкие микропорошки (размером от 10 до 3 мкм);
- алмазные субмикропорошки: зернистость 0,7/0; 0,5/0; 0,3/0.

8.2. Алмазный инструмент

Оптические детали изготавливают механической обработкой оптических заготовок путём снятия припуска. Процесс снятия припуска осуществляется последовательным выполнением ряда технологических операций, включая операции шлифования, полирования и доводки оптических деталей. При механической обработке используется кинематическая пара «инструмент–заготовка», которая обеспечивается исполнительными механизмами станочного оборудования. Соприкосновение инструмента и заготовки обеспечивается силовым замыканием с использованием суспензий абразивных порошков или связанного абразива.

Алмазный инструмент представляет собой металлический корпус, на котором прочно крепится алмазоносный слой – рабочая часть инструмента, представляющая собой однородную смесь зёрен алмазного порошка со связкой и иногда – с наполнителем. Главными характеристиками алмазоносного слоя являются форма и размер алмазоносного слоя, марка, зернистость и концентрация алмазного порошка, вид связующего материала, связка, концентрация алмаза в связке.

Выбор вида алмазного порошка и его концентрации будут определять его работоспособность и эффективность при выполнении того или иного вида обработки. Форму и размер инструмента устанавливают в зависимости от формы и размера изделия, конструкции и мощности станка. Марку алмазного порошка выбирают, исходя из условий работы алмазного инструмента. Порошки алмаза с высокой прочностью (АСВ, АСК и АСС) обычно используются при изготовлении алмазного инструмента, который позволит обеспечить высокую производительность при работе с большими нагрузками.

Зернистость алмазного порошка определяет производительность и чистоту обработки и устанавливается в зависимости от его назначения. Режущие свойства алмазно-абразивного инструмента улучшаются с увеличением размеров зёрен, а чистота обработки повышается с уменьшением этих размеров. Увеличение зернистости повышает производительность при съёме припуска с заготовки, однако при этом увеличиваются шероховатость получаемой поверхности и толщина нарушенного слоя.

Назначение связки – обеспечение необходимой прочности закрепления зёрен алмаза в инструменте, что обеспечит работо-

способность алмазного инструмента. Для обработки твёрдых и вязких материалов используют менее прочные (мягкие) связки, а для обработки хрупких и не слишком твёрдых – более прочные связки. Используют связки органические, керамические и металлические.

В качестве **органических** связок применяют фенолформальдегидные смолы (бакелиты) различных марок, эпоксидные смолы и резину в вулканизированном состоянии (вулканит). Для обработки оптических материалов на операциях, связанных с необходимостью интенсивного удаления больших припусков, инструмент на органической связке непригоден в силу низкой размерной стойкости, снижающей точность обработки и вызывающей повышенный расход алмаза. Эту связку применяют в основном для полирования оптических деталей, а иногда и для их тонкого алмазного шлифования.

Для тонкого шлифования плоских и сферических деталей из оптических материалов может также применяться алмазный инструмент на эластомерной связке на основе композиций из синтетического каучука и минеральных наполнителей, который обеспечивает высокое качество обработанной поверхности и заданную геометрическую точность обрабатываемых деталей, высокую производительность и стабильность шлифования.

Керамические связки применяют в виде соединений окислов, глинистых и стеклообразных веществ с температурой спекания не выше 800 °С. Для обработки оптических деталей алмазный инструмент на керамической связке из-за его низкой стойкости применяется редко.

Металлические связки для алмазного инструмента представляют собой порошкообразные металлы или их сплавы, которые тщательно перемешивают с алмазным порошком, а затем прессуют и спекают. Алмазный инструмент на металлической связке обладает наиболее высокими прочностью и износоустойчивостью, которые в широких пределах могут регулироваться свойствами компонентов, входящих в связки. Металлические связки широко применяют при обработке твёрдых и хрупких материалов, в частности стекла и кристаллов. В качестве связки используются различные композиции на основе меди, олова, алюминия, железа, никеля и других материалов. Наряду с другими требованиями состав связки выбирается с учётом того, чтобы температура спекания инструмента была ниже температуры сгорания и графитизации алмазов.

Инструмент на металлических связках изготавливается электрохимическими методами. Закрепление алмазных зёрен в данном случае не требует применения сложных, дорогостоящих пресс-форм и позволяет изготавливать алмазно-абразивный инструмент со сложным фасонным профилем. Данный способ применяют при изготовлении инструмента, у которого ширина режущей кромки мала по сравнению с остальными размерами. Используют две разновидности – гальваностегию – получение тонкого, алмазосодержащего покрытия, прочно соединённого с корпусом во время осаждения, и гальванопластику – получение алмазосодержащих осадков, отделяемых от катода. Гальваностегией изготавливают, в частности, алмазные отрезные круги с внутренней режущей кромкой, гальванопластикой – некоторые типы свёрл.

Наиболее важной характеристикой алмазного абразивного инструмента, определяющей его режущую способность, производительность, срок службы и стоимость, является концентрация алмаза, т. е. содержание алмаза в единице объёма алмазоносного слоя. За 100%-ю концентрацию условно принято содержание алмаза в количестве 4,4 карата в 1 см³ алмазоносного слоя (1 кар = 0,2 г). Приняв плотность алмазов равной 3,52 г/см³, определим объем, который занимают алмазы в 1 см³:

$$V = 0,88/3,52 = 0,25 \text{ см}^3.$$

Следовательно, независимо от вида связки (органическая, керамическая, металлическая) при 100%-й концентрации алмазные зерна в алмазоносном слое занимают 25 % по объёму.

8.2.1. Основные типы алмазного инструмента

Применительно к конкретным условиям использования инструмента выбирают его форму и размеры, вид рабочей поверхности, марку и зернистость алмазного порошка, марку связки, концентрацию алмаза. Исходными данными для выбора характеристик инструмента являются:

форма и размер детали;

материал обрабатываемой детали;

требования к качеству и шероховатости обработанной поверхности;

вид и метод обработки;
 конструкция и эксплуатационные характеристики станка;
 режимы обработки и производительность;
 условия обработки (охлаждение, степень механизации и автоматизации);

исходная шероховатость поверхности;
 величина снимаемого припуска.

При этом необходимо учитывать технологические возможности изготовления проектируемого инструмента с требуемыми его характеристиками (табл. 8.1).

Таблица 8.1

Основные типы алмазного инструмента

Название и обозначение алмазных кругов	Профиль	Область применения
С выточкой		Шлифование плоских поверхностей
Плоские прямого профиля трёхсторонние		Обработка цилиндрических и плоских поверхностей
Кольцевые		Обработка плоских и сферических поверхностей
Чашечные		Обработка плоских и сферических поверхностей
Плоские		Шлифование плоских поверхностей, фасетирование
Отрезные		Распиловка стекла и хрупких материалов
Отрезные сегментные		Распиливание крупногабаритных заготовок стекла

Выбор размеров инструмента определяется эксплуатационными и технологическими факторами. Эксплуатационными факторами являются размеры обрабатываемого изделия и его характеристика, конструкция и мощность станка. Технологические факторы (пресуемость алмазонасной шихты на определённой связке, размеры и мощность технологического оборудования для изготовления шихты) определяют минимальный и максимальный размеры алмазонасного слоя. Как правило, следует стремиться к использованию инструмента с максимально допустимыми по условиям обработки размерами алмазонасного слоя. Это обеспечивает меньшие затраты на инструмент, так как удельная стоимость (общая стоимость изготовления, отнесённая к одному карату) с увеличением количества алмазов в алмазонасном слое уменьшается.

8.2.2. Расчёт алмазного инструмента для обработки сферических поверхностей

Задача предварительного шлифования – быстро удалить с заготовки (блока) основную часть припуска на механическую обработку и подготовить её к мелкому шлифованию и полированию, используя принудительное формообразование при помощи кольцевых алмазных инструментов или свободный притир.

Предварительное шлифование алмазными кольцевыми кругами выполняется на станках, работающих в полуавтоматическом режиме (например, типа «Алмаз»). Настройка таких станков заключается в установке и фиксации алмазного инструмента под заданным углом α к обрабатываемой заготовке, который определяется по формуле

$$\alpha = \arcsin D_{\text{ср}} / 2R,$$

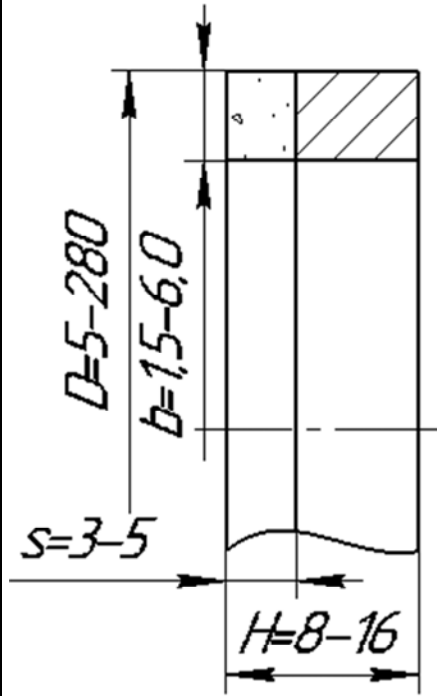
где $D_{\text{ср}}$ – расчётный диаметр алмазного инструмента, устанавливаемый по таблице нормализованного инструмента (табл. 8.2);

R – радиус кривизны обрабатываемой поверхности.

Таблица 8.2

Круги формы 2А2, мм

Обозначение круга	D	H	S	b
3.2728-0001	5	8	3	1,5
-0002	8		1,5	3
-0003	10		3	3
-0004	14		2	3
-0005	20	10	5	2
-0006	26			2
-0007	32			2
-0008	38			16
-0009	45			
-0011	50			
-0012	55			
-0013	60	16	5	4
-0014	65			
-0015	70			
-0016	75			
-0017	80			
-0018	90			
-0019	100			



У кольцевых кругов для обработки выпуклых или вогнутых сферических поверхностей наружный D и внутренний d диаметры определяются исходя из диаметра обрабатываемой поверхности с таким расчётом, чтобы наружная кромка инструмента перекрывала центр заготовки и несколько выходила за её край для обеспечения свободного выхода СОЖ и продуктов срабатывания (рис. 8.1).

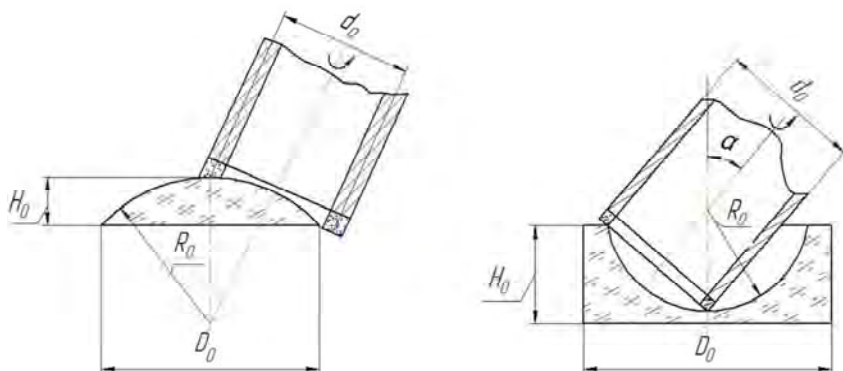


Рис. 8.1. К определению диаметра кольцевого алмазного инструмента

При расчёте первоначально определяют зернистость алмазного порошка d_{AC} (в микрометрах) и его концентрацию в инструменте K_{AC} (в процентах) в зависимости от относительной высоты h/R обрабатываемой поверхности детали (блока) номинального радиуса R , h – стрелы прогиба обрабатываемой поверхности и коэффициента относительной твёрдости стекла по шлифовыванию K . Если отношение $h/R > 0,7$, то средний диаметр алмазного зерна d_{AC} определяется по формуле

$$d_{AC} = (50 + 0,62D_3)K,$$

где D_3 – диаметр заготовки или блока, мм. По ГОСТ 9206–80Е берут ближайшую нормализованную зернистость d_{AC} . В зависимости от размера D_3 это могут быть зернистости 125/100, 100/80, 80/63, 63/50 (в числителе указывают максимальный, а в знаменателе – минимальный размер зерен основной фракции в микрометрах).

Если отношение $h/R > 0,7$, то принимают зернистость 63/50.

Определяют концентрацию K_{AC} алмазного порошка в инструменте:

$$K_{AC} = 38 + 0,2D_3.$$

По расчётному значению находят ближайшую нормализованную концентрацию, которая может составлять 25, 50, 75 или 100 %.

Рассчитывают радиус $R_3^{п.ш}$ поверхности заготовки после предварительного шлифования кольцевым инструментом:

$$R_3^{п.ш} = R \pm 1,25(0,001d_{за}^2 + 0,5d_{за} + 4) / K,$$

где $d_{за}$ – наибольший размер зерна основной фракции алмаза (числитель в обозначении зернистости абразива); знак «+» берётся для выпуклых поверхностей, а знак «-» – для вогнутых.

По известным значениям D_3 и $R_3^{п.ш}$ определяют угол α_p наклона оси инструмента к оси вращения детали и расчётный диаметр $D_{и.р}$ кольцевого инструмента (мм):

$$\alpha_p = \arcsin(0,55D_3 / 2R_3^{п.ш});$$

$$D_{и.р} = 0,55D_3 / \cos \alpha.$$

Из массива нормализованных кругов (табл. 8.2–8.5) выбирают параметр D , ближайший к расчётному, учитывая при этом, что для обработки выпуклых поверхностей $D_{и.р}$ является внутренним диаметром инструмента, т. е. $D_{и.р} = d$, а его наружный диаметр будет составлять

$$D = d + 2b,$$

где b – ширина рабочей кромки инструмента.

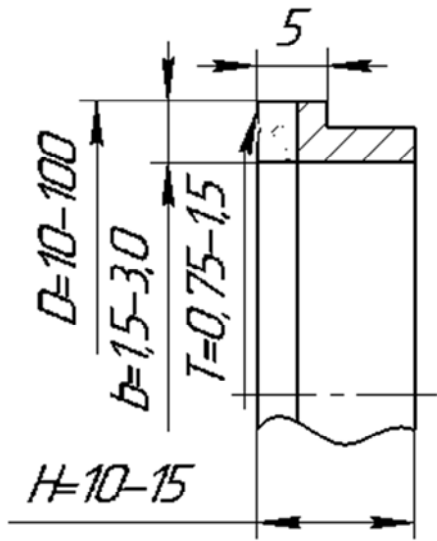
Для обработки вогнутых поверхностей $D_{и.р}$ соответствует его наружному диаметру, по которому и выбирают параметры инструмента.

