

Министерство образования Республики Беларусь
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра «Лазерная техника и технология»

А.С. Козерук

ТЕХНОЛОГИЯ ВЫСОКОТОЧНЫХ ОПТИЧЕСКИХ
ДЕТАЛЕЙ

Курс лекций для студентов специальности
1-38 01 02 «Оптико-электронные и лазерные приборы и системы»
специализации 1-38 01 02 01 «Оптические и оптико-электронные
приборы и комплексы»

Минск
БНТУ
2012

УДК 681.73.02(075.5)

ББК 32.86я7

К 59

Рецензенты:

Л.Д. Ковалев

Т.В. Колонтаева

Козерук, А.С.

К 59 Технология высокоточных оптических деталей: курс лекций для студентов специальности 1-38 01 02 «Оптико-электронные и лазерные приборы и системы» специализации 1-38 01 02 01 «Оптические и оптико-электронные приборы и комплексы» / А.С. Козерук. – Минск: БНТУ, 2012. – 62 с.

ISBN 978-985-525-630-5.

В пособии рассмотрены основные технологические факторы, влияющие на процесс формообразования высокоточных оптических деталей по методу свободного притирания. Изложена технология изготовления шаровидных деталей для микрооптики. Приведены современные методы контроля радиуса кривизны сферических поверхностей оптических деталей. Обсуждаются приемы изготовления эталонов для контроля высокоточных плоских и сферических поверхностей.

УДК 681.73.02(075.5)

ББК 32.86я7

ISBN 978-985-525-630-5

© Козерук А.С., 2012

© БНТУ, 2012

ГЛАВА 1. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ФОРМООБРАЗОВАНИЕ ВЫСОКОТОЧНЫХ ОПТИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ

1.1. Основные сведения о кинематике станков для обработки высокоточных оптических деталей

Слово «технология» происходит от греческого «технэ», означающего «искусство, мастерство, умение». Под технологией понимается совокупность способов и приемов достижения цели.

Станки для финишной обработки высокоточных оптических деталей по методу свободной притирки имеют один или несколько вертикальных шпинделей, на которые, в зависимости от условий обработки, закрепляют инструмент или блок. Инструмент или блок, закрепленные на шпинделе станка, называют нижним звеном. Для перемещений блока по инструменту (или наоборот) и передачи рабочего усилия на обрабатываемые детали станки снабжены механизмом верхнего звена.

Инструмент или блок крепят к шпинделю станка либо непосредственным навинчиванием их на шпиндель, либо через переходной патрон. Крепление блока или инструмента к механизму верхнего звена осуществляется с помощью поводка \mathcal{Z} с шаровым наконечником (рис. 1.1, *a* и *б*), который свободно входит в гнездо хвостовика инструмента или блока и прижимается к нему под действием рабочего усилия P . При вращении инструмента блок увлекается им в свободное вращение относительно оси поводка при обработке плоскостей (рис. 1.1, *a*) и оси O_1O_2 при обработке сферических деталей (рис. 1.1, *б*) с угловой скоростью ω_2 (ось O_1O_2 – прямая, проходящая через центр O_1 сферы инструмента или блока и центр O_2 шарика поводка). Кинематически скорость ω_2 зависит от скорости ω_1 . Теоретически можно полагать, что при обработке плоскостей $\omega_2 = \omega_1$, при обработке сфер $\omega_2 = \cos\alpha$ (рис. 1.1, *б*). Однако на скорость ω_2 оказывают влияние состояние абразивной суспензии на поверхности нижнего звена, момент трения поводка, величина площади соприкосновения верхнего и нижнего звеньев, случайные сопротивления, тормозящие блок и т. д. Поэтому скорость ω_2 непостоянна и составляет в среднем $(0,7-0,9) \omega_1$. Причем скорость ω_2 не может быть изменена при регулировании режима обработки.

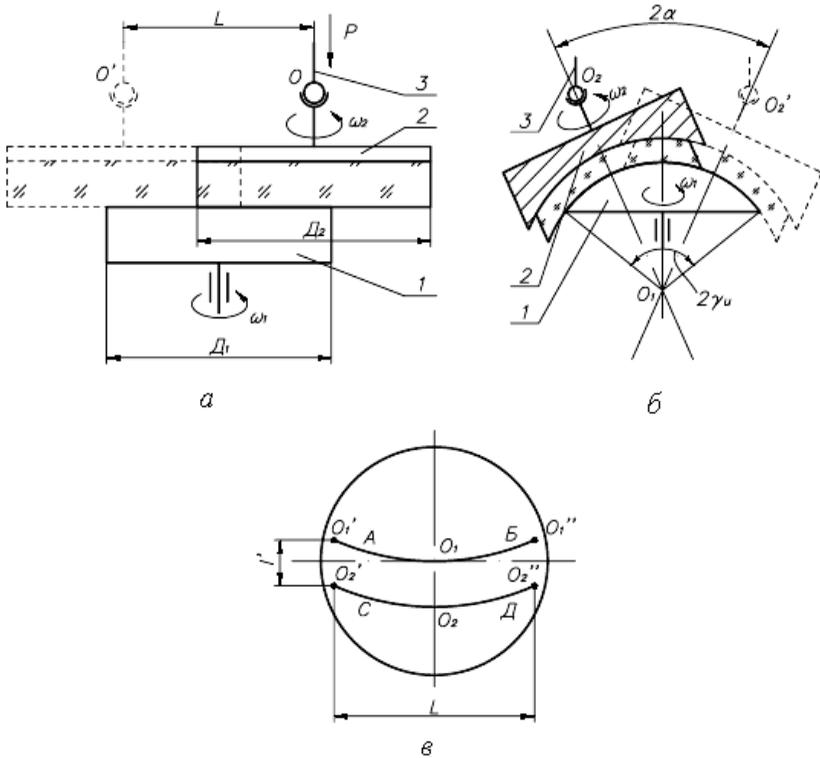


Рис. 1.1

Траекторию $O-O'$ центра O шара поводка при обработке плоскостей (рис. 1.1, а) и проекцию траектории $O_2 - O_2'$ на плоскость при обработке сфер (рис. 1.1, б) называют штрихом верхнего звена.

В случае обработки плоскостей расстояние L по хорде между крайними положениями поводка при его колебательном движении (рис. 1.1, а) принято называть абсолютной длиной штриха, а отношение длины L к диаметру нижнего звена D_1 – относительной длиной штриха.

При обработке сфер абсолютной длиной штриха называют угол 2α , образованный крайними положениями поводка (рис. 1.1, б), а относительной длиной штриха – отношение угла 2α к углу $2\gamma_u$ (или $2\gamma_b$), определяющему угловой размер нижнего звена.

Положение штриха может быть различным относительно оси шпинделя станка. Штрих может проходить через ось шпинделя (дуга АБ, рис. 1.1, в) и иметь смещения относительно нее (дуга СД). Различают три вида смещения: параллельное, перпендикулярное и комбинированное.

При параллельном смещении штрих $O_1O_1O_1''$ проходит через ось шпинделя, но не симметричен ей ($O_1O_1 \neq O_1O_1''$). Если штрих проходит от оси шпинделя на некотором расстоянии l и симметричен ей ($O_2O_2 = O_2O_2''$), то это смещение называют перпендикулярным. Комбинированное смещение штриха представляет собой сочетание параллельного и перпендикулярного смещений.