Таблица 8.3

Круги формы 2F2, мм

Обозначение круга	D	H	b	r
3.2728-0121	10	10	1,5	0,75
-0122	11			
-0123	12		2,0	1,0
-0124	13			

Обозначение круга	D	H	b	r
-0125	14	2,5	1,25	
-0126	15			
-0127	16			
-0128	17			
-0129	18			
-0131	19			
-0132	20			
-0133	21			
-0134	22			
-0135	23			
-0136	24			
-0137	25			
-0138	26			
-0139	27			
-0141	28			
-0142	29			
-0143	30			
-0144	32			
-0145	34			
-0146	36			
-0147	38			
-0148	40	15	3,0	1,5
-0149	42			
-0151	44			
-0152	46			
-0153	48			
-0154	50			
-0155	52			
-0156	54			
-0157	56			
-0158	58			
-0159	60			
-0161	62			



Обозначение круга	D	H	b	r
-0162	64	15	3,0	1,5
-0163	66			
-0164	68			
-0165	70			
-0166	72			
-0167	74			
-0168	76			
-0169	78			
-0171	80			
-0172	82			
-0173	84			
-0174	86			
-0175	88			
-0176	90			
-0177	92			
-0178	94			
-0179	96			
-0181	98			
-0182	100			

Technical drawing of a stepped shaft. The main diameter is labeled $D=10-100$. The diameter of the top step is labeled 5 . The width of the top step is labeled $b=1,5-3,0$. The thickness of the top layer is labeled $T=0,75-1,5$. The total height of the shaft is labeled $H=10-15$. The drawing shows a cross-section with a chamfered top edge and a central hole.

Таблица 8.4

Круги формы АК1, мм

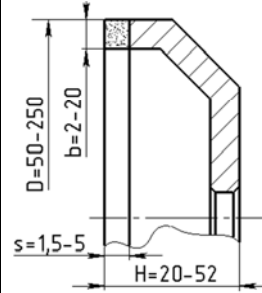
Обозначение круга	D	H	S	d
3.2728-0231	5	12	5	2
-0232	8			5
-0233	10			7
-0234	15		7	9
-0235	18			12
-0236	38			30
-0237	42			34
-0238	46			38
-0239	50			42
-0241	52			44

Technical drawing of a stepped shaft. The main diameter is labeled $D=5-2,5$. The diameter of the top step is labeled $5-7$. The diameter of the central hole is labeled $d=2-4,4$. The total height of the shaft is labeled $H=12$. The drawing shows a cross-section with a chamfered top edge and a central hole.

Таблица 8.5

Круги формы 12А2, мм

Обозначение круга	D	H	s	b	L	Число элементов	
3.2724-0041	50	21,5	3	3	26	3	
-0042	100	34	5	5	40	4	
-0043	125	40	3		50		
-0044	150	42			60		
-0045		40	5		50		6
-0046	200	50	3		5	60	7
-0047	250					70	8
-0048						80	9
-0049	300	75	5		5	90	12
-0051	350					100	13
-0052	400					110	14
-0053	500	100	5		5	120	15
-0054	550					130	16



Расчёт алмазного инструмента для обработки плоских поверхностей сводится к определению расчётного диаметра $D_{и.р}$ инструмента по формуле

$$D_{и.р} = 0,55D_3$$

и нахождению по ГОСТ 17006-80 (см. табл. 8.2), ОСТ 3-6007-85 (см. табл. 8.3, 8.4), ГОСТ 16172-80 (см. табл. 8.5) ближайшего нормализованного диаметра инструмента. Зернистость алмазного порошка в инструменте 125/100-63/50 выбирается в зависимости от диаметра детали.

Расчёт алмазного инструмента на металлической связке. Для изготовления алмазного инструмента необходимо знать весовые содержания алмаза и компонентов шихты в алмазосодержащем слое.

Расчёт весового содержания A алмазов (в каратах) в инструменте выполняют по формуле

$$A = 4,4VK / 100,$$

где 4,4 – содержание алмазов (в каратах) в единице объёма (1 см³) алмазосносного слоя при 100%-й концентрации;

$V = \pi s(D^2 - d^2) / 4$ – объем алмазосносного слоя (для круга формы 2A2), см³;

K – концентрация алмазов в слое, %.

Масса шихты $M_{св}$ металлической связки для изготовления алмазосносного слоя, объем V которого известен, с учётом технологических потерь при смешивании и засыпке шихты алмазосносного слоя в полость пресс-формы рассчитывается по формуле

$$M_{св} = V_{св} \rho_{св} K_{п} = V(1 - 0,25K / 100) \rho_{св} K_{п},$$

где $\rho_{св}$ – плотность связки, г/см³;

$K_{п}$ – коэффициент потерь.

Формулу для определения $\rho_{св}$ можно получить, исходя из следующих соображений. Если взять 100 г связки, состоящей из n компонентов, то масса каждого из них будет численно соответствовать величине процентного содержания. Объем, занимаемый каждым компонентом, составит q_i / ρ_i (q_i – содержание по массе i -го компонента, %, ρ_i – плотность этого компонента, г/см³), а сумма этих величин определит объем, который занимают 100 г связки. По известной массе материала и объёму можно определить его плотность:

$$\rho_{св} = 100 / \sum_{i=1}^n (q_i / \rho_i).$$

Формулы справедливы для любых беспористых материалов при данном соотношении компонентов в процентах по массе.

8.3. Металлический инструмент

Сферические и плоские поверхности обрабатывают инструментами в виде грибов, чашек и планшайб. *Грибами* называют инструменты с выпуклой сферической поверхностью, *чашками* – с вогнутой, а *планшайбами* – с плоской поверхностью. По назначению все виды инструментов для обработки оптических деталей можно разделить на обдирочные, шлифовальные, фасетировочные, полировальные и др.

Обдирочные инструменты применяются для предварительной грубой обработки оптических деталей шлифпорошками.

Шлифовальники применяют для точного шлифования деталей микропорошками. Шлифовальные инструменты, применяемые для контроля радиуса кривизны деталей, обработанных свободным абразивом, называются контрольными или притирочными.

Фасетировочные инструменты, преимущественно чашки, применяют для нанесения на деталях фасок. Эти инструменты являются разновидностью шлифовальников.

Конструкция инструмента для обработки оптических деталей и материал, из которого он изготовлен, должна обеспечивать:

жѐсткость, исключаящую деформацию рабочей поверхности под действием собственной массы инструмента и приложенной к нему нагрузки;

однородность структуры материала;

устойчивость к абразивному износу и интенсивное сошлифовывание стекла.

В качестве материала для шлифовальников в основном применяют чугун, для тонкого шлифования можно использовать бронзу и латунь. Шлифовальники (рис. 8.2) для обработки преломляющих поверхностей оптических материалов суспензиями абразивных порошков могут быть в виде планшайб (для плоских деталей, рис. 8.2, *а*), сферических чашек (для выпуклых поверхностей, рис. 8.2, *б*) и грибов (для вогнутых деталей, рис. 8.2, *в*).

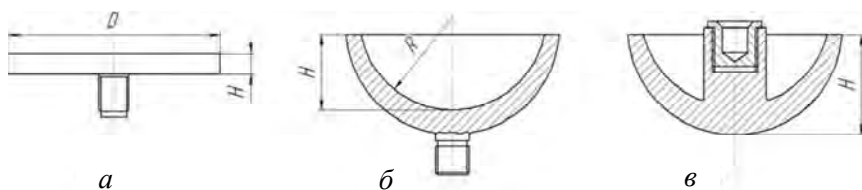


Рис. 8.2. Инструмент шлифовальный

Шлифование оптических деталей как свободным, так и связанным абразивом производится в несколько этапов (переходов). При этом радиус кривизны чаши постепенно уменьшается, а грибов, наоборот, – увеличивается в процессе снятия припуска.

Размеры инструментов регламентируются отраслевыми стандартами. Планшайбы диаметром до 300 мм имеют вид плоского диска с относительной толщиной от 1:10 до 1:15. Планшайбы большего размера усиливают рёбрами жёсткости. Инструмент, имеющий форму гриба, при радиусе рабочей поверхности до 30 мм изготавливают в виде сплошного сферического сегмента, а радиусами рабочей поверхности более 30 мм изготавливают полыми с утолщением в центре корпуса. Толщина корпуса на краю составляет от 1:18 до 1:20 диаметра гриба. Аналогичную конструкцию с усилением жёсткости корпуса в центральной части имеет инструмент в виде чашки.

Со шпинделем станка планшайбы, грибы и чашки соединяют хвостовиками, которые в зависимости от размера инструмента могут иметь наружную или внутреннюю резьбу. Так, например, для инструментов диаметром до 20–25 мм применяют хвостовики с наружной резьбой М8, диаметром до 25–50 мм – с наружной резьбой М14, диаметром до 50–80 мм – с наружной или внутренней резьбой М20, а для инструментов больших диаметров – с внутренней резьбой М27.

Инструмент для мелкого шлифования свободным абразивом может использоваться в качестве корпуса полировальника и приспособления для сборки блока.

8.3.1. Расчёт радиусов шлифовальников для обработки сферических поверхностей

Шлифование оптических деталей производится несколькими фракциями абразивного материала с постепенно убывающими размерами зёрен. Каждым номером абразива с поверхностями сошлифовывают более крупный рельефный (матовый) слой от предыдущего номера и вместо него получают фактуру поверхности, свойственную данной фракции. Толщина снимаемого слоя стекла будет близка к разности глубины рельефного слоя от исходного абразива и от последующего более мелкого (рис. 8.3).

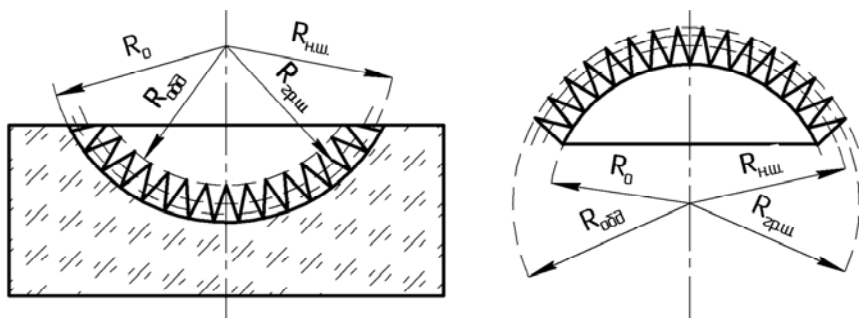


Рис. 8.3. Толщина снимаемого слоя стекла

Из рис. 8.3 видно, что радиус обрабатываемой поверхности детали $R_n^{\text{б}}$ после шлифования её любым номером n абразива отличается от номинального радиуса R_0 на величину M_n разрушенного слоя, т. е.

$$R_n^{\text{б}} = R_0 \pm M_n,$$

при этом знак «плюс» берут для вогнутых поверхностей, а знак «минус» – для выпуклых. Данная формула для практического применения не совсем пригодна, поскольку в процессе шлифования трудно определить момент, когда снята толщина стекла, равная разности между глубиной слоя, разрушенного более крупным номером абразива и более мелким. Поэтому второе слагаемое необходимо несколько увеличить, введя поправочный коэффициент, который был определён практически, тогда

$$R_n^{\text{б}} = R_0 \pm 1,2M_n.$$

Величина радиуса детали или блока является исходной для расчёта радиусов комплекта инструментов, необходимых при обработке абразивными материалами различной фракции. Радиусы шлифовальников R_n^{III} отличаются от радиуса детали (блока) на толщину A_n слоя абразива, во время шлифования находящегося между поверхностями инструмента и детали, и расположения шлифовального инструмента (рис. 8.4):

$$R_n^{\text{ш}} = R_n^{\delta} \pm A_n = R_0 \pm (1,2M_n + A_n).$$

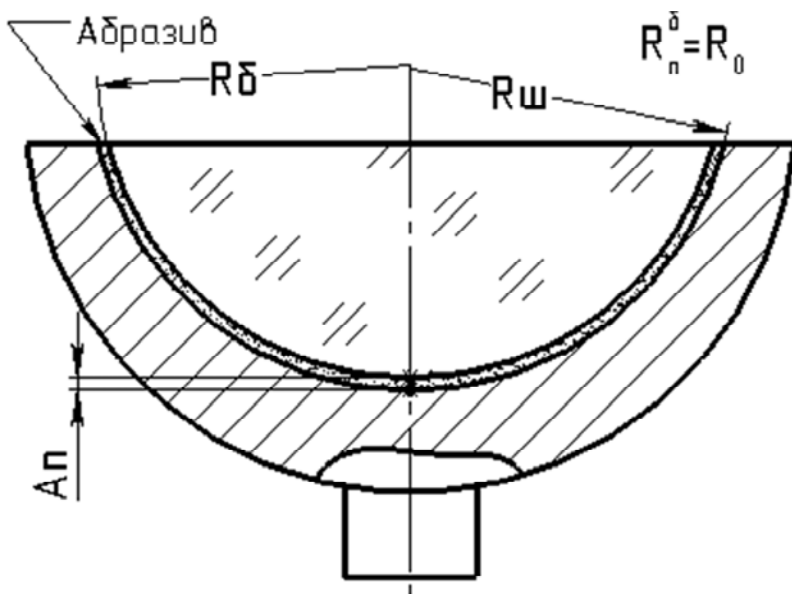


Рис. 8.4. К расчёту радиуса шлифовальника

С учётом различной твёрдости разных марок оптического стекла можно записать

$$R_n^{\text{ш}} = R_0 \pm (1,2KM_n + A_n),$$

где K – коэффициент относительной твёрдости стекла по сошлифовыванию (по отношению к стеклу марки К8), который влияет на глубину рельефного слоя. Значения коэффициентов M_n , A_n и K приведены соответственно в табл. 8.6 и 8.7.

Расчёт шлифовальников начинают с вычисления высоты шарового сегмента (стрелки прогиба), геометрические параметры которого определяются сферической поверхностью номинального (эталонного) размера.

Таблица 8.6

Значения M_n и A_n для разной зернистости абразивного порошка

Зернистость абразивного порошка	M_n , мм	A_n , мм	
		Шлифовальный снизу	Шлифовальный сверху
№ 6	0,062	0,080	0,101
№ 4	0,043	0,057	0,074
№ 3	0,035	0,047	0,059
M28	0,022	0,029	0,038
M20	0,015	0,020	0,027
M14	0,010	0,013	0,019
M10	0,007	0,008	0,014
M7	0,005	0,005	0,011

Таблица 8.7

Значения коэффициента K для стёкол разной марки

Марка стекла	K	Марка стекла	K
К8	1,00	БФ7	0,81
ЛК4	1,00	БФ16	0,88
ЛК7	1,23	БФ21	0,72
К14	1,04	ТБФ4	0,79
К19	0,90	ЛФ5	0,68
БК8	0,91	ЛФ9	0,69
БК10	0,81	Ф1	0,65
ТК2	0,84	Ф4	0,64
ТК4	0,80	ТФ1	0,61
ТК8	0,75	ТФ2	0,64
ТК23	0,90	ТФ3	0,62
СТК3	0,61	ТФ5	0,61
СТК9	1,18	ОФ1	0,79
СТК12	1,02	ОФ4	0,64

8.3.2. Расчёт шлифовальников для обработки плоских поверхностей

Исследования показали, что для получения плоской поверхности на заготовках на шлифовальниках должно быть углубление с радиусом в среднем 250 м. Это обусловлено термическими деформациями центральных зон блока и шлифовальника, а также выходом части поверхности блока за край шлифовальника в процессе обработки. Поскольку обработка оптических деталей всегда должна начинаться с краевой зоны, то необходимо, чтобы на плоских заготовках после каждой операции шлифования получались углубления. Следовательно, на шлифовальнике должна быть выпуклость того же радиуса. Эта выпуклость, суммируясь с углублением, обусловленным термическим и технологическим факторами, определяет окончательную форму шлифовальника.

Обозначим окончательную кривизну шлифовальника через $\rho_{\text{ш}}$, кривизну обработанной поверхности заготовки через ρ_0 , а кривизну, вызванную термическими и технологическими факторами, – через ρ_1 . При этом кривизна $\rho_{\text{ш}}$ будет равняться алгебраической сумме ρ_0 и ρ_1 . Таким образом, так как

$$\rho_0 = -1 / R_{\text{дет}} = 8h_0 / d^2,$$

где h_0 – величина требуемого углубления на заготовке, миллиметрах,
 d – диаметр заготовки, а $\rho_1 = -1 / 250000$, то

$$\rho_{\text{ш}} = 8h_0 / d^2 - 1 / 250000.$$

Радиус $R_{\text{ш}}$ шлифовальника получится как величина, обратная $\rho_{\text{ш}}$.

Стрелка прогиба рабочей поверхности шлифовальника $h_{\text{ш}}$, необходимая для его проверки при изготовлении и в процессе работы, вычисляется по формуле

$$h_{\text{ш}} = d_{\text{к}}^2 / 8R_{\text{ш}},$$

где $d_{\text{к}}$ – диаметр кольца сферометра, мм.

Высоту гриба $H_{гр}$ и глубину чашки $H_{ч}$ назначают в зависимости от высоты блока заготовок $H_{б}$ (или величины стрелки прогиба поверхности заготовки, если она обрабатывается поштучно $H_{д}$) и положения инструмента, а диаметр планшайбы $D_{пл}$ – по известному диаметру плоского блока (заготовки) $D_{б}$ и положения инструмента, в соответствии с табл. 8.8.

Таблица 8.8

Размеры шлифовальников в зависимости от положения инструмента и размера блока

Инструмент снизу	Инструмент сверху
$H_{гр} = (1,2...1,4)H_{б}$	$H_{гр} = H_{б}$
$H_{ч} = (1,1...1,2)H_{б}$	$H_{ч} = (0,8...0,9)H_{б}$
$D_{пл} = (1,1...1,25)D_{б}$	$D_{пл} = (0,8...0,9)D_{б}$

Размеры инструмента (высота гриба, глубина чашки, диаметра планшайбы) находят по приведённым расчётным формулам и таблицам, а конструкцию хвостовика выбирают в зависимости от его диаметра.

8.4. Таблеточный алмазный инструмент

Рабочую поверхность инструмента образуют закреплённые на корпусе алмазосодержащие элементы (рис. 8.5, а–в).

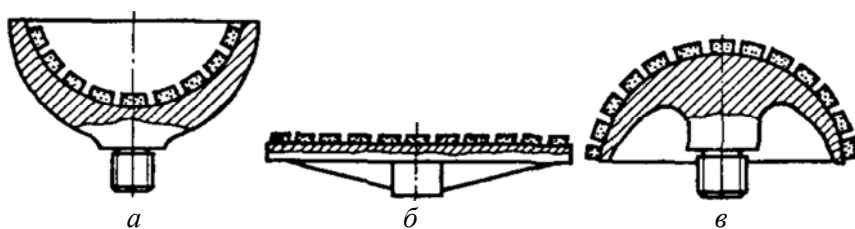


Рис. 8.5. Алмазный инструмент в виде планшайбы (а), чашки (б) и гриба (в)

Размерные параметры элементов по ТУ 3-269–84 приведены в табл. 8.9, а зернистость, концентрация, марки связки и удельный расход алмазов – в табл. 8.9, 8.10.

Таблица 8.9

Основные размеры алмазосодержащих элементов
толщиной 3, 4 и 5 мм

Диаметр, мм	Радиус сферы, мм
6,00±0,4	12; ∞
8,0±0,6	16; 20; 25; 40; ∞
10,0±0,8	20; 25; 32; 40; 63; ∞
14,0±1,0	∞

Таблица 8.10

Характеристики алмазосодержащих
элементов по ТУ 3-269–84

Зернистость алмаза	Относительная концентрация	Связка	Удельный расход, карат/дм ³
40/28	25	МЗ-15-1	0,65
28/20	25	МЗ-15-1	0,65
	6	МЗ-15-2	0,5
	6	МЗ-15-3	0,75
20/14	25	МЗ-15-1	1,0
	6	МЗ-15-2	0,75
14/10	8	МЗ-15-4	2,5
	8	МЗ-15-5	10,0
10/7	6	МЗ-15-6	5,0

Значение размеров гриба, чашки и планшайбы определяют по табл. 8.8.

Рабочую поверхность инструмента характеризуют коэффициентом заполнения площади корпуса алмазосодержащими элементами и закономерностью их расположения на нем. Коэффициент заполнения площади планшайб принимают равным 0,25–0,30. Для сферических поверхностей с относительной кривизной $h/D \leq 0,5$ коэффициент устанавливается в пределах от 0,35 до 0,40 и для поверхностей с $h/D \geq 0,5$ – от 0,45 до 0,50. От расположения алмазосодержащих элементов по поверхности корпуса зависят интенсивность и равномерность изнашивания алмазосодержащего слоя. Единой системы расположения нет. Элементы размещают как по концентрическим окружностям, так и по логарифмической спирали. Преимущество последней – более продолжительная работа инструмента без корректирования радиуса рабочей поверхности.

Число $M_{эл}$ алмазосодержащих элементов, размещаемых на корпусе гриба, чашки и планшайбы, определяют, исходя из их размеров, коэффициента k заполнения площади конуса элементами и их диаметра $D_{эл}$:

– для планшайб

$$M_{эл} = (D_{пл} / D_{эл})^2 k;$$

– для грибов и чашек

$$M_{эл} = (R_{шл} H / D_{эл}^2) 8k,$$

где – $R_{шл}$ радиус рабочей поверхности шлифовальника, мм;

$D_{пл}$ – диаметр планшайбы, мм;

H – высота (глубина) гриба (чашки).

9. ВЫБОР И РАСЧЁТ ПОЛИРОВАЛЬНИКОВ

Расчёт полировальников сводится к определению радиуса полировочного инструмента, его размера и величины полировочного слоя. Радиус рабочей поверхности обычно равен радиусу детали и поэтому не рассчитывается.

Из опыта известно, что если толщина слоя смолы одинакова по всей площади полировальника, то полирование протекает нормально; материал снимается равномерно по всей поверхности блока и одинаково легко устраняются положительные и отрицательные ошибки. Следовательно, при расчёте радиусов полировочного инструмента необходимо стремиться к достижению равномерной толщины слоя смолы по всей поверхности полировальника. Это требование выполнимо для полировальников плоских и с малой кривизной. Иначе обстоит дело с полировальниками, приближающимися к полусфере. Прежде всего радиус полировочного инструмента $R_{п.и}$ не может равняться радиусу полировальника $R_{п}$, так как в этом случае получается большая разность в толщине смолы (в середине слой смолы больше, чем на краю). Для того чтобы толщина смолы была одинаковой по всему полировальнику, $R_{п.и}$ должен отличаться от радиуса R_0 готовой линзы на величину r . Но решение осложняется тем, что в процессе полирования величина r не остаётся постоянной.

Если взять полировальник с большей толщиной смолы на краю, то растекание смолы в краевой зоне полировочного инструмента усилится и полирование наружного ряда заготовок на блоке будет отставать от полирования заготовок в центральной зоне этого блока.

Поскольку радиус обрабатываемой поверхности в процессе полирования постепенно изменяется от снятия слоя стекла, то $R_{п}$ также должен изменяться вслед за изменением радиуса изделия: у вогнутых полировальников он должен уменьшаться, а у выпуклых – увеличиваться. $R_{п}$ изменяется вследствие изменения формы слоя смолы: как у выпуклых, так и у вогнутых полировальников толщина смолы при этом в середине должна уменьшаться. Такое изменение легче будет происходить в том случае, когда слой смолы в середине полировальника толще, чем на краю. Следовательно, при расчёте $R_{п.и}$ необходимо руководствоваться тем условием, что величина r должна быть равномерной в конце службы полировальника, когда его уже необходимо заменить новым. Поэтому

$$R_{\text{п.и}} = R_0 + r_0,$$

где r_0 – толщина слоя полировочной смолы к моменту замены его новым.

Значения r_0 приведены в табл. 9.1.

Таблица 9.1

Значение толщины слоя полировочной смолы

D_6 , мм	20	40	60	80	100	150	200	250
r_0 , мм	0,9	1,0	1,2	1,4	1,5	1,5	1,5	1,5

Диаметр $D_{\text{п}}$ полировальников для обработки плоских поверхностей находят из соотношений, аналогичных используемым при определении $D_{\text{ш}}$ (табл. 8.9). На плоских полировальниках и полировальниках с небольшой кривизной ($H_6 / R_0 > 0,5$) производят обрезку смолы под углом 45° , как показано на рис. 9.1, *а* и *б*, поэтому в данном случае

$$D_{\text{п.и}} = D_{\text{п}} + 2r,$$

где

$$r = 0,015D_{\text{п}} + 0,5.$$

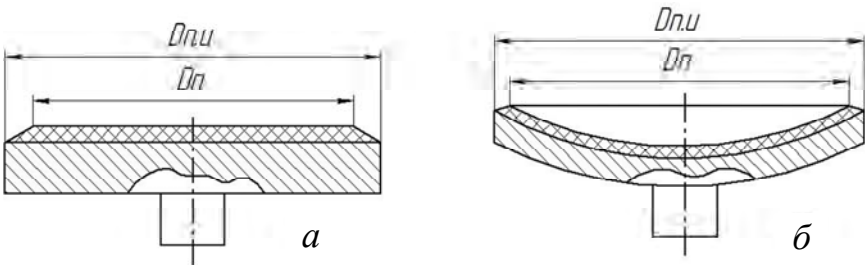


Рис. 9.1. Полировальник: *а* – плоский; *б* – сферический

Высоту $H_{\text{п}}$ выпуклых и вогнутых полировальников находят, руководствуясь соотношением для определения $H_{\text{гр}}$ или $H_{\text{ч}}$ (см. табл. 8.8). Размеры $H_{\text{п.и}}$ отличаются от размеров $H_{\text{п}}$ некоторой величиной, связанной с относительной кривизной. В частности, у вогнутых полировальников с $H_{\text{б}}/R_0 > 0,5$ слой срезают заподлицо с полировочным инструментом, высота которого здесь больше $H_{\text{п}}$ на величину r в центре. У выпуклых полировальников с $H_{\text{б}}/R_0 > 0,5$ $H_{\text{п.и}}$ высота полировательного инструмента может быть равна $H_{\text{п}}$ или меньше её на величину r в центре.

Когда не требуется высокая точность обработки исполнительных поверхностей деталей ($N = 6-15$), применяются технические шерстяные материалы. В качестве материалов используют фетр, войлок, сукно. Материалы после раскройки приклеивают полировальными смолами к поверхности корпуса полировальника. Шерстяные полировальники используют при интенсивных режимах обработки, при этом за счёт эластичных свойств приклеенных шерстяных материалов обеспечивается высокая чистота обработки полированных поверхностей.

Синтетические материалы изготавливаются на основе полимерных веществ: полиуретан, аквапол. Полиуретановая подложка имеет пористую структуру, что позволяет полирующим материалам закрепляться в порах, при этом повышается эластичность полирующего материала. В оптическом производстве может использоваться полиуретановая плёнка без наполнителей или с наполнителем. В качестве наполнителя используются полирующие абразивы CeO_2 или ZrO_2 . Полирующий материал «Аквапол» представляет собой смесь полирующих абразивов (CeO_2 или ZrO_2) со связующими веществами – фенольными или эпоксидными смолами. Подложка закрепляется к каркасу специальными водостойкими клеями. Синтетические полировальники имеют высокую стабильность рабочей формы и используются в массовом производстве при изготовлении с невысокими требованиями к точности формы исполнительных поверхностей ($N = 2-30$). При применении синтетических полировальников можно использовать повышенные режимы полирования, что сокращает время обработки.

10. РАСЧЁТ БЛОКОВ

10.1. Блоки для обработки плоских поверхностей

10.1.1. Основные положения для расчёта блоков

При расчёте блока необходимо руководствоваться следующими основными положениями:

на блоке должно помещаться возможно большее количество заготовок;

заготовки следует располагать равномерно по всей поверхности блока без больших промежутков.

Выполнение первого условия способствует повышению производительности, второе необходимо для получения большей точности обрабатываемых поверхностей.

Количество заготовок на блоке зависит от его размера. На оптических станках можно обрабатывать блоки, максимальный диаметр которых приведён в табл. 10.1.

Таблица 10.1

Типы оптических станков

Обозначение станка	Радиус обрабатываемых поверхностей, мм	Диаметр плоских блоков, мм	Диапазон отношений D/R
ШП-50А	100 _{-∞}	20–50	
9ШП-20	2,5 ₋₁₄	5–20	
9ШП-50Л	7,5 _{-∞}	15–50	
6ШП-100М		50–100	0–1,0
6ШП-200		100–200	0–1,0
3ШП-320		200–320	0–0,63
3ПД-320		200–320	0,6–1,0
3ШП-350		200–350	
ШПЗ-500		350–500	

Этим требованиям удовлетворяют три схемы размещения заготовок на сферических и плоских блоках в центре. Первый – в середине 1 заготовка, во втором ряду – 6, в третьем – 12 и т. д. Второй способ предполагает 3 заготовки в среднем ряду, 9 – во втором, 15 – в третьем и т. д. В третьем способе – 4 заготовки в среднем ряду, 10 – во втором, 17 – в третьем и т. д.

В процессе блокирования между заготовками и поясами оставляют промежутки $b \approx 0,05d$ (но не менее 0,5 мм).

10.1.2. Первый способ расположения заготовок (одна в центре) на плоском блоке

Количество заготовок в m -м ряду

$$n_m = 180^\circ / \varphi_m,$$

где

$$\varphi_m = \arcsin(b + d) / 2\rho_1^m,$$

ρ_1^m – радиус окружности (рис. 10.1), проходящей через центры заготовок m -го ряда:

$$\rho_1^m = (m-1)(d + b).$$

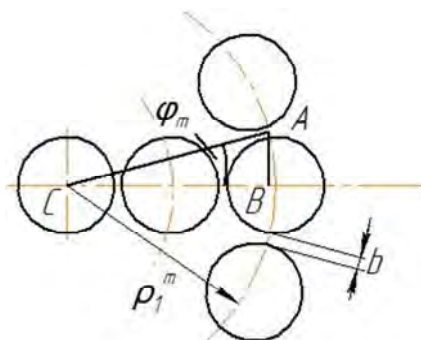


Рис. 10.1. Одна заготовка в центре

Окончательный диаметр блока

$$D_1^0 = (2m-1)d + 2(m-1)b.$$

10.1.3. Второй способ расположения заготовок (три в центре) на плоском блоке

Данный способ имеет следующие особенности.

1. Заготовки первого ряда располагаются на некотором расстоянии от центра блока, которое можно определить из треугольника COB на рис. 10.2:

$$OC = OB / \sin 60^\circ;$$

$$OC = l + d / 2;$$

$$OB = (d + b) / 2.$$

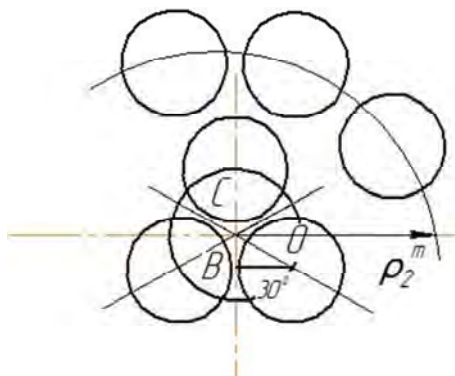


Рис. 10.2. Три заготовки в центре

Принимая во внимание, что $b = 0,05d$, проведём расчёт

$$l = 1,05d / 2 - 0,866 - 0,5d = 0,106d,$$

принимая $l = 0,1d$.