1.2. Влияние относительной линейной скорости при обработке плоскостей

1.2.1. Способы оценки кинематического срабатывания при различных условиях обработки

Знание закономерностей изменения линейной относительной скорости различных точек поверхностей блока или инструмента позволяет оценить величину срабатывания этих поверхностей в зависимости от влияния данного фактора обработки (от скорости скольжения). Такое срабатывание называют кинематическим. Его оценку можно произвести построением эпюр (отрезков) Δ , являющихся либо функцией относительной линейной скорости v_0

$$\Delta = f(v_0), \quad (1.1)$$

либо функцией путей l , проходимых точками за определенное время обработки

$$\Delta = f(l). \quad (1.2)$$

Рассмотрим различные схемы кинематического срабатывания инструмента и детали. При этом необходимо проанализировать, в каких случаях целесообразнее строить эпюру кинематического срабатывания по отрезкам, пропорциональным длинам путей, а в каких по отрезкам, пропорциональным относительным скоростям.

Пусть, например, плоская деталь 1 в виде прямоугольного треугольника ABC (рис. 1.2, a) перемещается в процессе обработки по неподвижному инструменту 2 в направлении стрелки 3 со скоростью v_0 . Тогда кинематическое срабатывание всех точек детали 1, полностью перекрываемой инструментом 2, будет постоянно и пропорционально времени (пути) перемещения (заштрихованная фигура детали 1 в верхней части рисунка).

По-другому будет срабатываться инструмент 2 при воздействии на него детали 1 в виде треугольника ABC . За одно и то же время t перемещения детали 1 над точкой 4 инструмента 2 пройдет только одна точка C детали, а над точкой 5 инструмента – множество точек детали в виде прямой AB . Следовательно, срабатывание инструмента 2 в зоне перемещения детали 1 будет неравномерным и зависит от степени перекрытия инструмента деталью.

Если поверхности детали 1 и инструмента 2 в процессе обработки полностью перекрывают друг друга и встречно вращаются (рис. 1.2, b), то их общее кинематическое срабатывание в любой точке (например, в точке A) пропорционально алгебраической разности линейных скоростей детали и инструмента, эпюры которых приведены в нижней части рисунка т.е.

$$v_0 = v_0^{(1)} - (-v_0^{(2)}) = r_A(\omega_1 + \omega_2), \quad (1.3)$$

где r_A – расстояние от точки O до точки A (см. рис. 1.2, b).

Пусть на рис. 1.2, b деталь 1 неподвижна, а инструмент 2 вращается с угловой скоростью ω_2 . Анализ этого рисунка показывает, что эпюру кинематического срабатывания детали целесообразно строить по скоростям, а эпюру инструмента – по длинам путей. Учитывая это, замечаем, что максимальное кинематическое срабатывание детали 1 будет в точке 3, а минимальное – в точке 4, так как оно пропорционально только скорости $v = \omega_2 r_m$, где r_m – расстояние между точкой m обрабатываемой поверхности детали 1 и осью вращения инструмента 2.

Поскольку точки 5, 6, 7 инструмента 2 соприкасаются с поверхностью детали 1 только частично, проходя пути, равные дугам соответственно ВГ, ДЕ, ЖЗ, то максимальное кинематическое срабатывание инструмента 2 будет в точке 6, проходящей наибольший путь ДЕ при соприкосновении с деталью 1.

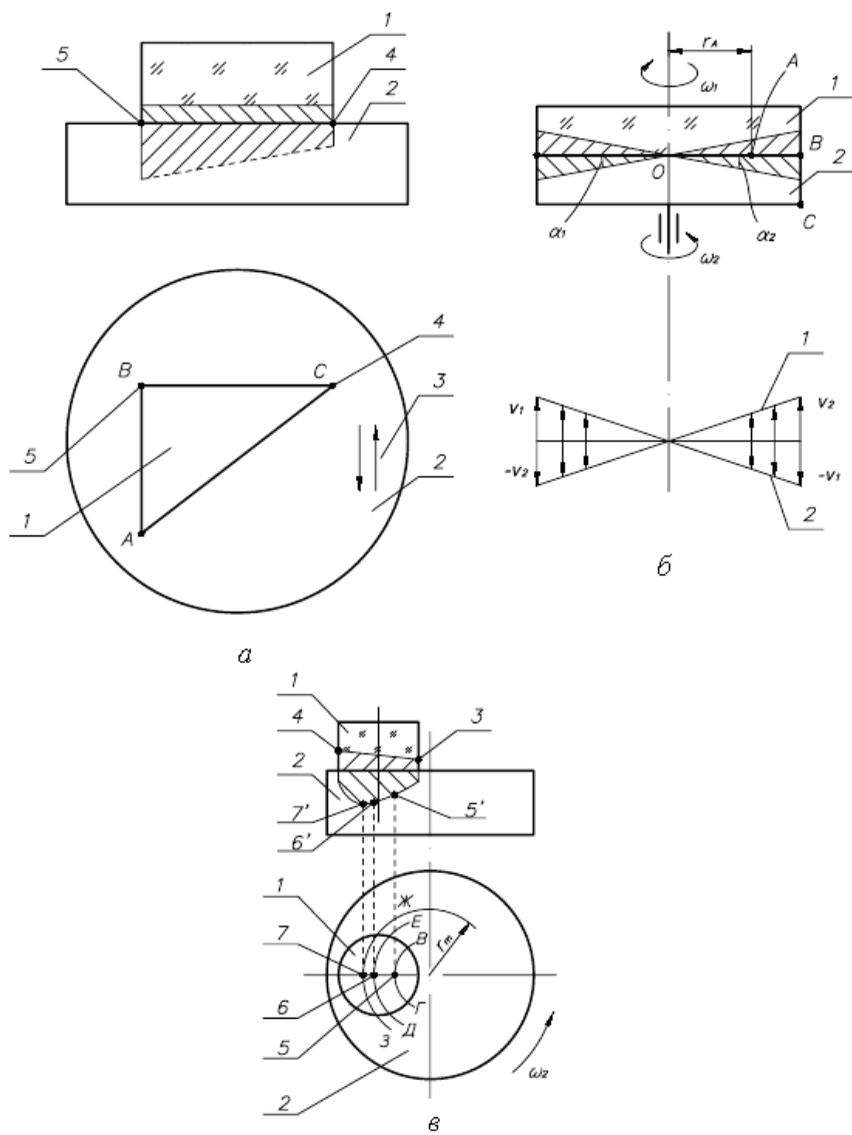


Рис. 1.2

1.2.2. Поступательное движение плоской детали по неподвижному инструменту

Данное движение возможно при ручной доводке детали 2 по инструменту 1 (рис. 1.3, а). В этом случае траектории всех точек поверхности детали параллельны друг другу и она срабатывается равномерно (участок А на детали 2), поскольку все точки находятся в одинаковых условиях. При движении детали 2 на инструменте 1 будет срабатываться участок Б (см. сечение по В-В), причем максимальное кинематическое срабатывание будет в середине участка, а минимальное – на краях. В результате инструмент будет изборожден канавками. Поэтому для равномерного срабатывания инструмента необходимо перемещать деталь по всей его поверхности, непрерывно меняя направление или вращая инструмент.

Если диаметры инструмента и детали близки по величине или равны, то в процессе обработки края детали будут выходить за края инструмента (рис. 1.3, б и в). Когда штрих детали симметричен относительно центра инструмента (см. рис. 1.3, б), на обеих плоскостях образуется непрерывно обрабатываемая центральная зона Г, в то время как крайние зоны Д некоторое время не будут соприкасаться друг с другом. Вследствие этого поверхности детали и инструмента получаются вогнутыми. Если штрих детали направлен в одну сторону от центра инструмента (см. рис. 1.3, в), то кинематическое срабатывание краев дисков будет несимметричным.