Заготовки второго ряда располагаются симметрично относительно заготовок первого ряда так, что заготовки второго ряда попадают в промежутки первого ряда. Поэтому достаточные расстояния между первым и вторым рядами получают без увеличения диаметра блока на $2b$, что будет необходимо при расчёте следующих поясов.

Окончательный диаметр плоского блока

$$D_{\text{II}}^{\delta} = 2((m + 0,1)d + (m - 2)b).$$

Радиус окружности, проходящей через центры заготовок m -го ряда:

$$\rho_{\text{II}}^m = D_{\text{II}}^{\delta} / 2 - 0,5d = (m - 0,4)d + (m - 2)b.$$

10.1.4. Третий способ расположения заготовок (четыре в центре) на плоском блоке

При расчёте по третьему способу заготовки первого ряда также находятся на некотором расстоянии от центра блоков. Как видно из рис. 310.3:

$$CO = l + d / 2; \quad BO = (d + b) / 2 = 1,05d / 2.$$

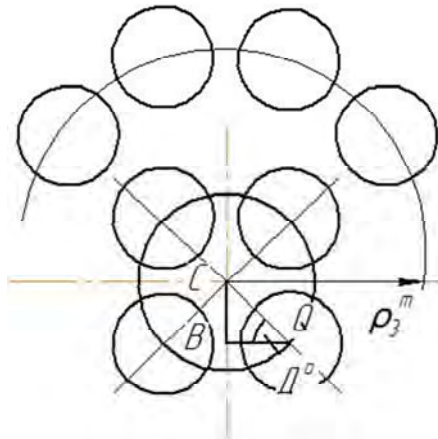


Рис. 10.3. Четыре заготовки в центре

Тогда

$$CO = BO / \sin 45^\circ - 0,5d = 0,2425d = 0,24d.$$

Радиус окружности, проходящей через центры заготовок m -го ряда, определяется по аналогии с предыдущим способом:

$$\rho_{\text{III}}^m = (m - 0,26)d + (m - 1)b.$$

Диаметр плоского блока

$$D_{\text{III}}^{\delta} = 2(m + 0,24)d + 2(m - 1)b.$$

Расчёт плоских блоков сводится к следующему.

1. Определяют предварительный диаметр блока. При этом за основу принимают максимальный диаметр, допускаемый мощностью станка или определяемый размерами имеющихся в наличии шлифовальников.

2. Находят отношение D^{δ}/d . Если D^{δ}/d составляет 1; 3,1; 5,2; 7,3; 9,4; 11,6; 13,6; 15,7; 17,8; 19,9; 22; 24,1, то заготовки в центре блока располагают по первому способу. При отношении D^{δ}/d 2,2; 4,2; 6,3; 8,4; 10,5; 12,6; 14,7; 16,8; 18,9; 21; 23,1; 25,2, заготовки на блоке располагают по второму способу. Если D^{δ}/d принимает значения 2,48; 4,58; 6,68; 8,78; 10,88; 12,98; 15,08; 17,18; 19,28; 21,38; 23,48; 25,58, то заготовки на блоке располагают по третьему способу. При выборе способа расположения заготовок в центре принимается ближайшая минимальная цифра из перечисленных к расчётному значению D^{δ}/d .

3. По соответствующим формулам рассчитывают расположение заготовок и их количество на блоке и окончательный диаметр блока.

10.2. Блоки для обработки сферических поверхностей

Сферические блоки можно рассчитывать как аналитическим, так и графическим способами.

Размеры сферических блоков с радиусами R до 75 мм определяются радиусом кривизны детали, величина блоков с большими радиусами ограничивается мощностью станка. Диаметры сферических и плоских блоков связаны между собой зависимостью

$$D_c = 0,7D_n.$$

Блоки с радиусами до 75 мм рекомендуется брать равными полусфере. Такие блоки называются максимальными. Блоки меньше полусферы называются ограниченными. При расчёте сферических блоков расстояния b между заготовками рекомендуется выбирать по табл. 10.2.

Таблица 10.2

Расстояния между заготовками на сферическом блоке, мм

d	b (для вогнутых блоков)	b (для выпуклых блоков)
От 10	0,7–1,0	0,3–0,8
10–20	0,7–1,5	0,6–1,0
20–40	1,1–1,7	1,3–1,6
40–60	1,5–1,9	1,6–2,0
60 и выше	2,0–2,5	1,5–3,0

При обработке выпуклых блоков величину b назначают около второй (необрабатываемой) поверхности, а при обработке вогнутых – около первой (обрабатываемой) поверхности.

10.2.1. Аналитический метод расчёта сферических блоков

Расчёт предварительного размера блока.

Углы раствора блока и линзы

Расчёт блока начинают с определения его предварительной высоты H_6 . Приравняв площадь сферического

$$F_c = 2\pi R_6 H_6,$$

и плоского блока

$$F_{\Pi} = D_{\Pi}^2 / 4,$$

получим

$$H_6 = D_n^2 / 8R_6.$$

Предварительный размер блока обычно выражают через его угол раствора

$$\gamma_6 = \arcsin(D / 2R)$$

или

$$\gamma_6 = \arccos(1 - H_6 / R).$$

Для определения общего количества заготовок на блоке и их расположения по рядам размер линз выражают углом их раствора α_0 :

$$\alpha_0 = \arcsin(d / 2R_6).$$

Чтобы обеспечить расстояние между рядами на блоке и заготовками в каждом ряду, угол раствора линзы рассчитывают по формуле

$$\alpha = \arcsin((d + b) / 2R_6).$$

Из рис. 10.4 видно, что каждый ряд заготовок занимает часть 2α угла γ_6 .

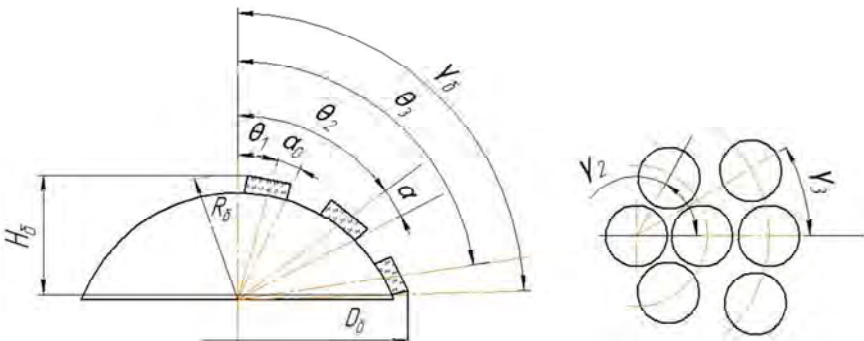


Рис. 10.4. К расчёту предварительного размера блока

Разделив γ_6 на 2α , получим число рядов на блоке. Для этой цели применяется формула

$$\gamma_6 / 2\alpha + 0,5 = m + \xi,$$

где m – целое число неправильной дроби, выражающее количество рядов на блоке;

ξ – дробь, по величине которой определяют количество заготовок в первом ряду, т. е. порядок расположения их на блоке;

0,5 – прибавка, необходимая для того, чтобы во всех случаях m равнялось целому числу.

Если бы этой прибавки не было, то в случае, изображённом на рис. 10.4, когда в середине помещается одна заготовка, в результате деления $\gamma_6/2\alpha$ получилось бы 2,5. Прибавив 0,5 получим 3, что соответствует числу рядов (считая центральную заготовку за один ряд).

Значения ξ для различного количества заготовок в первом ряду приведены в табл. 10.3 (блоки с двумя и пятью заготовками в середине применяются только при обработке деталей с пониженной точностью или с дополнительными заготовками меньшего размера (паразитками), вклеиваемыми для заполнения промежутков).

Таблица 10.3

Количество заготовок n в первом ряду

n	1	2	3	4	5
ξ	0,0	0,5	0,58–0,6	0,71–0,78	0,85–0,98

Пользование табл. 10.3 сводится к следующему: число заготовок в первом ряду определяется параметром ξ , равным вычисленному или ближайшим меньшим.

Расчёт количества заготовок по рядам

Число заготовок, помещающихся в отдельных рядах, рассчитывают по формуле

$$n_m = 180^\circ / \varphi_m,$$

где φ_m – угол между меридиональными плоскостями, из которых одна проходит через середину заготовки данного ряда, а вторая – через середину промежутка между соседними заготовками (рис. 10.5).

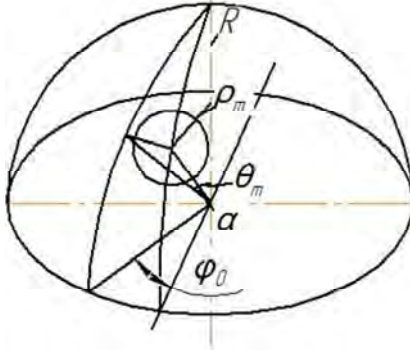


Рис. 10.5. К расчёту количества заготовок по рядам

Угол φ_m определяют по формуле

$$\sin \varphi_m = \sin \alpha / \sin \theta_m,$$

где θ_m – угол между радиусами, проходящими через вершину блока и вершину заготовки ряда m . Данное выражение получено на основании рис. 10.5 из следующих равенств:

$$\sin \varphi_m \cong d / 2\rho_m;$$

$$\sin \alpha = d / 2R;$$

$$\sin \theta_m = \rho_m / R.$$

Разделив второе равенство на третье, получим

$$\sin \alpha / \sin \theta_m = d / 2\rho_m.$$

На основании полученного равенства и равенства для $\sin \varphi_m$ получим искомую формулу.

Расчёт окончательных размеров блока

После определения количества заготовок по рядам требуется рассчитать, как видно из рис. 10.4, окончательный размер блока, который определяется углом

$$\gamma_{\bar{6}} = \theta_m + \alpha_0,$$

где

$$\theta_m = \theta_1 + 2\alpha(m-1).$$

Угол θ_1 можно определить по формуле

$$\sin\varphi_1 = \sin\alpha/\sin\theta_1.$$

При этом угол

$$\varphi_1 = 180^\circ/n_1,$$

где n_1 – количество заготовок в первом ряду.

Окончательно высоту и диаметр блока определяют по формулам

$$H_{\bar{6}} = R(1 - \cos\gamma);$$

$$D_{\bar{6}} = 2\sqrt{2RH_{\bar{6}} - H_{\bar{6}}^2} \quad \text{или} \quad D_{\bar{6}} = 2R\sin\gamma.$$

При расчёте блока необходимо проверить расположение заготовки в последнем ряду. Если промежутки получились больше нормальных, необходимо поместить ещё одну заготовку, незначительно увеличив высоту блока.

10.2.2. Пример расчёта блока

Для облегчения понимания расчёта блока рассмотрим пример для обработки двояковыпуклой линзы со следующими конструктивными элементами: $R_1 = R_2 = +130$ мм (радиус положителен для выпуклых поверхностей и отрицателен для вогнутых), номинальная толщина готовой детали $T_0 = 4$ мм, $d = 37$ мм.

Обработка будет производиться на станке ЗШП-320 (см. табл. 10.1). При выборе станка исходят из того, что на нём понадобится обрабатывать блок с максимальным диаметром, равным $2R$. Принимаем $b = 1,5$ мм (см. табл. 10.2).

1. Предварительная высота блока

$$H_{\text{б}} = D_{\text{п}}^2 / 8R_{\text{б}} = 3202 / 8 \cdot 130 = 98,46 \text{ мм.}$$

2. Предварительный угол раствора блока

$$\gamma_{\text{б}} = \arccos(1 - H / R) = \arccos(1 - 98,46 / 130) = 75^\circ 57'.$$

3. Угол раствора заготовки

$$\alpha_0 = \arcsin(d / 2R_{\text{б}}) = \arcsin(37 / 2 \cdot 130) = 8^\circ 11'.$$

$$\alpha = \arcsin((d + b) / 2R) = \arcsin((37 + 1,5) / 2 \cdot 130) = 8^\circ 31', \quad 2\alpha = 17^\circ 2'.$$

4. Число рядов на блоке и количество заготовок в первом ряду

$$\gamma_{\text{б}} / 2\alpha + 0,5 = m + \xi = 75^\circ 57' / 17^\circ 2' + 0,5 = 4,96.$$

На блоке будет четыре ряда, а в первом ряду необходимо поместить пять заготовок (см. табл. 10.3), что не позволит обрабатывать линзы с высокой точностью. Поэтому необходимо провести перерасчёт на блок диаметром 300 мм.

Предварительная высота и угол раствора блока

$$H_6 = D_{\text{п}}^2 / 8R_6 = 3002 / 8 \cdot 130 = 86,5 \text{ мм.}$$

$$\gamma_6 = \arccos(1 - H / R) = \arccos(1 - 86,5 / 130) = 70^\circ 33'.$$

Число рядов на блоке и количество заготовок в первом ряду

$$\gamma_6 / 2\alpha + 0,5 = m + \xi = 70^\circ 33' / 17^\circ 2' + 0,5 = 4,64.$$

На блоке будет четыре ряда, в первом ряду – три заготовки.

5. Угол φ_1 :

$$\varphi_1 = 180^\circ / n_1 = 180^\circ / 3 = 60^\circ.$$

6. Угол θ_1 :

$$\sin\theta_1 = \sin\alpha / \sin\varphi_1 = \sin 8^\circ 31' / \sin 60^\circ = 0,1709; \theta_1 = 9^\circ 50'.$$

7. УГЛЫ $\theta_2, \theta_3, \theta_4$:

$$\theta_2 = \theta_1 + 2\alpha(m-1) = 9^\circ 50' + 17^\circ 2' = 26^\circ 52';$$

$$\theta_3 = \theta_1 + 2\alpha(m-1) \cdot 2 = 43^\circ 54';$$

$$\theta_4 = \theta_1 + 2\alpha(m-1) \cdot 3 = 60^\circ 56'.$$

8. УГЛЫ $\varphi_2, \varphi_3, \varphi_4$:

$$\sin\varphi_2 = \sin\alpha / \sin\theta_2 = \sin 8^\circ 31' / \sin 26^\circ 52' = 0,3275; \quad \varphi_2 = 19^\circ 7';$$

$$\sin\varphi_3 = \sin\alpha / \sin\theta_3 = \sin 8^\circ 31' / \sin 43^\circ 54' = 0,2134; \quad \varphi_3 = 12^\circ 19';$$

$$\sin\varphi_4 = \sin\alpha / \sin\theta_4 = \sin 8^\circ 31' / \sin 60^\circ 56' = 0,1693; \quad \varphi_4 = 9^\circ 45'.$$

9. Количество заготовок по рядам

$$n_1 = 3;$$

$$n_2 = 180^\circ / \varphi_2 = 180^\circ / 19^\circ 7' = 9,4;$$

принимаем $n_2 = 9$;

$$n_3 = 180^\circ / \varphi_3 = 180^\circ / 12^\circ 19' = 14,6;$$

принимаем $n_3 = 14$;

$$n_4 = 180^\circ / \varphi_4 = 180^\circ / 9^\circ 45' = 18,46;$$

принимаем $n_4 = 18$;

10. Общее количество заготовок

$$N = 3 + 9 + 14 + 18 = 44.$$

11. Окончательный угол раствора блока

$$\gamma_6 = \theta_4 + \alpha_0 = 60^\circ 56' + 8^\circ 11' = 69^\circ 7'.$$

12. Окончательная высота блока

$$H_6 = R(1 - \cos\gamma) = 130(1 - \cos 69^\circ 7') = 83,7 \text{ мм.}$$

13. Окончательный диаметр блока

$$D_6 = 2R\sin\gamma = 2 \cdot 130\sin 69^\circ 7' = 242,9 \text{ мм.}$$

При крупносерийном производстве может потребоваться увеличить размер блока с целью увеличения количества заготовок на нём. В таком случае необходимо пересчитать блок, приняв в формуле для расчёта числа рядов и количества заготовок в первом ряду $\gamma_6 = 90^\circ$.

10.2.3. Графический метод расчёта блока

Графический метод расчёта блоков сводится к следующему. По отношению R/d определяют расположение заготовок на блоке, т. е. число рядов и количество заготовок по зонам (см. табл. 10.10 и 10.4). Если при этом заготовки располагаются по первому способу (одна заготовка в первой зоне, т. е. в центре), то номинальным радиусом OA линзы (рис. 10.6) вычерчивают полуокружность и перпендикулярно радиусу OA проводят хорду

$$BC = d + b,$$

которая определяет положение заготовки в центре блока. Затем от точки B циркулем откладывают отрезки

$$BD = DE = BC,$$

определяющие собой зоны блока.

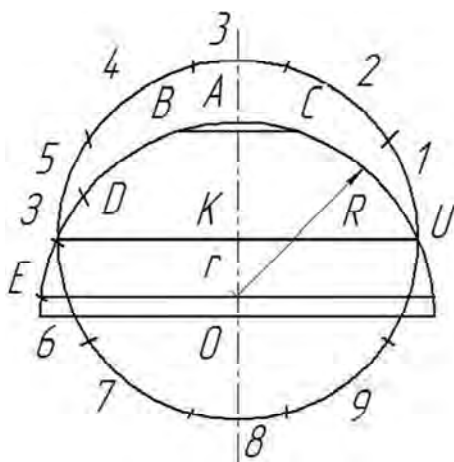


Рис. 10.6. Одна заготовка в центре

Для определения количества заготовок в каждой зоне из середины отрезка DE перпендикулярно AO проводят ZU , а из точки K – окружность радиусом ZK . По этой окружности из точки U отклады-

вают отрезки, равные CB . Целое число уложившихся отрезков и есть количество заготовок на блоке в данной зоне. Аналогичным образом проводят построение для всех зон.

При втором способе расположения заготовок (рис. 10.7) положение первой зоны (из трёх заготовок) определяется из соотношения $UE \cong 0,57(d+b)$, где точка U – середина отрезка первой зоны. Дальнейшее построение аналогично первому способу.

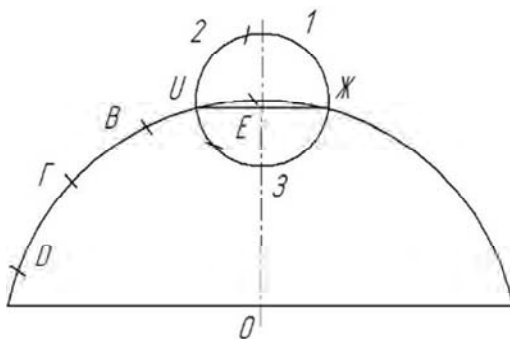


Рис. 10.7. Три заготовки в центре

При третьем способе расположения заготовок на блоке (рис. 10.8) положение первой зоны (из четырёх заготовок) определяется из соотношения $UE \cong 0,69(d+b)$.

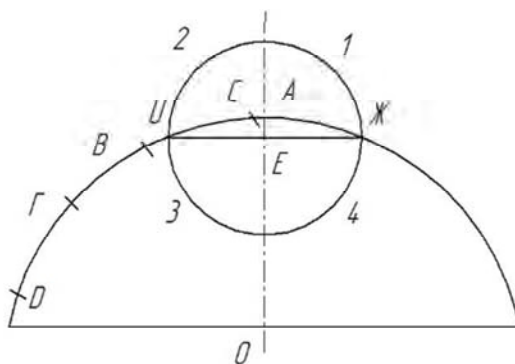


Рис. 10.8. Четыре заготовки в центре

Высота блока равняется отрезку AG (см. рис. 10.8) и получается непосредственным измерением этого отрезка. Диаметр блока вычисляется.

Случаи, когда в первой зоне располагаются две заготовки (табл. 10.4 и 10.5), применяются для полирования волокнистым полировальником деталей с пониженной точностью.

Таблица 10.4

Расположение заготовок на сферическом блоке,
ограниченном $H_0 = 0,85R$

R/d	0,76	0,85	1,0	1,13	1,24	1,46	1,54
$n_1 + n_2 + \dots$	2	3	4	1 + 5	1 + 6	2 + 8	3 + 8
R/d	1,65	1,77	1,85	2,27	2,38	2,58	
$n_1 + n_2 + \dots$	4 + 9	5 + 9	1 + 5 + 9	3 + 9 + 13	4 + 9 + 13	1 + 5 + 11 + 14	

Таблица 10.5

Расположение деталей на сферическом максимальном блоке

R/d	0,71	0,786	0,893	1,03	1,14	1,33	1,385
$n_1 + n_2 + \dots$	2	3	4	1 + 5	1 + 6	2 + 7	3 + 7
R/d	1,437	1,68					
$n_1 + n_2 + \dots$	4 + 8	1 + 5 + 9					

10.3. Блоки для обработки призм, пластин и клиньев

Изготовление призм можно производить разными способами установки заготовок на приспособлениях с различным числом смен рабочих баз. Количество смен баз определяет точность и производительность изготовления оптических деталей.

Практически всегда обработку заготовок призм начинают со вспомогательных поверхностей, которые при выполнении последующих операций принимают за технологические базы. В зависимости от условий производства и вида заготовки операции выполняются алмазным инструментом на специализированных или металлообрабатывающих (фрезерных) станках либо свободным абразивом на оптических станках.

Блокировка призм, пластин и клиньев осуществляется следующими методами:

- механическим зажатием;
- капиллярным натяжением;
- молекулярным сцеплением («оптический контакт»);
- приклеиванием;
- гипсовкой;
- под влиянием собственного веса, в сепараторах.

При **установке заготовок с базированием по технологическим базам** требуемого взаимного расположения поверхностей достигают за счёт создания параллельности обрабатываемой поверхности по отношению к элементам приспособления, выполняющим роль вспомогательной измерительной базы.

Закрепление механическим зажатием применяют в тех случаях, когда снижение точности конструктивных параметров деталей под действием напряжений и деформаций, вызываемых усилиями зажатия в приспособлениях, не выходит за пределы установленного допуска. Данный метод применяется при обработке алмазным инструментом на операциях грубого шлифования, обработке по периметру, круглого шлифования, снятия скосов, нанесения пазов, канавок и др. На завершающих стадиях механической обработки данный способ используют лишь при большой жёсткости конструкции деталей или низких требованиях к точности формообразования. Взаимное расположение может быть выдержано с точностью 1–3', линейные размеры – в пределах 0,01–0,05 мм.

Закрепление действием сил молекулярного сцепления основано на эффекте взаимодействия полированной установочной базы изделия с полировочными установочными элементами приспособления. Энергия сцепления сопоставима с энергией связи молекул в объёмной фазе соединённых тел, поэтому разрыв контакта возможен лишь под действием усилий, близких к разрушающим. Оптический контакт – предельно точный способ совмещения установочной и измерительной баз. Необходимым условием соединения является наличие у заготовок 1 призм (рис. 10.9, а), пластин (рис. 10.9, б) и клиньев (рис.10.9, в) полированной поверхности с отступлением от плоскостности $N \leq 0,5$. Затем данную поверхность совмещают с установочным элементом приспособления 2.

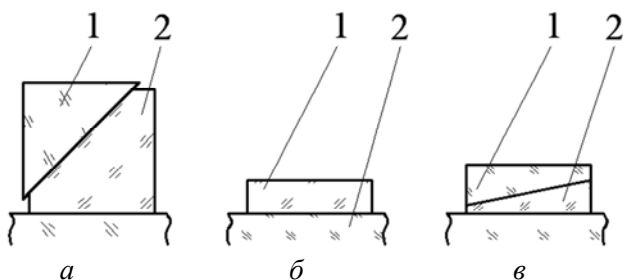


Рис. 10.9. Закрепление заготовок действием сил молекулярного сцепления:
а – призм; *б* – пластин; *в* – клиньев

Закрепление действием сил капиллярного натяжения жидкости используется при изготовлении точных пластин, клиньев и призм. Установочный элемент *1* (рис. 10.10) выполняют из пористого материала (графита, керамики, металлокерамики) и пропитывают его жидкостью с высоким коэффициентом поверхностного натяжения, малой вязкостью, низким давлением пара. Тонким слоем клеящего вещества *2* пористый материал соединяется с корпусом *3*. При наложении детали *4* на установочный элемент жидкость, находящаяся в порах поверхностного слоя, создает силы капиллярного натяжения, которые направлены по нормали к плоскости детали и прочно удерживают её. В тангенциальном направлении эти силы малы, поэтому для предупреждения смещения заготовок в приспособлении должны быть предусмотрены опорные базы.

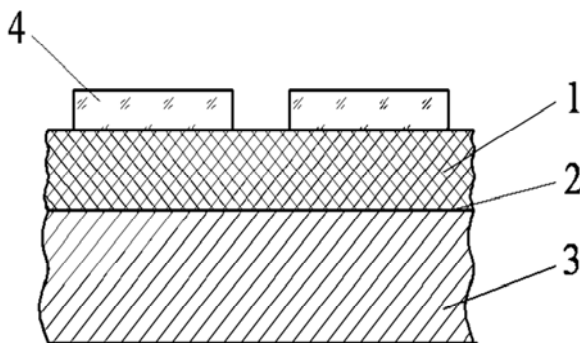


Рис. 10.10. Блокирование заготовок силами капиллярного натяжения жидкости

Закрепление примораживанием является разновидностью предыдущего способа. Отличительная особенность в том, что в порах поверхностного слоя находится вода, которую после базирования заготовок замораживают. Данный метод используется на операциях тонкого шлифования и полирования деталей плоскопараллельных пластин, изготовленных из материалов, свойства которых исключают возможность использования клеящих веществ или нагрева.

Закрепление вакуумным прижимом применяется на операциях грубого шлифования крупногабаритных пластин, тонкого шлифования и полирования единичных линз, снятия фасок и др.

Установку по настроечной базе с фиксацией положения заготовок твердеющим раствором 2 (рис. 10.11) используют при выполнении операций тонкого шлифования и полирования преломляющих и отражающих поверхностей призм 7, которые притирают к планшайбе 5. После притирки призм 7 по краям планшайбы 5 устанавливают три стеклянные пластинки 4 толщиной 2–3 мм, предназначенные для того, чтобы призмы при обработке выступали за края обода. Затем устанавливают обод 3 и заполняют промежутки между призмами 7 просеянными деревянными опилками до образования тонкого (2–3 мм) слоя 6. После этого детали заливают раствором 2 и устанавливают на него крышку 1.

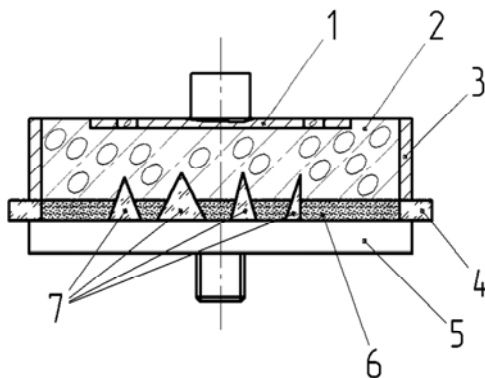


Рис. 10.11. Гипсование призм

Погрешность закрепления, которая вызывает изменение положения измерительной базы, и отсутствие жёсткой системы «станок–

приспособление–инструмент–деталь» не позволяют установить обрабатываемую поверхность относительно других граней с точностью, превышающей имевшуюся после предварительного шлифования. Для того чтобы погрешность взаимного расположения поверхностей после завершения их обработки не превысила заданного допуска, операция предварительного шлифования должна обеспечивать точность, превышающую требуемую от готовой детали. Точность взаимного расположения поверхностей, которую способен обеспечить процесс с установкой заготовок по настроечной базе и фиксацией положения твердеющим раствором, не превышает 5–6'. Кроме того, ограничены возможности сокращения трудоёмкости операций тонкого шлифования и полирования путём интенсификации режимов, использования специализированного оборудования, уменьшения припусков.

При **закреплении приклеиванием** функцию настроечной базы выполняет обрабатываемая поверхность. Эту базу используют для выверки положения заготовок 1, притирая их к установочному элементу вспомогательного приспособления 2. Для создания силового замыкания, фиксирующего положение заготовок, используют смоляную подушку 3 или отдельные смоляные точки, предварительно нанесённые на необрабатываемую поверхность, помещают нагретое наклеечное приспособление 4.

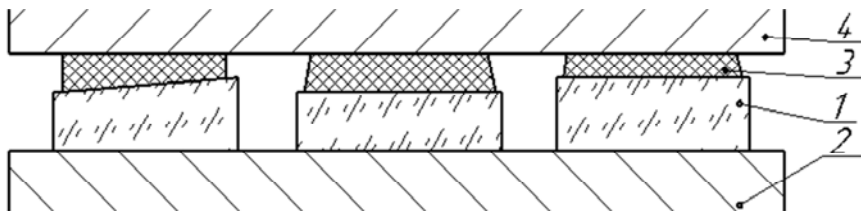


Рис. 10.12. Установка заготовок по настроечной базе

Если рассмотренные способы не обеспечивают требуемой точности взаимного расположения поверхностей, призмы могут быть **доведены в сепараторах**. Создавая неравномерную нагрузку на обрабатываемую поверхность, как это делается при доводке плоскопараллельных пластин и углов клиньев, точность взаимного расположения поверхностей повышают до соответствующей возможностям технических средств контроля, т. е. до 0,5–1,0''.

11. ВЫБОР И РАСЧЁТ НАКЛЕЕЧНЫХ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ СФЕРИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ

11.1. Эластичный способ блокировки

Эластичный способ состоит в том, что детали приклеивают к наклеечным приспособлениям сравнительно толстым слоем смолы ($\delta = (0,1 \dots 0,2)d$) в самом тонком месте смоляной подушки, т. е. для выпуклых линз в середине, а для вогнутых – на краю).