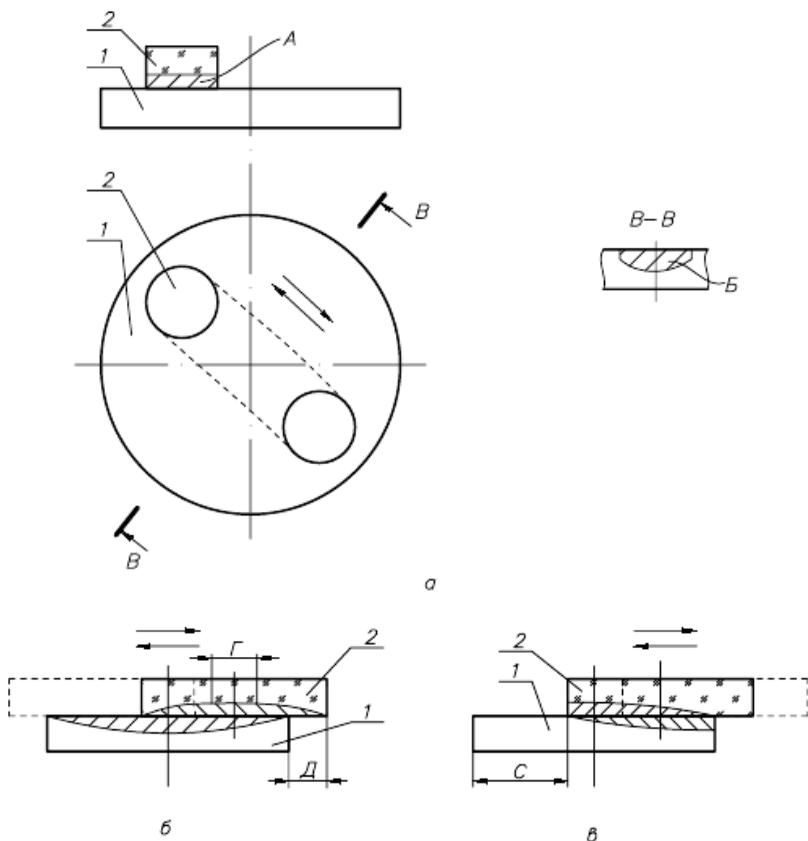


Рис. 1.3

1.2.2. Влияние относительной линейной скорости при обработке сферических деталей

В случае ручной обработки линз с помощью вращающегося инструмента кинематическое срабатывание детали пропорционально скорости $v = \omega_1 r$ и, следовательно, оно неравномерно (r – расстояние от оси вращения инструмента до рассматриваемой точки на детали). Эпюры срабатывания поверхностей деталей, представленные на рис. 1.4, а, показывают, что при вращении инструмента минимальное срабатывание поверхности детали будет при ее расположении на вершине гриба, а максимальное – на его краю.

Более равномерное срабатывание поверхности деталей можно получить при дополнительном их вращении вокруг своей оси (скорость ω_2). Однако обработка заготовки на одном и том же участке поверхности инструмента, как и при обработке плоскости, приводит к неравномерному его срабатыванию. Поскольку в данном случае условия срабатывания инструмента такие же, как и на рис. 1.2, в, то на обрабатываемой поверхности появится кольцевая зона M с несимметричным профилем. Поэтому обработка детали на одном и том же участке поверхности инструмента недопустима. Деталь должна совершать дополнительное движение (скорость ω_3) через вершину инструмента.

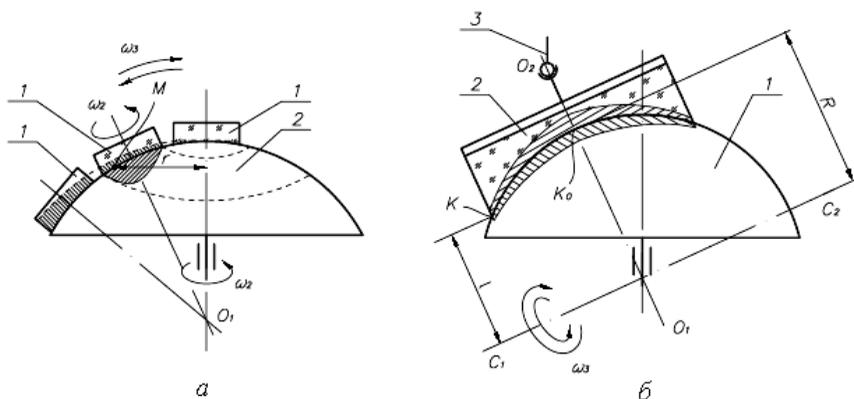


Рис. 1.4

При обработке сферических деталей, когда поводок совершает колебательное движение, кинематическое срабатывание поверхности заготовки в произвольной точке K пропорционально линейной относительной скорости:

$$v_K = \omega_3 \cdot l, \quad (1.4)$$

где l – длина нормали, опущенной из точки K на мгновенную ось C_1C_2 . Следовательно, если учитывать только колебательное движение детали 2, то максимальное кинематическое срабатывание ее поверхности будет в точке K_0 на оси симметрии, так как в этом случае длина l максимальна и равна R .

1.2.3. Влияние давления при обработке плоскости

Определим закономерность срабатывания детали и инструмента в зависимости от рабочего усилия на поводке (рис. 1.5).

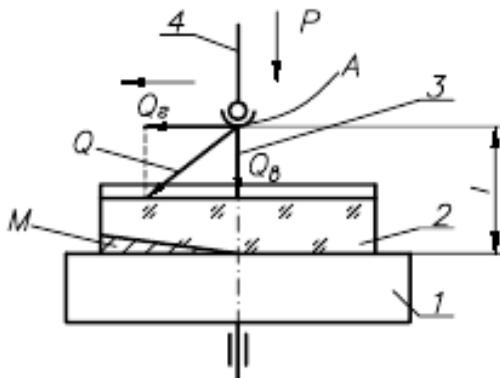


Рис. 1.5

Сила Q , оказывающая давление на деталь, приложена к точке A контакта шарового наконечника поводка 4 с хвостовиком 3 наклепного инструмента. Эту силу можно разложить на две составляющие: Q_{Γ} и $Q_{\text{в}}$.

Наличие расстояния l между точкой A и притирающимися поверхностями вызывает образование опрокидывающего момента $Q_{\Gamma} \cdot l$, прижимающего при движении детали ее переднюю часть к поверхности инструмента. Вследствие этого давление на край детали будет увеличиваться, что приведет к более сильному его срабатыванию, т. е. образуется «завал края» M . Этот завал можно ослабить, если уменьшить момент $Q_{\Gamma} \cdot l$, т. е. приблизить точку A приложения силы Q к обрабатываемой поверхности, или обеспечить выход детали за край инструмента. В последнем случае края детали будут меньше времени соприкасаться с инструментом, чем середина. Вес же детали и величина силы Q будут действовать на меньшую площадь обрабатываемой поверхности, в результате чего срабатывание средней ее части усиливается по отношению к выступающим краям, компенсируя влияние момента $Q_{\Gamma} \cdot l$. Одновременно с этим

сильнее срабатываются края инструмента. В случае вращения последнего и выхода детали за его край еще сильнее срабатываются середина детали и край инструмента вследствие большей линейной скорости на его краях.

1.2.5. Влияние неравномерного измельчения абразивных зерен

В процессе обработки оптических деталей на станках модели ШП (ПД) абразивная суспензия наносится на периодически открывающиеся края блока (инструмента). При этом более крупные зерна усиленно обрабатывают края блока, в то время как в его среднюю зону поступают несколько измельченные зерна с более низкой шлифующей (полирующей) способностью. В результате на операции полирования появляются завалы краев (сорван край), а при шлифовании качество на периферии детали становится более грубым по сравнению с серединой.