11.1.1. Расчёт радиусов наклеечных приспособлений

Поверхность наклеечного приспособления должна быть концентричной по отношению к обрабатываемой поверхности. Для двояковыпуклых и плосковыпуклых линз, а также положительных менисков (рис. 11.1) данное положение может быть выражено формулой

$$R_{н.пр} = R_1 - T_0 - \delta.$$

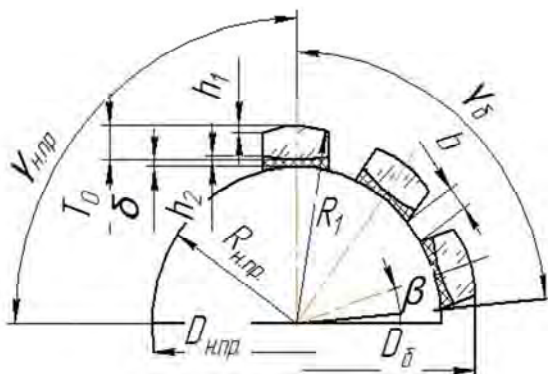


Рис. 11.1. Наклеечное приспособление для двояковыпуклых линз

Для отрицательных менисков (рис.11.2) формула для расчёта $R_{н.пр}$ имеет следующий вид:

$$R_{н.пр} = R_y - \delta.$$

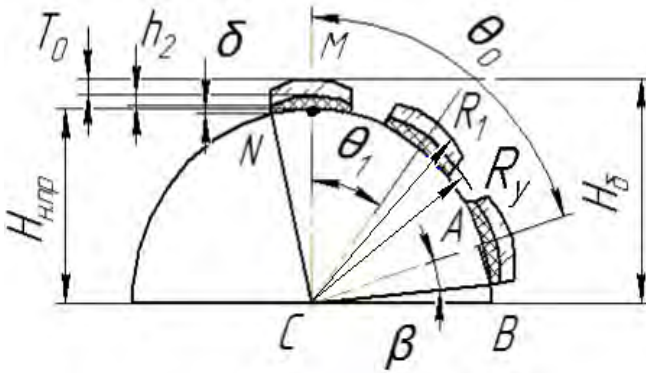


Рис. 11.2. Наклеечное приспособление для отрицательных менисков

При этом величина R_y , как видно из треугольника MCN на рис. 11.2, определяется выражением

$$R_y = \sqrt{(R_1 - T_0 - h_2) + (d/2)^2}.$$

Как видно из рис. 11.3, при обработке двояковогнутых линз радиус наклеичной чашки больше радиуса блока на величину, равную отрезку AE . Из прямоугольного треугольника AED получим

$$AE = AD \cos \alpha_0.$$

Но поскольку

$$AD = AB + \delta = T_0 + h_1 + h_2 + \delta,$$

то

$$R_{н.пр} = R_1 + (T_0 + h_0 + h_2 + \delta) \cos \alpha_0.$$

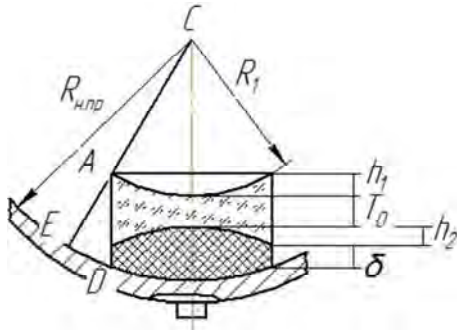


Рис. 11.3. Наклеечное приспособление для двояковогнутых линз

Для отрицательных менисков (рис. 11.4) радиус наклеичного приспособления

$$R_{н.пр} = R_1 + (T_0 + h_1 + h_2 + \delta) \cos \alpha_0.$$

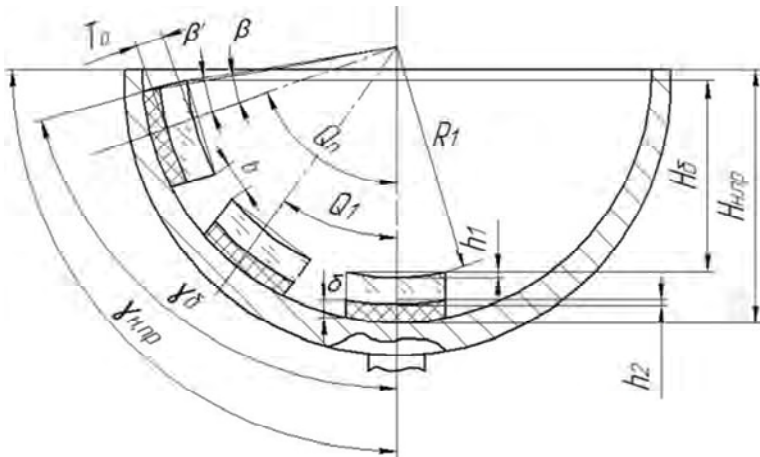


Рис. 11.4. Наклеичное приспособление для отрицательных менисков

Для положительных менисков (рис. 11.5) радиус наклеичных чашек рассчитывается по формуле

$$R_{н.пр} = R_1 + T_0 + \delta.$$

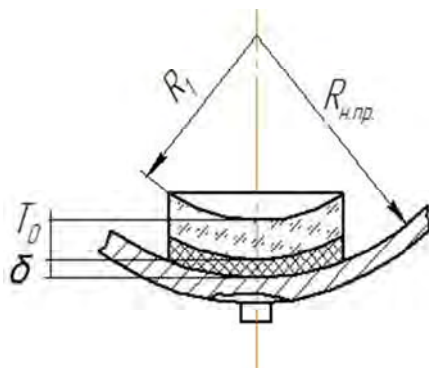


Рис. 11.5. Наклеенное приспособление для положительных менисков

11.1.2. Расчёт размеров наклеенных приспособлений

Из рис. 11.4 и 11.5 видно, что угол раствора $\gamma_{н.пр}$ наклеенного приспособления для выпуклых и вогнутых блоков

$$\gamma_{н.пр} = \theta_{п} + \beta.$$

Из прямоугольных треугольников ABC на рис. 11.2. и 11.3 получаем зависимость для угла β :

$$\beta' = \arcsin(d / 2R_{н.пр}).$$

При таком значении β' заготовки последнего ряда на наклеенном приспособлении могут выступать за его края, что неудобно в производстве. Поэтому используют изменённую формулу

$$\beta = \arcsin(1,2d / 2R_{н.пр}).$$

Высота и диаметр наклеенных приспособлений определяются следующим образом:

$$H_{\delta} = R(1 - \cos\gamma);$$

$$D_{\delta} = 2R\sin\gamma.$$

11.2. Жёсткий способ блокировки

11.2.1. Последовательность обработки поверхностей

Если при эластичном способе блокирования последовательность обработки поверхностей не имеет существенного значения, то при жёстком креплении поверхности должны обрабатываться в том же порядке, в каком это было принято при расчёте; в противном случае наклеечные приспособления будут непригодны. На основании опыта оптического производства установлена следующая последовательность обработки: у двояковыпуклых и двояковогнутых линз первой обрабатывают поверхность с большим радиусом; если же одна сторона обрабатывается по одной (индивидуально), а вторая – блоками, то первой обрабатывают поверхность с меньшим радиусом, т. е. индивидуально; у плосковогнутых линз и менисков первой обрабатывают вогнутую поверхность.

В формулах для расчёта наклеечных приспособлений толщина линз обозначается через T_1 и T_2 . T_1 – расчётная толщина заготовки после обработки первой поверхности. T_2 – верхняя предельная толщина готовой линзы, т. е. номинальная толщина плюс верхний допуск. T_1 равняется T_2 плюс припуск на обработку второй поверхности. Величина припуска изменяется в зависимости от того, изготавливается ли деталь на плоских или прессованных заготовках. В первом случае припуск также зависит от формы детали. В табл. 11.1 приведены припуски на обработку второй поверхности для различных деталей.

Таблица 11.1

Припуски на обработку второй поверхности заготовок

Виды поверхностей	Величины припуска На заготовки, мм	
	Плоские	Прессованные
Двояковыпуклые и плосковыпуклые	0,4	1,0
Плосковогнутые и мениски	1,0	1,5
Двояковогнутые	$b_2 + 1,0$	1,5

При обработке первой поверхности $\delta = 0,05$ мм, а для второй поверхности $\delta = 0,2-0,3$ мм. Такая разница обусловлена тем, что для обработки второй поверхности заготовку полированную стороной приклеивают к гнёздам наклеечного приспособления через матерчатые прокладки, пропитанные наклеечной смолой.

11.2.2. Расчёт радиусов наклеечных приспособлений

Основными величинами для расчёта радиусов наклеечных приспособлений являются радиусы обрабатываемых поверхностей и толщина заготовок. Формула для расчета радиусов имеет вид (треугольник ABC , рис. 11.6)

$$R_{н.пр} = \sqrt{a^2 + (d/2)^2}.$$

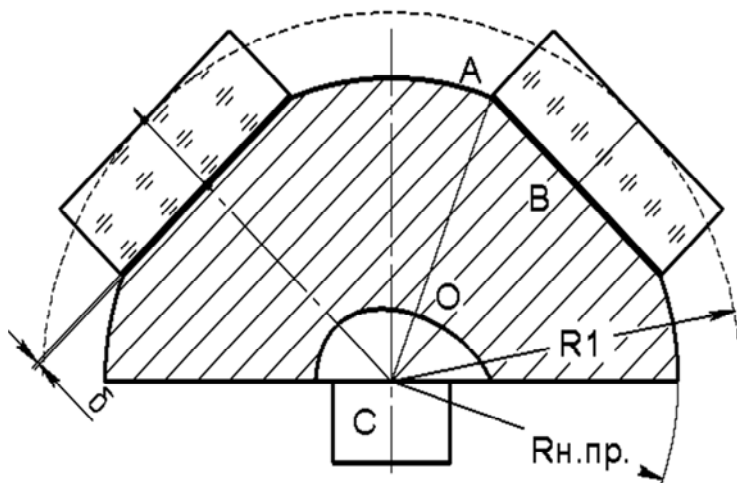


Рис. 11.6. К расчёту радиусов наклеечных приспособлений при жёстком способе блокировки

Значение слагаемого a в этой формуле изменяется в зависимости от формы детали, порядка обработки и исходной заготовки. Ниже приводятся построения и вывод формул для деталей различной формы.

11.2.3. Двояковыпуклые линзы

При изготовлении двояковыпуклых деталей из плоских заготовок наклеичные грибы для обработки первых поверхностей применяются с плоскими шайбами (рис. 11.7). Слагаемое в таком случае имеет следующее значение:

$$a = R_1 - T_1 - \delta.$$

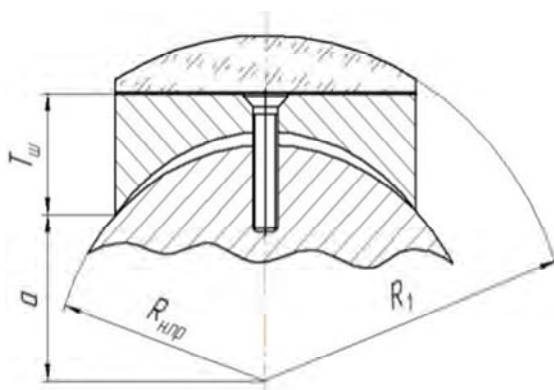


Рис. 11.7. Наклеичное приспособление с шайбой

Для наклейки линз с большим первым радиусом ($R > 300$ мм), когда фрезерование плоских гнёзд затруднительно, применяют наклеичные грибы с коническими шайбами, которые привинчивают к поверхности гриба (см. рис. 11.7). В этом случае с учётом толщины шайбы $T_{ш}$ по краю

$$a = R_1 - T_1 - T_{ш} - \delta.$$

Наклеичные грибы для обработки второй поверхности двояковыпуклых деталей, изготавливаемые из плоских, а также из прессованных заготовок, иногда изготавливают с гнёздами (рис. 11.8) в виде сферических углублений (лунок). В этом случае

$$a = R_2 - T_2 + h_1 - \delta.$$

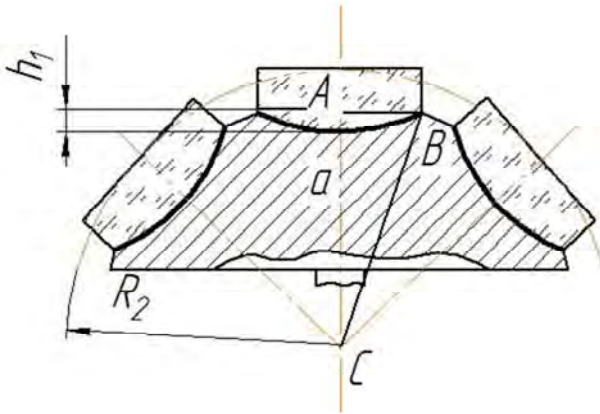


Рис. 11.8. Наклеечное приспособление с гнёздами

Чтобы получить толщину слоя наклеичной смолы в середине на 0,1 мм больше, чем на краю (для меньшего царапания поверхностей линз в центральной зоне), радиус лунок рассчитывают по формуле

$$R_{\text{л}} = R_1 h_1 / (h_1 + 0,1).$$

Для блокирования линз с острыми или тонкими краями ($T_{\text{кр}} < 0,5$ мм) наклеичные грибы изготовляют с уменьшенными лунками (рис. 11.9). Их радиус рассчитывают по формуле

$$R_{\text{н.пр}} = R_2 - E,$$

где $E \geq 0,5$ мм.

Диаметр лунки в данном случае

$$d_{\text{л}} = \sqrt{2R_1 h_1 - h_1^2}, \quad (11.1)$$

где

$$h_1 = (2R_{\text{н.пр}}(T_2 - E) - (T_2 - E)^2) / 2(R_1 + R_{\text{н.пр}} - T_2 + E).$$

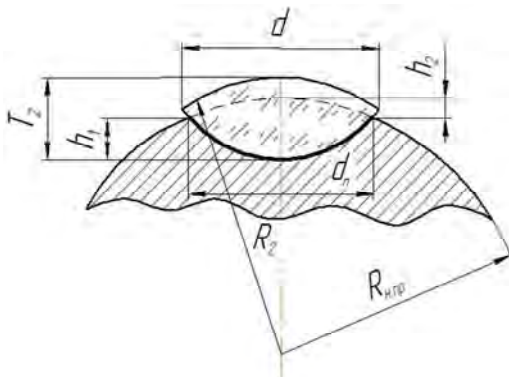


Рис. 11.9. Наклеечное приспособление с уменьшенными лунками

Формула для h_1 выводится следующим образом. Из рис. 11.10 и выражения для d_n можно записать

$$d_n = \sqrt{2R_{н.пр}h_2 - h_2^2}, \quad (11.2)$$

где

$$h_2 = T_2 - E - h_1.$$

Приравняв (11.1) и (11.2), получим

$$\sqrt{2R_1h_1 - h_1^2} = \sqrt{2R_{н.пр}(T_2 - E - h_1) - (T_2 - E - h_1)^2}.$$

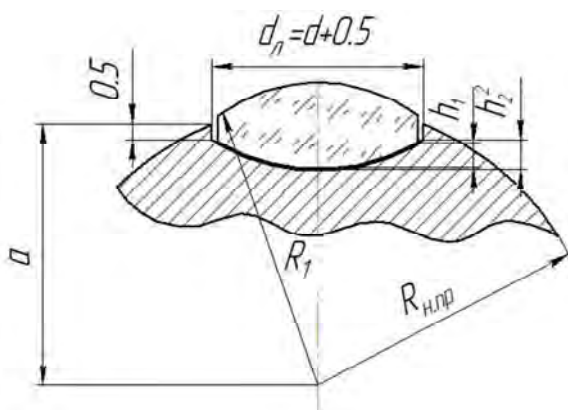


Рис. 11.10. Наклеечное приспособление с углублёнными лунками

Решив данное уравнение, получим формулу для $R_{н.пр}$.

Для обработки первой поверхности двояковыпуклых линз, изготавливаемых из прессованных заготовок, наклеенные грибы часто изготавливают с углублёнными лунками (см. рис. 11.10).

При этом диаметр лунки берут на 0,5 мм больше диаметра заготовки, а высоту стенок углубления 0,5 мм. Тогда

$$R_{н.пр} = \sqrt{a^2 + (d/2)^2},$$

где

$$a = R_1 - T_1 + h_2 + \Delta - \delta + 0,5.$$

В этой формуле

$$\Delta = h_2' - h_2'' - h_2''' = R_2 - \sqrt{R_2^2 - 0,25(d + 0,5)^2}.$$

11.2.4. Плосковыпуклые линзы

У плосковыпуклых линз в первую очередь обрабатывают плоские поверхности. При их изготовлении из плоских заготовок наклейка производится на планшайбы. Если же детали изготавливают из прессованных заготовок, то к планшайбам привинчивают шайбы с углублениями. Поэтому расчёт наклеенных приспособлений требуется только для обработки второй (выпуклой) поверхности.

11.2.5. Линзы двояковогнутые, плосковогнутые, мениски

При изготовлении данных оптических деталей в качестве наклеенных приспособлений используют чашки, к поверхностям которых привинчивают плосковыпуклые шайбы с толщиной края 1 мм (рис. 11.11).

Как видно из треугольника ABC на рис. 11.12, слагаемое a

$$a = R_1 + T_1 + \delta + 1.$$

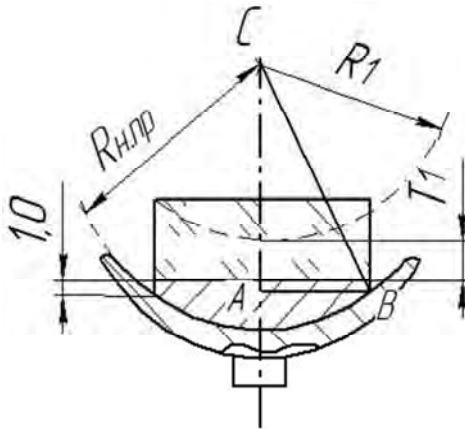


Рис. 11.11. Наклеечное приспособление в виде чашки с плоской шайбой

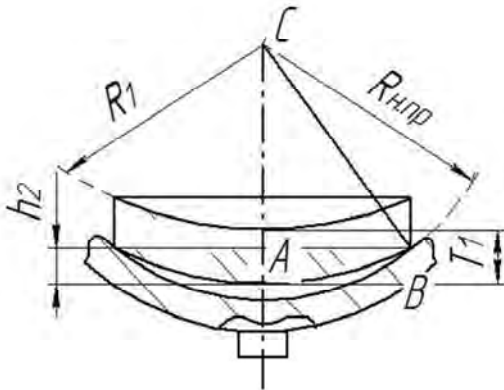


Рис. 11.12. Наклеечная чашка с приклеенным отрицательным мениском

Отрицательные мениски, изготавливаемые из прессованных заготовок, для обработки первой стороны приклеивают непосредственно к поверхности наклейки чашки (см. рис. 11.12). На заготовках фаски не делают. В этом случае

$$a = R_1 + T_1 - h_2 + \delta.$$

Положительные мениски, изготавливаемые из прессованных заготовок, для обработки первой поверхности наклеивают на металлические шайбы (рис. 11.13). В этом случае

$$R_{н.пр} = R_1 + T_1 + \delta + T_{ш}.$$

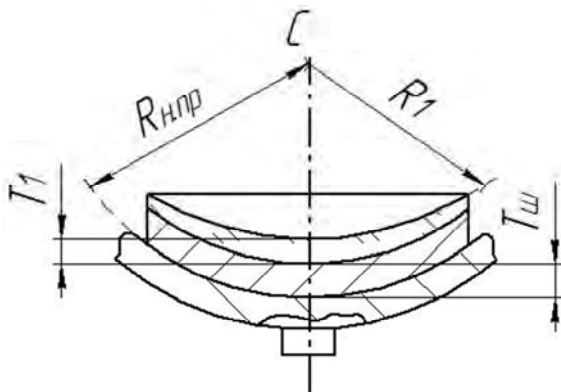


Рис. 11.13. Наклеечная чашка с приклеенным положительным мениском

Лунки на шайбе вытачивают по второму радиусу заготовки.

Наклеечные чашки для обработки второй поверхности двояковогнутых линз изготавливают без гнезд: линзы приклеивают непосредственно к поверхности чашки (рис. 11.14). Если радиус поверхности меньше $0,5d$, то на заготовках делают фаски. В этом случае, как видно из треугольника ABC на рис. 11.14:

$$R_{н.пр} = \sqrt{a^2 + 0,25d_{\phi}^2},$$

где

$$a = R_2 + T_2 + h_{\phi} + \delta;$$

$$d_{\phi} = d_0 + (0,5 \dots 1,0).$$

h_{ϕ} вычисляют по d_{ϕ} и R_1 . Если фаски на линзах не снимают, то в формуле для определения $R_{н.пр}$ берут d и h_1 вместо d_{ϕ} , h_{ϕ} .

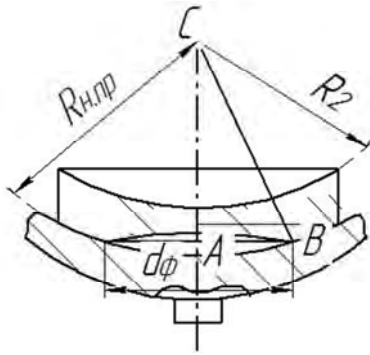


Рис. 11.14. Наклеечная чашка с приклеенной двояковогнутой линзой

При изготовлении отрицательных менисков блокировку для обработки второй поверхности производят на наклейные грибы без гнёзд (рис. 11.15). Если радиус вогнутой поверхности меньше $0,5d$, заготовки приклеивают на фаски, а если больше – без фасок.

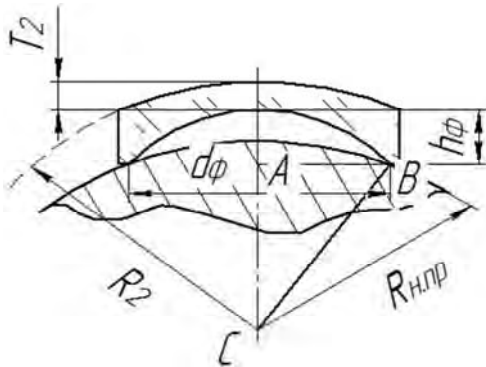


Рис. 11.15. Инструмент без гнёзд для обработки отрицательных менисков

Чтобы определить $R_{н.п.р.}$, рассчитывают

$$a = R_2 - T_2 - h_\phi - \delta.$$

Если фаски не снимают, расчёт производят по тем же формулам, но вместо d_ϕ , h_ϕ берут d и h_1 . $R_{н.п.р.}$ для обработки второй поверхности положительных менисков рассчитывают, определяя (рис. 11.16)

$$a = R_2 - T_2 - h_1 - \delta.$$

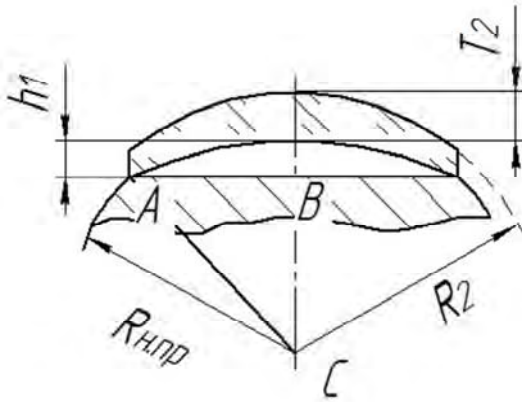


Рис. 11.16. Инструмент для обработки положительных менисков

11.2.6. Расчёт размеров наклеечных приспособлений

Порядок расчёта наклеечных грибов:

1. Рассчитав радиус наклеечного гриба, следует определить число поясов, помещающихся на грибе, воспользовавшись формулой

$$\gamma_6 / 2\alpha + 0,5 = m + \xi,$$

а также табл. 10.4 или табл. 10.5. Определить угол α по $R_{н.п.р.}$, используя формулу

$$\alpha = \arcsin((d + b) / 2R).$$

2. Найти углы θ по формуле

$$\theta_m = \theta_1 + 2\alpha(m - 1).$$

3. Рассчитать углы φ по формуле

$$\sin\varphi = \sin\alpha / \sin\theta.$$

4. По формуле

$$n_m = 180^\circ / \varphi_m$$

определить количество заготовок в каждом поясе.

5. По формулам

$$\gamma_{\text{н.пр}} = Q_{\text{п}} + \beta$$

и

$$\beta = \arcsin(1, 2d / 2R_{\text{н.пр}})$$

найти угол раствора наклеечного гриба и определить его высоту и диаметр:

$$H_{\text{Г}} = R(1 - \cos\gamma)$$

и

$$D_{\text{Г}} = 2R\sin\gamma.$$

6. Вычертить эскиз наклеечного гриба, указав на нём расположение лунок и значения углов θ и φ . (При наклейке отрицательных менисков без гнёзд значения θ и φ не указывают).

7. По формуле

$$\gamma_{\text{н.пр}} = Q_{\text{п}} + \beta$$

определить угол раствора блока и его размеры (диаметр и высоту).

Порядок расчёта наклеенных чашек:

1. Определить радиус наклеечной чашки.
2. Рассчитать блок и его элементы (количество рядов и деталей в них, углы θ и φ , высоту и диаметр).
3. Определить угол раствора наклеечной чашки, а также её размеры (диаметр и высоту).
4. Вычертить эскиз наклеечной чашки.

12. РАСЧЁТ ПРИПУСКА НА ОБРАБОТКУ ЗАГОТОВОК

При изготовлении оптической детали припуск на механическую обработку по толщине δ_t распределяется между всеми операциями, предусмотренными технологическим процессом. В общем случае обработка преломляющих и отражающих поверхностей заготовок разных видов включает операции предварительного шлифования, тонкого шлифования и полирования.

Толщина прессованных заготовок пластин и линз всех типов, которые имеют приближенную форму будущей детали, после предварительного шлифования 1-й поверхности определяется по формуле

$$t_3^{п.ш} = |t_3 - F_{\text{деф}1} + F^{п.ш1}| - \Delta t_{\text{и}},$$

где $F_{\text{деф}}$ – толщина дефектного слоя;

$\Delta t_{\text{и}}$ – минусовой допуск на толщину детали.

Толщина плоской заготовки для плосковогнутых, двояковогнутых линз и менисков после предварительного шлифования 1-й поверхности определяется по формуле

$$t_3^{п.ш} = |t_3 - h_1 - F_{\text{деф}1} + F^{п.ш1}| - \Delta t_{\text{и}},$$

где h_1 – стрелка прогиба вогнутой поверхности;

$F^{п.ш1}$ – толщина слоя стекла, нарушенного шлифованием 1-й поверхности.

Значение $F^{п.ш}$ при шлифовании стекла любой марки алмазным инструментом определяем из выражения

$$F^{п.ш} = (0,001d_{3,a}^2 + 0,5d_{3,a} + 4)1,25 / H_s, \text{ мкм},$$

где $d_{3,a}$ – наибольший размер зерна основной фракции алмазного порошка в инструменте, мкм.

При шлифовании заготовок с $h/D < 0,7$ используют инструмент с зернистостью алмаза 63/50.

Если предварительное шлифование выполнялось свободным абразивом зернистости M , то толщину $F_M^{п.ш}$ нарушенного слоя на стекле марки x , мкм, находят умножением её значения для стекла марки К8 на коэффициент относительной твёрдости по сошлифовыванию, соответствующий стеклу марки x , т. е.

$$F_M^{п.ш} = F_M^{К8} 1,25 / H_s^x.$$

Это выражение справедливо для оценки толщины слоя стекла, нарушенного как предварительным, так и тонким шлифованием свободным абразивом.

После предварительного шлифования 2-й поверхности заготовок всех видов их толщина

$$t_3^{п.ш2} = t + \Delta t_B + 2F^{п.ш}.$$

На стадии предварительного шлифования кроме толщины заготовки по центру выдерживают её разнотолщинность по краю ($\Delta T_{кр}$).

Толщину заготовок, обрабатываемых в блоке, не контролируют, поэтому допуск на толщину заготовок после предварительного шлифования 1-й и 2-й поверхностей назначают равным минусовому значению допуска на толщину готовой детали. Часть общего припуска, оставшаяся после предварительного шлифования, распределяют между операциями тонкого шлифования и полирования, т. е.

$$2F^{п.ш} = \delta^{т.ш} + \delta^{п}. \quad (12.1)$$

После последнего перехода тонкого шлифования обеих поверхностей заготовки алмазным инструментом зернистости $d_{3,a}$ её толщина

$$t_3 = \left| t + \Delta t_B + 2F_{d_{3,a}}^{т.ш} \right| - \Delta t_{и}.$$

Значение $F^{т.ш}$ определяется по формуле (12.1) для оценки значения $F^{п.ш}$ при предварительном шлифованием.

Если тонкое шлифование выполнялось свободным абразивом зернистости M , то толщина заготовки

$$t_3 = |t + \Delta t_B + 2F_M^{K8} 1,25 / H_s| - \Delta t_{и}.$$

Значения F_M^{K8} для абразивов различной зернистости приведены в табл. 12.1.

Таблица 12.1

Толщина слоя стекла, нарушаемого при шлифовании свободным абразивом и алмазным инструментом для К8

Зернистость, мкм	Толщина нарушенного слоя F , мкм	
	Свободный абразив (электрокорунд белый)	Инструмент из синтетических алмазов на металлической связке
7–5	5	6
10–7	7	8
14–10	10	10
20–14	15	13
28–20	22	20
40–28	35	25
50–40	43	–
63–50	51	30
80–63	79	35
100–80	Ж	48
125–100	122	50
160–125	160	60

Припуск $\delta^П$ на полирование равен толщине слоя, нарушенного абразивом зернистости последнего перехода тонкого шлифования, т. е.

$$\delta^П = 2F^{Т.Ш}.$$

После выполнения операции полирования толщина заготовки должна быть равна толщине готовой детали с допуском на отклонение, т. е.

$$t_3 = t_d = t \pm \Delta t.$$

13. ВЫБОР МЕТОДА ЦЕНТРИРОВАНИЯ. ФАСЕТИРОВАНИЕ ЛИНЗ

Погрешность установки заготовок на стадии предварительного шлифования и при сборке блока приводит к разнотолщинности линз по краю. Следствием этого является несовпадение линии, соединяющей геометрические центры поверхностей (геометрической оси), с линией, соединяющей центры кривизны поверхностей (оптической осью). Такую (децентрированную) линзу можно рассматривать как правильную с приставленным к ней сферическим клином. Действие его вызывает смещение осевого луча, поперечный хроматизм, кому и астигматизм изображения. Децентрирование C может быть оценено значением угла α наклона децентрированной поверхности по отношению к оптической оси, т. е. $C = \alpha''$, или в линейной мере

$$C = \alpha R, \text{ мм,}$$

где R – радиус децентрированной поверхности, мм.

Для совмещения геометрической оси линзы с оптической осью предусматривается операция центрирования, вид которой зависит от категории сложности линзы по параметру C и от типа производства (табл. 13.1).