Неравномерность измельчения абразивных зерен уменьшается при подаче суспензии через центр блока. Кроме того, влияние данного фактора в определенной степени компенсируется выходом краевой зоны блока за край инструмента.

1.2.6. Влияние корректировки поверхности инструмента и величины размаха

Поскольку при обработке по методу свободного притирания интенсивность съема припуска с заготовки зависит от величины активной поверхности инструмента, то, изменяя размер последней путем механической обработки, можно регулировать величину срабатывания детали в соответствующих зонах. «Подрезанные» зоны инструмента будут действовать на стекло менее интенсивно, и участки детали, соответствующие данным зонам, будут обрабатываться медленнее. Местная правка инструмента для регулирования процесса шлифования – операция довольно сложная, поэтому ее применяют редко. Значительно выгоднее вести обработку без подрезки шлифовальника, применяя соответствующую настройку станка (изменять величину размаха или смещать поводок). Подрезка же смоляных полировальников исключительно эффективна и обеспечивает точное регулирование процесса полирования.

В случае, когда инструмент находится снизу (закреплен на шпинделе станка), а деталь сверху (совершает возвратно-вращательное движение), увеличение размаха (удлинение штриха) приводит к усилению срабатывания центральной зоны детали вследствие большей линейной скорости инструмента на его периферии и выхода краевой зоны детали за край инструмента. В срабатывании инструмента наблюдается обратная закономерность.

Следовательно, при обработке оптических деталей по методу свободного притирания необходимо учитывать, что поверхность верхнего звена всегда срабатывается на «яму», а нижнего – на «бугор».

1.2.6. Влияние количества двойных ходов верхнего звена и способа подачи абразивной суспензии

При правильно подобранном диаметре инструмента увеличение количества двойных ходов верхнего звена усиливает обработку в центральной зоне детали.

Интенсивность съема стекла при автоматической подаче обрабатываемой суспензии примерно в 1,5 раза больше, чем при ручной подаче. В то же время при подаче суспензии через центр блока съем стекла примерно в 1,5 раза больше, чем при подаче через край. Неравномерность срабатывания поверхностей при автоматической подаче суспензии больше, чем при ручной, что проявляется в образовании местных ошибок на стадии полирования.

1.3. Сущность метода свободного притирания

Сущность метода заключается в том, что две поверхности при взаимном притирании самоисправляются и приобретают правильную геометрическую форму одинаковой кривизны: либо сферическую (одна выпуклая, другая вогнутая), либо плоскую. Причем на стадии шлифования заготовка притирается к обрабатываемой поверхности твердого шлифовальника, а при полировании мягкие подложки полировальника притираются к шлифованной поверхности заготовки стекла.

Обработка деталей методом притирания обеспечивает максимальную точность по сравнению с другими методами. Этот способ является весьма старым и получил название «классического».

Метод свободного притирания определяется наличием нескольких признаков.

1. Контакт притирающихся поверхностей инструмента и заготовки обеспечивается силовым замыканием.

2. Одна из притирающихся поверхностей самоустанавливается на другой благодаря наличию шарового шарнира.

3. Наладочные параметры станка выбирают так, чтобы все точки на притирающихся поверхностях инструмента и детали находились в многократном аperiodическом контакте.

Свободным притиранием можно на грубом оборудовании и грубым инструментом получать весьма точные поверхности.

1.4. Технологическое оборудование для одновременной двусторонней обработки линз с тонким центром

При формообразовании высокоточных линз по классической технологии односторонней обработки заготовки деталей закрепляют (блокируют) на приспособление наклейным веществом (в большинстве случаев наклейной смолой), которое поочередно наносят на каждую из исполнительных поверхностей.

Недостатком такого метода крепления является деформация деталей с тонким центром (двояковогнутые и плосковогнутые линзы и отрицательный мениск). Эта деформация обусловлена тем, что блокировка сопровождается нагревом заготовки и наклейного вещества, которые при остывании из-за различных значений ТКЛР сокращаются на разную величину. В результате заготовка в блоке находится в напряженном (упругодеформированном) состоянии. И если ее точно обработать, а затем удалить наклейное вещество, то упругая деформация стекла снимается, вызывая изменение той точности, которая была достигнута на заблокированной детали, т. е. возникает погрешность формы обработанной поверхности.

На практике отмеченную погрешность уменьшают так называемой «разгрузкой» линзы, при которой в центральную зону заготовки помещают бумажную прокладку небольшого диаметра. При этом исключается адгезия (прилипание) смолы к стеклу в центральной зоне заготовки, что способствует уменьшению деформации последней. Исключение составляют линзы с малой относительной толщиной (0,05 и меньше).

Перечисленных недостатков можно избежать при одновременной двусторонней обработке линз. В таком случае на исполнительные поверхности деталей наносить наклеечное вещество не требуется, что исключает деформацию заготовки.

Двусторонняя обработка линз с тонким центром может быть реализована на технологическом оборудовании, представляющим собой модернизированный станок мод. ШП (ПД).

Принципиальная кинематическая схема станка ШП (ПД) показана на рис. 1.6.

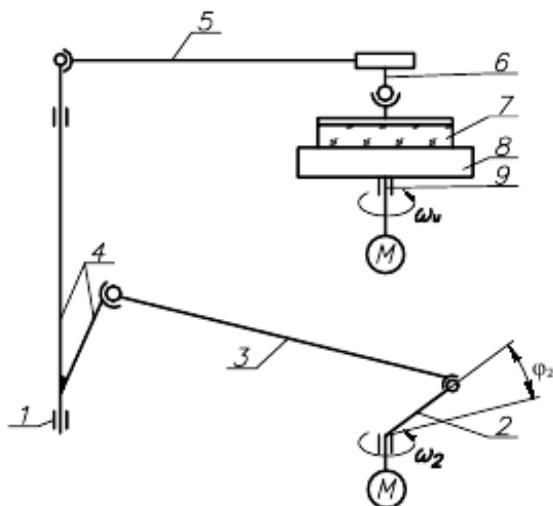


Рис. 1.6

Звенья 1, 2, 3, 4 станка образуют плоский механизм, называемый кривошипно-шатунным или шарнирным четырехзвенником. В данном случае кривошип переменной длины 2 является ведущим звеном и его удобно выбрать в качестве входного. Если известен закон движения кривошипа в виде функции $\varphi_2 = \varphi_2(t)$ где φ_2 – угол поворота кривошипа, то остальные звенья будут двигаться вполне определенным образом, зависящим от функции $\varphi_2(t)$. Таким образом, угол φ_2 однозначно определяет положение звеньев шарнирного четырехзвенника и поэтому может быть выбран в качестве обобщенной координаты этого механизма.

Механизм шарнирного четырехзвенника работает следующим образом. Вращение кривошипа 2 через шатун 3 преобразуется в возвратно-вращательное движение звена 4 и штанги 5 (выходное звено, установленное с возможностью качания в вертикальной плоскости). Последняя через поводок 6 вызывает возвратно-вращательное перемещение верхнего звена 7 относительно нижнего 8, закрепленного на шпинделе станка 9.

Модернизированные варианты станка мод. ШП (ПД) для одновременной двусторонней обработки линз с большим («слабым») и малым («сильным») радиусами приведены соответственно на рис. 1.7 и 1.8.

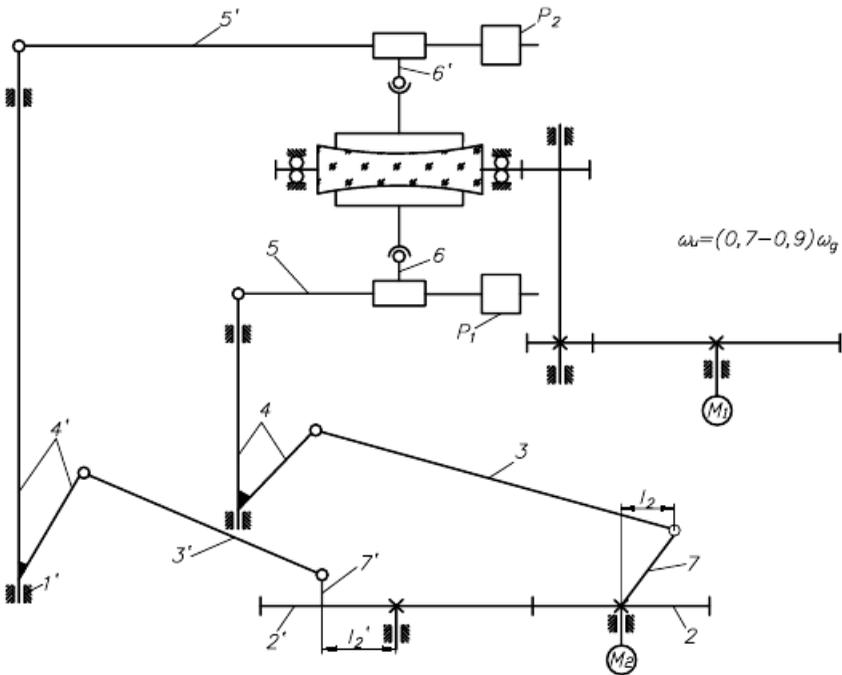


Рис. 1.7

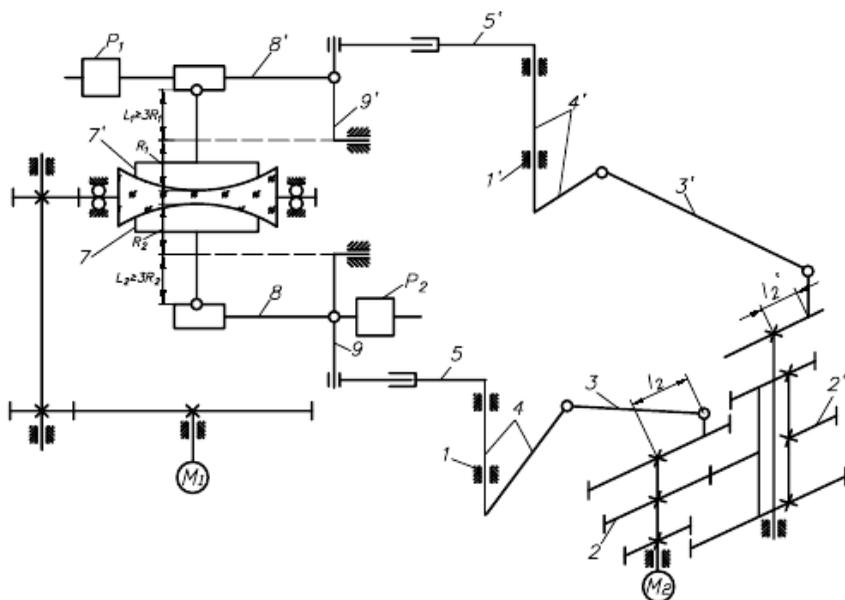


Рис. 1.8

1.5. Блокировка линз при одновременной двусторонней обработке

Как видно из рис. 1.9, наклеечная оправка 1 с посадочным отверстием для линзы должна иметь такую конфигурацию, чтобы она свободно помещалась между продолжениями обрабатываемых поверхностей А и Б линзы 2.

При блокировке линзу вместе с наклеечной оправкой устанавливают на подставку 3 с круговой канавкой. Размеры последней должны быть такими, чтобы наклеечная оправка располагалась примерно посередине боковой поверхности линзы. При этом оправку необходимо центрировать относительно оси линзы.

Подставку вместе с линзой и оправкой нагревают до температуры плавления наклеечной смолы, которую в виде шариков 4 (8–10 шт.) диаметром 2–3 мм помещают в зазор между линзой и оправкой. После расплавления смоляных шариков подставку с линзой и оправкой охлаждают.

Рассмотренный метод крепления линзы не вызывает ее деформации.

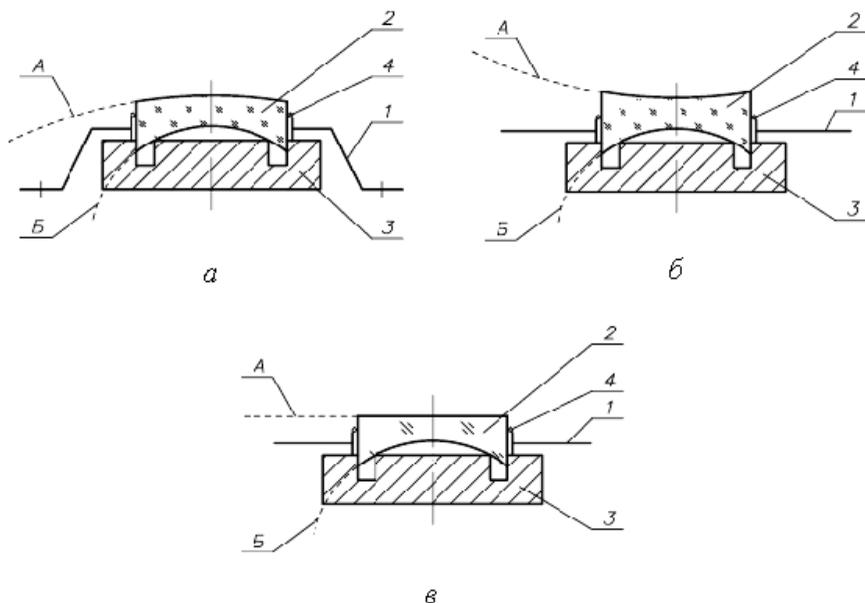


Рис. 1.9

ГЛАВА 2. ОБРАБОТКА ОПТИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ ПО МЕТОДУ «СИНХРОСПИД»

2.1. Сущность метода «Синхроспид»

Название метода «Синхроспид» относится к системе, включающей в себя специальный тип станков, инструменты и ЭВМ с программой для определения регулируемых параметров технологического оборудования и инструментов, зависящих от характеристики обрабатываемой детали.

Сущность метода «Синхроспид» состоит в том, что в процессе обработки инструмент и заготовка точно расположены по отношению друг к другу и индивидуально приведены во вращение, т. е. отсутствует перемещение верхнего звена относительно нижнего.

В методе «Синхроспид» тонкое шлифование и полирование выполняют инструментами, на корпусе которых наклеены соответственно алмазные таблетки и полировочная пленка толщиной 0,5

мм (инструменты 1 и 2 на рис. 2.1). Для настройки шлифовальника на требуемый радиус кривизны используют дополнительный наладочный инструмент 3, которым также прижимают полировочную пленку при ее наклеивании на корпус полировальника.

Правку полировальника с целью придания ему заданного радиуса производят корректирующим инструментом (правильником) с наклеенными алмазонасными таблетками (инструмент 5). Для настройки этого правильника используют дополнительный наладочный инструмент 4.