Таблица 13.1

Способы центрирования линз по РТМ 3-1635–83

Типовая схема процесса центрирования	Категория сложности, тип производства
Механический способ установки. Фиксация положения линзы зажатием между патронами	III–IV категория сложности; серийное, крупносерийное и массовое производство
Ручной способ установки с фиксацией положения линзы приклеиванием к патрону. Контроль установки по блику	III–IV категория сложности; единичное и мелкосерийное производство, а также серийное и массовое, если механический способ установки не обеспечивает заданной точности центрирования

Типовая схема процесса центрирования	Категория сложности, тип производства
Ручной способ установки с контролем положения линзы по прибору	I–II категория сложности; единичное и мелкосерийное производство, а также серийное и массовое, если механический способ установки не обеспечивает заданной точности центрирования

Критерием оценки сложности линз при механическом способе установки является угол зажатия φ линзы (табл. 13.2) и заданный допуск C на децентрирование.

Таблица 13.2

Критерии сложности центрируемых линз

Параметр детали	Категория сложности			
	I	II	III	IV
Угол зажима α , °	До 12	12–18	18–23	Более 23
Допуск на децентрирование, мм	До 0,005	0,005–0,01	0,01–0,02	Более 0,02

Приведённые в табл. 13.2 типовые схемы процесса центрирования не распространяются на линзы диаметром более 200 мм. Геометрическую ось таких линз совмещают с оптической непосредственно в процессе обработки преломляющих поверхностей, контролируя разнотолщинность $\Delta T_{\text{кр}}$ по краю:

$$\Delta T_{\text{кр}} = \frac{CD}{R-h},$$

где C – допуск на децентрирование;

D – диаметр линзы;

R – радиус обрабатываемой поверхности;

h – стрела прогиба поверхности радиуса R .

Линзы диаметром менее 200 мм центрируют после завершения обработки преломляющих поверхностей. Операция состоит из двух переходов:

1. Совмещение оптической оси линзы с осью вращения шпинделя станка и фиксация этого положения.

2. Совмещение геометрической оси линзы с оптической путём обработки детали по диаметру до заданного размера.

Механический способ установки линзы с фиксацией положения зажатием между патронами в условиях крупносерийного и массового производства наиболее эффективен. Применение этого способа ограничивается размерами радиусов поверхностей, которые определяют угол зажатия φ :

$$\varphi = \varphi_1 \pm \varphi_2 = \arcsin(D_{п1} / 2R_1) \pm \arcsin(D_{п2} / 2R_2),$$

где φ_1 и φ_2 – углы наклона касательных к 1-й и 2-й поверхностям линзы (рис. 13.1);

$D_{п1}$ и $D_{п2}$ – диаметры центрировочных патронов со стороны радиусов R_1 и R_2 поверхностей линзы соответственно.

С уменьшением значения угла φ точность совмещения оптической оси линзы с осью вращения шпинделя уменьшается (см. табл. 13.2).

Таблица 13.2

Зависимость точности установки линзы от угла зажатия φ

Угол зажатия φ , °	Погрешность установки, мм
Более 23	До 0,005
23–18	0,005–0,01
18–12	0,01–0,02
До 12	Более 0,02

Суть механического способа совмещения оптической оси линзы с осью вращения шпинделей заключается в следующем (см. рис. 13.1): децентрированная линза, устанавливаемая между патронами, может занять положение, при котором её оптическая ось O_1-O_2 не будет совпадать с осью A_1-A_2 вращения шпинделей. При этом возникнут две неуравновешенные силы, действующие в противоположные стороны: N – равнодействующая усилий N_1 и N_2 , нормали к прелом-

ляющим поверхностям, и сила F – равнодействующая сил трения F_1 и F_2 , направленных по касательной к преломляющим поверхностям. Если сила N будет больше силы F , она сместит линзу в положение, при котором ось O_1-O_2 совпадёт с осью A_1-A_2 . Численные значения и соотношение сил N и F зависят от кривизны преломляющих поверхностей.

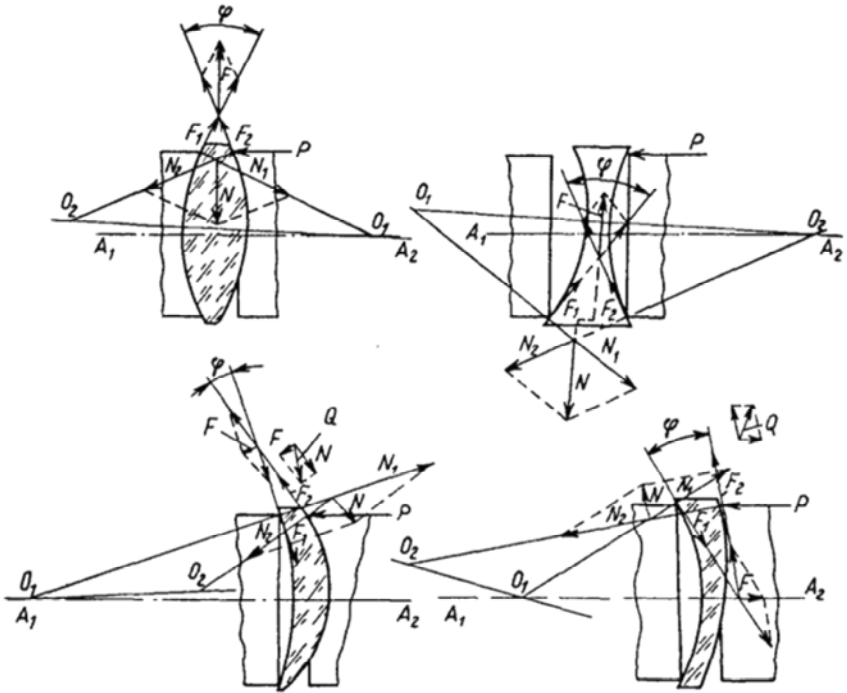


Рис. 13.1. Схемы самоцентрирования линз с различным профилем

Критическое значение угла φ , при котором прекращается самоцентрирование, составляет для менисков 23° , для остальных типов линз 17° . Независимо от размера угла зажатия диаметр D линзы должен удовлетворять соотношению

$$D > 0,4R_1R_2 / (R_1 + R_2).$$

Механический способ установки используют при центрировании линз диаметром от 3 до 150 мм. Он прост и высокопроизводителен, применяется в станках-полуавтоматах. Недостатками являются невозможность самоцентрирования линз с поверхностями малой кривизны и трудоёмкость настройки соосности шпинделей.

Ручной способ установки линзы применяют в том случае, если механическим способом нельзя совместить оптическую ось линзы с осью вращения шпинделей. Положение линзы фиксируют приклеиванием к патрону. Правильность установки контролируют с помощью оптических средств:

1) по блику – перемещением линзы по кромке патрона – добиваются положения, при котором отражённое от поверхности детали изображение источника света остаётся неподвижным при вращении шпинделя станка (точность центрирования 0,02–0,01 мм);

2) с помощью коллимационных приборов, работающих в проходящем или отражённом свете (точность центрирования 0,005–0,010 мм);

3) с помощью автоколлимационного прибора модели ЮС-13, устанавливаемого на станке (точность центрирования 0,003–0,005 мм); применяют в мелкосерийном производстве при высоких требованиях к точности центрирования.

При ручном способе установки линзу 3 прижимают к торцу патрона 1, на скошенную часть которого нанесена центрировочная смола 2 (рис. 13.2). Центр кривизны O_1 поверхности, прилегающей к патрону, всегда будет находиться на оси KK' вращения последнего, а центр кривизны O_2 второй поверхности может не совпадать с ней. Оптическая ось O_1-O_2 окажется наклонённой к оси KK' под некоторым углом θ . Перемещением линзы добиваются их совмещения, контролируя положение при помощи одного из перечисленных оптических средств. При центрировании линз, у которых $R_1 \neq R_2$, в качестве базы принимают поверхность с большей кривизной. Ручной способ установки применяют для центрирования линз диаметром от 3 до 150 мм.

На втором переходе операции центрирования производят круглое шлифование линзы, совмещая при этом её геометрическую ось с оптической. При установке линз зажатием одновременно с обработкой по диаметру можно нанести конструкторские фаски (рис. 13.3).

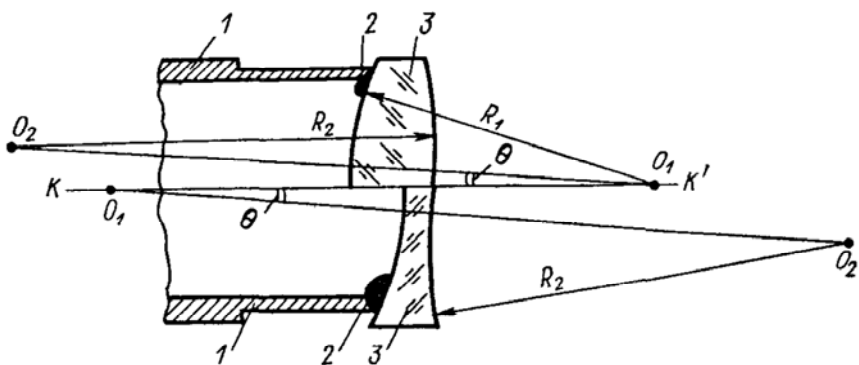


Рис. 13.2. Схема ручного способа установки центрируемой линзы

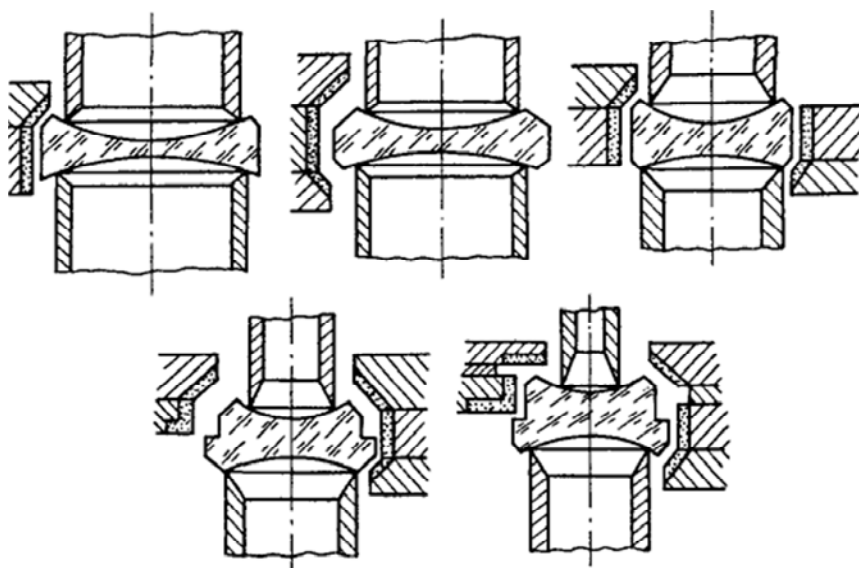


Рис. 13.3. Совмещение операции центрирования с нанесением фасок

Марку и зернистость алмаза используемых кругов выбирают в зависимости от диаметра линзы. Для центрирования с установкой линз зажатием в основном используют станки-полуавтоматы.

Режим шлифования

Для обеспечения оптимальных условий работы алмазного инструмента его линейная скорость должна быть $v_{и} = 30$ м/с, а её отношение к скорости детали ($v_{д}$) принимается $v_{и}/v_{д} = 120$. При $v_{и} = 30$ м/с линейная скорость детали $v_{д} = 0,25$ м/с.

Частоту вращения детали $n_{д}$, об/мин, и радиальную подачу s , мм/мин, инструмента определяют по формулам:

$$n = \frac{5000}{D};$$

$$s = \frac{130}{D} + 3.$$

Если линза имеет вогнутую поверхность или толщину края менее 1,0 мм, частоту ее вращения $n_{д}$ и радиальную подачу s уменьшают в 1,26 раза.

Машинное время $T_{шл}$, мин, затрачиваемое на сошлифовывание припуска δD , находят из выражения

$$T_{шл} = \delta D / s.$$

В зависимости от требований к точности обработки линзы по диаметру и от твёрдости стекла по сошлифовыванию время шлифования $T_{шл}'$ изменяется:

$$T_{шл}' = T_{шл} k_1 k_2,$$

где k_1 – коэффициент, учитывающий требования к точности обработки линзы по диаметру:

Квалитет	6–7	8–12
k_1	1,4	1,2

k_2 – коэффициент, учитывающий твёрдость стекла по сошлифовыванию (H_s):

H_s	До 0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1
k_2	0,8	0,86	0,91	0,95	0,97	0,99	1,0

Последовательность определения элементов операции

1. Нахождение диаметров $D_{п1}$ и $D_{п2}$ центрировочных патронов; при одинаковых световых диаметрах поверхностей линзы диаметр патрона берётся на 0,2 мм меньше диаметра готовой детали; если одновременно с обработкой по диаметру наносят технологические и конструкторские фаски, используют тарельчатые патроны, диаметр которых должен быть рассчитан с учётом размера фаски и световых диаметров поверхностей линзы.

2. Расчет угла зажатия φ для линзы данного типа.

3. В зависимости от значения угла и заданной точности центрирования устанавливается категория сложности линзы – $K_{сл}$.

4. Установка линзы зажатием в патронах возможна, если угол для менисков будет не менее 23° , а для линз других типов – не менее 17° ; дополнительно проверяется условие

$$D > 0,4R_1R_2 / (R_1 + R_2).$$

5. При значениях угла φ , меньших критических, или невыполнении приведённого условия используется установка линзы приклеиванием к патрону; назначается способ контроля совмещения оптической оси линзы с осью вращения шпинделя станка.

6. Определение характеристики алмазного инструмента.

7. Исходя из диаметра линзы и требований к точности центрирования выбирается модель станка.

8. Расчет режима шлифования.

Список литературы

1. Андрейченко, К. С. Материаловедение оптического производства / К. С. Андрейченко. – Минск: Вышэйшая школа, 1988. – 140 с.
2. Бардин, А. Н. Технология оптического стекла / А. Н. Бардин. – Москва: Высшая школа, 1963. – 519 с.
3. Технология оптических деталей / В. Г. Зубаков [и др.]. – Москва: Машиностроение, 1985. – 368 с.
4. Козерук, А. С. Методическое пособие для выполнения курсового проекта по дисциплине «Технология производства оптических деталей» для студентов специальности «Технология оптического приборостроения»: в 2 ч. / А. С. Козерук. – Минск: БПИ, 1991. – Ч.1: Расчет инструмента для обработки оптических деталей. – 32 с.
5. Технология оптических деталей / М. Н. Семибратов [и др.]. – Москва: Машиностроение, 1978. – 415 с.
6. Справочник технолога-оптика / М.А. Окатов, [и др.]; под ред. М. А. Окатова. – 2-е изд., перераб. и доп. – Санкт-Петербург: Политехник, 2004. – 679 с.
7. Сулим, А. В. Производство оптических деталей / А. В. Сулим. – Москва: Высшая школа, 1975. – 315 с.

Учебное издание

ШАМКАЛОВИЧ Владимир Иванович
СТАРОСОТНИКОВ Николай Олегович
КОЗЕРУК Альбин Степанович
КУЗНЕЧИК Валерия Ольгеровна

**ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА
ОПТИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ**

Учебно-методическое пособие
по курсовому проектированию

Редактор *Т. Н. Микулик*
Компьютерная верстка *Е. А. Беспанской*

Подписано в печать 12.12.2017. Формат 60×84 ¹/₈. Бумага офсетная. Ризография.
Усл. печ. л. 5,70. Уч.-изд. л. 4,45. Тираж 100. Заказ 863.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет.
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя
печатных изданий № 1/173 от 12.02.2014. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.