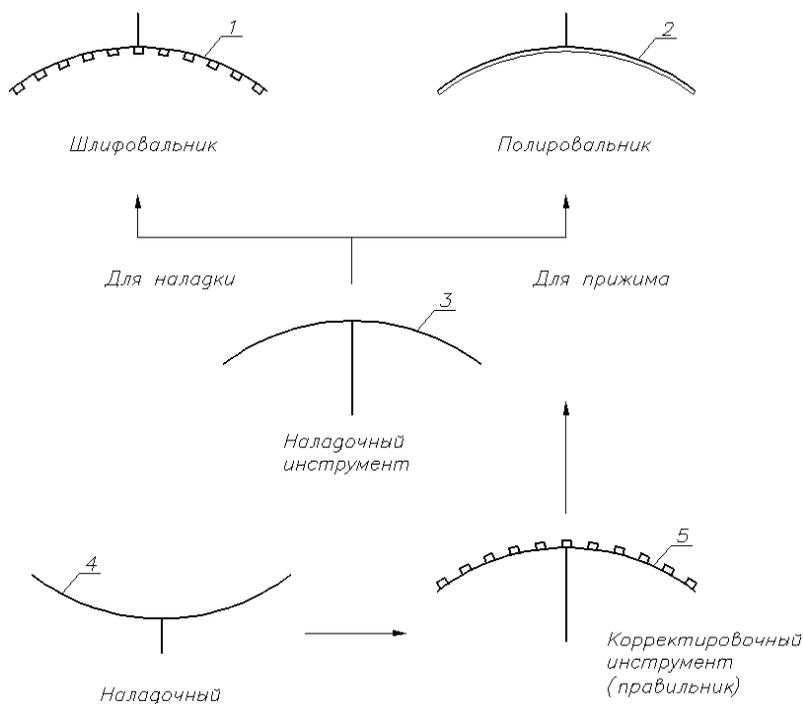


Рис. 2.1

Следовательно, для каждой поверхности линзы необходимо использовать дополнительно три вспомогательных высокоточных инструмента, доводка и правка которых осуществляется при помощи рычажных станков типа ШП опытным оптиком, выполняющим

функции оптика-инструментальщика. Наладка инструментов должна проводиться с большой тщательностью, поскольку их точность обеспечивает в методе «Синхроспид» заданный уровень качества и точности оптических поверхностей (деталь копирует форму инструмента), в то время как в условиях свободного притирания данная взаимосвязь проявляется в значительно меньшей степени. Кроме того, метод «Синхроспид» может быть реализован только на прецизионном технологическом оборудовании, позволяющем точно устанавливать регулируемые параметры, что практически не требуется в методе свободной притирки.

2.2. Обработка плоских поверхностей

Рассмотрим рис. 2.2, на котором деталь 2 установлена с эксцентриситетом e относительно инструмента 1 и в процессе обработки не совершает переносного (осциллирующего) движения. При этом инструмент и деталь вращаются попутно с угловыми скоростями соответственно ω_1 и ω_2 .

Выделим произвольную точку M на обрабатываемой поверхности и определим в ней вектор скорости скольжения $\vec{V}_{СК}$:

$$\vec{V}_{СК} = \vec{V}_2 - \vec{V}_1, \quad (2.1)$$

где $\vec{V}_2 = \vec{\omega}_2 \cdot \vec{r}_2$ и $\vec{V}_1 = \vec{\omega}_1 \cdot \vec{r}_1$ – векторы линейной скорости верхнего и нижнего звеньев в рассматриваемой точке M , расположенной на расстоянии \vec{r}_2 и \vec{r}_1 от осей вращения детали и инструмента соответственно.

Поскольку, как видно из рис. 2.2, справедливо векторное равенство

$$\vec{r}_2 = \vec{e} + \vec{r}_1,$$

то в случае, когда $\omega_2 = \omega_1$ выражение (2.1) принимает вид

$$\vec{V}_{CK} = \vec{\omega} \cdot \vec{e}, \quad (2.2)$$

где $\vec{\omega}$ – вектор угловой скорости инструмента и заготовки.

Следовательно, если инструмент и заготовка, установленные с эксцентриситетом, вращаются однонаправленно с равными скоростями, то величина скорости скольжения во всех точках на обрабатываемой поверхности будет одинаковой.

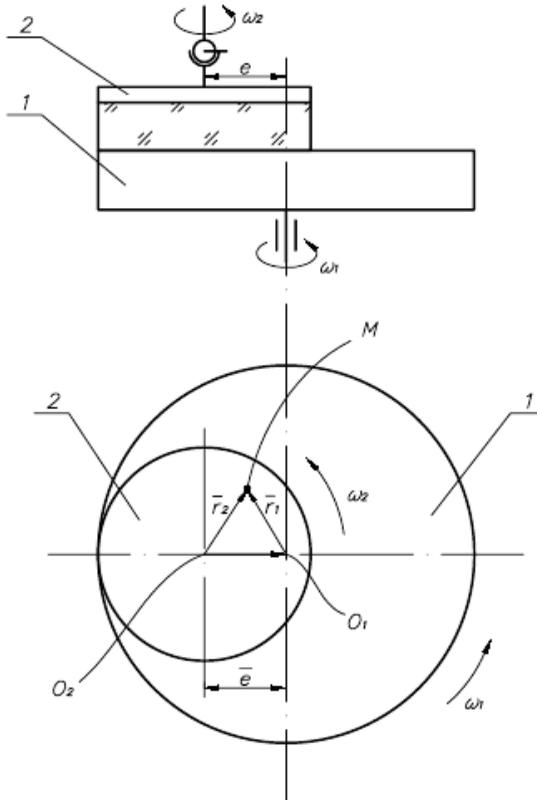


Рис. 2.2

Кроме отмеченного, при реализации данного метода выполняют также оптимизацию рабочей поверхности инструмента. При этом исходят из того, что активная поверхность инструмента должна

иметь такую форму, чтобы ее суммарная длина на каждой из концентрических окружностей равнялась длине той части этой окружности, которая контактирует с деталью.

В качестве примера оптимизации рабочей поверхности плоского инструмента 1, на котором установлена деталь 2, рассмотрим рис. 2.3, где S_0 – площадь постоянного контакта соприкасающихся поверхностей, S_1 – площадь кольцеобразной зоны инструмента, частично соприкасающегося с заготовкой на серповидном участке площадью S_2 . По условиям оптимизации форма рабочей поверхности инструмента должна быть такой, чтобы суммарная длина его активных площадок на окружности радиусом R_i , произвольно выбранной вне зоны постоянного контакта, равнялась длине дуги ABC.

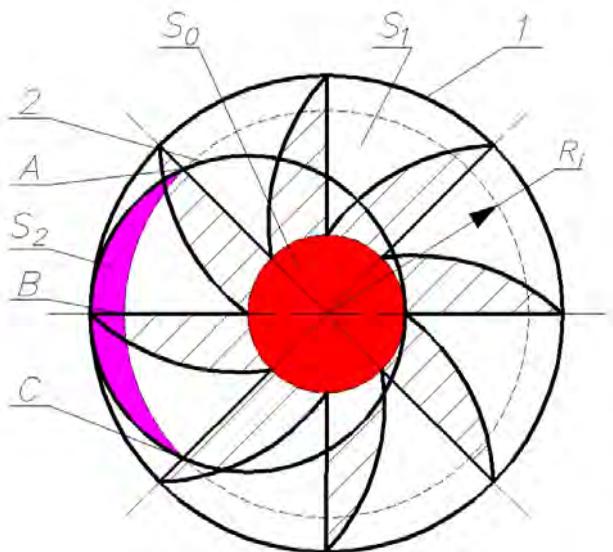


Рис. 2.3

2.3. Обработка сферических поверхностей по методу «Синхроспид»

При обработке сферических деталей по методу «Синхроспид» также необходимо добиться наиболее равномерного распределения скоростей скольжения по формируемой поверхности. Для выяснения условий, обеспечивающих это требование, рассмотрим рис. 2.4, где деталь 2 с углом раствора α установлена под углом β к оси инструмента 1.

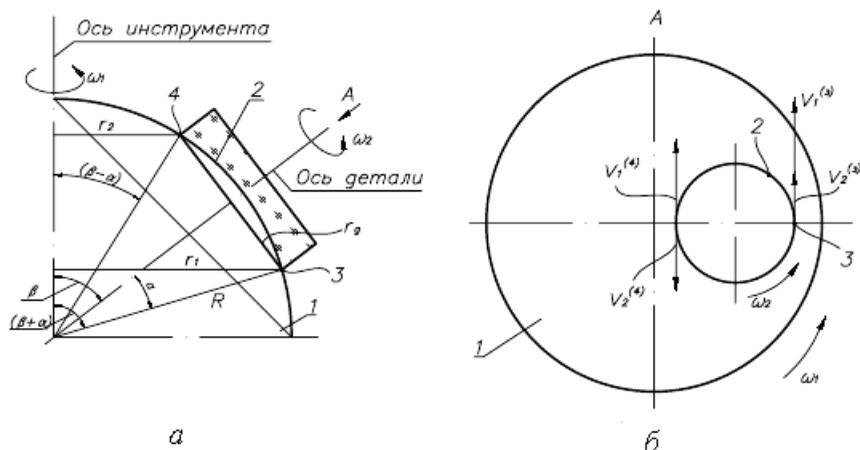


Рис. 2.4

Принимаем, что скорости скольжения в точках 3 и 4 V_{CK3} и V_{CK4} равны между собой. Поскольку, как видно из рис. 2.4

$$V_{CK4} = R \sin(\beta - \alpha) \omega_1 + R \sin \alpha \omega_2,$$

$$V_{CK3} = R \sin(\beta + \alpha) \omega_1 + R \sin \alpha \omega_2,$$

то, приравняв эти выражения

$$2 \sin \alpha \omega_2 = \omega_1 [\sin(\beta + \alpha) - \sin(\beta - \alpha)],$$

получим соотношение

$$\frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{\sin(\beta + \alpha) - \sin(\beta - \alpha)}{2\sin\alpha},$$

из которого следует, что

$$\frac{\omega_2}{\omega_1} = \cos\beta. \quad (2.3)$$

Таким образом, в случае обработки линз по методу «Синхроспид» величина угла между осями вращения заготовки и инструмента зависит от соотношения скоростей их вращения.

ГЛАВА 3. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ШАРОВИДНЫХ ДЕТАЛЕЙ ИЗ СТЕКЛА

3.1. Предварительная обработка шариков по классической технологии

Положительные линзы с радиусами кривизны менее 15 мм составляют класс оптических деталей, обрабатываемых по технологии получения шаровидных деталей. Необходимость разработки этой технологии вызвана большой трудоемкостью обработки обычными средствами таких деталей с погрешностью оптических поверхностей $N \leq 1$, $\Delta N \leq 0,1$ и чистотой P не грубее 2-го класса.

Характерной особенностью изготовления деталей данного класса по технологии получения шаровидных деталей является шлифование и полирование сферической поверхности в свободном состоянии, т. е. без закрепления заготовок на наклеечном приспособлении.

Заготовки будущих шариков делают в виде кубиков, которым в результате грубого шлифования (галтовки) придают предварительную форму шара.

Первая стадия обработки выполняется на специальном станке типа центрифуга (рис. 3.1), состоящем из цилиндрического неподвижного корпуса 1, шпинделя 2, с закрепленным на нем абразивным кругом 3, и крышки 4.

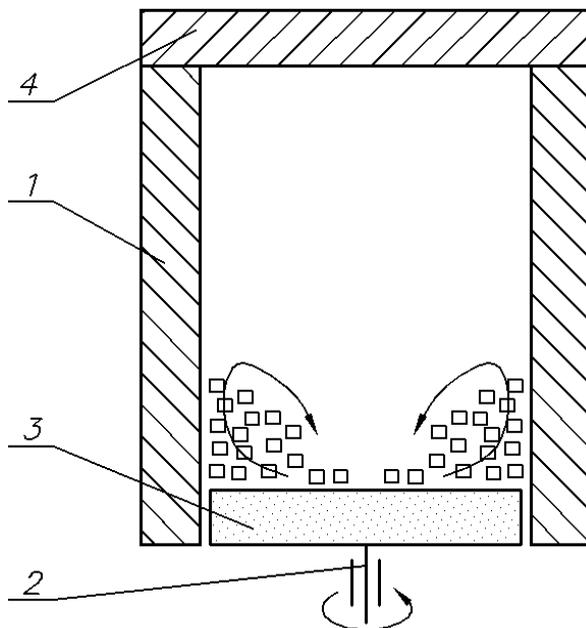


Рис. 3.1

Кубики, находящиеся на вращающемся шлифовальном круге 3, вследствие трения о его поверхность получают вращательное движение. Одновременно под действием центробежной силы кубики перемещаются к внутренней поверхности неподвижного корпуса 1. При этом нижние постепенно перемещаются кверху. Самый верхний ряд кубиков скатывается на центральную зону круга, свободную от кубиков. Такое постоянное перемешивание заготовок обеспечивает их обработку по периметру. Партия загрузки составляет 200–1500 кубиков. Время обработки, в зависимости от размера кубиков, составляет 6–15 часов.

Недостатком этого способа формообразования шариков является отсутствие гарантированного многоосного (трехосного) вращения кубиков в рабочей зоне станка, в результате чего форма обработанных заготовок имеет невысокую степень приближения к шаровидной. Данному недостатку способствует также плоский профиль рабочей поверхности инструмента. В таком случае имеется высокая вероятность

контактирования кубика с инструментом своими гранями, а не ребрами, что необходимо для образования шара из куба. Кроме этого, многие заготовки разрушаются при соударении друг с другом, что существенно снижает выход годных изделий. К недостаткам рассматриваемого способа следует отнести также невозможность проведения активного контроля диаметра обрабатываемых шариков (контроля непосредственно в процессе изготовления), следствием чего является получение шариков с отклонением от сферической формы и разноразмерностью до 1,8 мм в пределах партии.

Целью второй стадии операции предварительной обработки является придание всей партии заготовок шариков правильной геометрической формы и одинакового размера.

Обработку заготовок выполняют на полуавтомате (рис. 3.2).

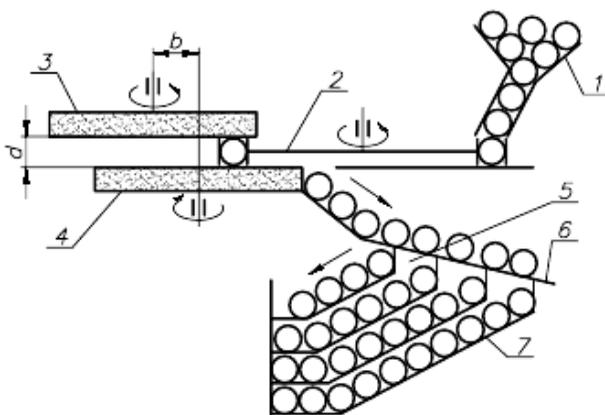


Рис. 3.2

Шарики из вибробункера 1 по лотку попадают в отверстие сепаратора 2, вращающегося с постоянной скоростью вокруг оси O_1 . Увлекаемые сепаратором шарики перемещаются в зазоре между двумя вращающимися навстречу один другому абразивными кругами 3 и 4, оси вращения O_2 и O_3 которых смещены на величину b . Эксцентриситет b способствует тому, что шарикам придается сложное вращательное движение, обеспечивающее получение ими правильной геометрической формы. Диаметр шариков регулируется величиной зазора d между абразивными кругами. Прошедшие обра-

Инструменты расположены соосно с зазором, величину d_0 которого устанавливают равной диаметру готового шарика. На верхнем инструменте укреплен полый цилиндр 4, снабженный камерой расширения 5 с тангенциальными соплами 6 в его боковой поверхности, а на нижнем – кольцо 7, которое направляет готовые шарики, выходящие из рабочей зоны, в наклонную канавку 8. Для выхода отработанного воздуха между кольцом 7 и инструментом 1 имеется зазор шириной h .

Устройство работает следующим образом. Заготовки 9 в виде кубиков с размером ребра a помещают в рабочую зону и открывают вентиль 10. В результате сжатый воздух от воздушной сети через регулятор давления 11 по воздухопроводу 12 попадает в камеру расширения 5 и, проходя через тангенциальные сопла 6, разгоняет заготовки 9 до рабочей переносной скорости вокруг общей оси симметрии инструментов 1 и 2 вдоль алмазосного рабочего участка. В результате заготовки 9 приобретают шаровидную форму диаметром d (шарик 13). В процессе дальнейшего формообразования шарики принимают окончательный размер диаметром d_0 (шарик 14) и после выхода из рабочей зоны по наклонной канавке 8 скатываются в сторону отверстия 15 в инструменте 2, через которое направляются на последующую операцию.

3.3. Классические методы шлифования и полирования стеклянных шариков

3.3.1. Шлифование

Шлифование выполняют на станке (рис. 3.4), нижнее звено которого представляет собой планетарно перемещающуюся планшайбу 1 с наклеенной листовой резиной 2.

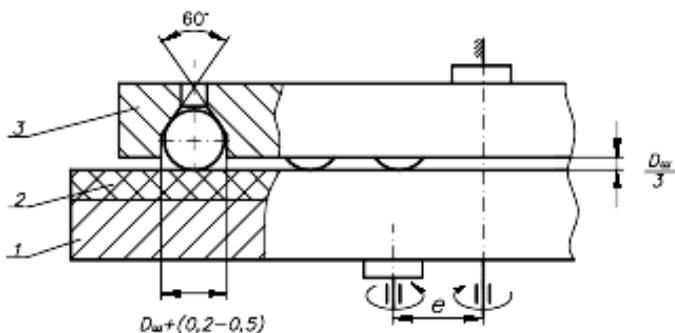


Рис. 3.4

Верхним звеном является неподвижно закрепленный латунный шлифовальник 3, в котором высверлены сквозные фигурные отверстия. Нижняя часть последних имеет диаметр $D = D_{ш} + (0,2-0,5)$ мм, в зависимости от размера зерен применяемого абразива. Средняя часть имеет коническую форму с углом 60° . Глубину конического отверстия выполняют такой, чтобы обеспечить выступание шариков наружу на $1/3 D_{ш}$. Так как коэффициент трения стекла о резину больше, чем стекла о латунь, то шарики начинают свободно вращаться в конических лунках. Коническая поверхность выполняет функцию шлифовальника переменного радиуса кривизны. Реализация многоосного вращения шарика в лунке осуществляется планетарной кинематикой станка, обеспечивающей одинаковый съем припуска со всех заготовок. Шлифование выполняют абразивной суспензией М20, М14, М7 в три перехода. Суспензию подают сверху через цилиндрическую часть отверстий шлифовальника.

Эксцентриситет e планетарной передачи изменяют в зависимости от требуемой интенсивности процесса шлифования. С увеличением эксцентриситета скорость обработки возрастает.

Недостатком шлифования по рассматриваемой схеме является разноразмерность обрабатываемых шариков в партии. Эта погрешность возникает из-за того, что поступающие с предыдущей операции шарики непременно отличаются по диаметрам, а устройство не обеспечивает возможность управления величиной съема припуска с деталей, находящихся в той или иной зоне шлифовальника. Кроме этого, технически сложно выполнить одинаковую глубину конической части всех отверстий в шлифовальнике.

3.3.2. Полирование

Полирование осуществляют на станке (рис. 3.5) в два перехода при помощи двух полировальников.

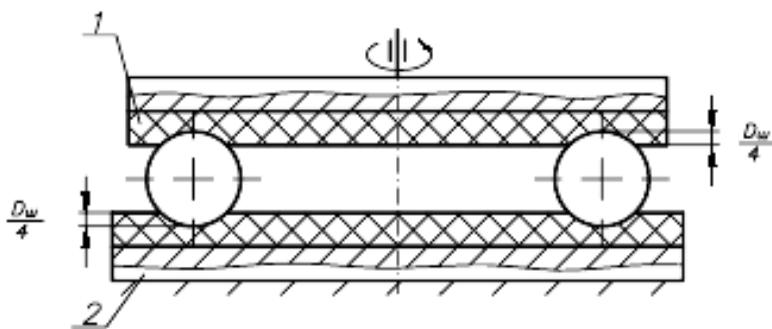


Рис. 3.5

Верхний полировальник 1 закреплен на вращающемся вертикальном шпинделе станка, а нижний 2 неподвижен. Для выполнения первого перехода используют полировальники, состоящие из смеси смолы с опилками мягких пород дерева, а для второго – из мягкой смолы. Полирующей суспензией служит полирит с водой $T : Ж = 1 : 1$. На обеих поверхностях полировальников протачивают канавки с одной установки резца, глубина канавок $0,25 D_{ш}$.

В канавки помещают стеклянные шарики вместе с разделительными пластмассовыми, которые предохраняют полируемые поверхности стеклянных шариков от царапин и выколов. Диаметр разделительных шариков выбирают на $0,1-0,5$ мм меньше обрабатываемых. После выполнения первого перехода все шарики сортируют по диаметрам через $0,1$ мкм на вертикальном оптиметре, снабженном специальным устройством, а после второго перехода контроль N и ΔN осуществляют на интерферометре.

Дальнейшую обработку шариков выполняют различно в зависимости от конструктивных особенностей линз.

3.4. Центрирование микролинз

При изготовлении микролинз в виде, например, положительного мениска с радиусами кривизны R_1 (выпуклый) и R_2 (вогнутый) полпированные половинки стеклянных шариков 1 (рис. 3.6) устанавливают на базовую поверхность 2 наклеичного инструмента 3 и жестко фиксируют.

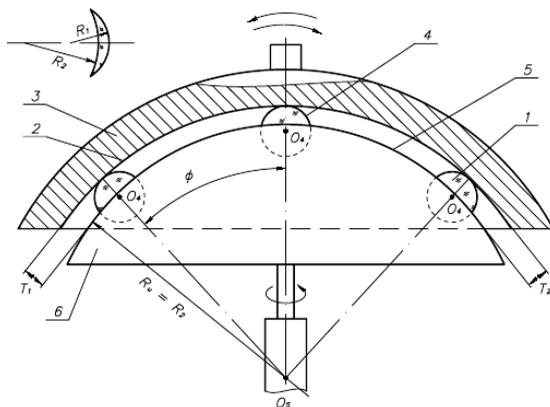


Рис. 3.6

При этом радиус кривизны R_0 поверхности 2 наклеичного приспособления 3 выбирают равным

$$R_0 = R_2 + t, \quad (3.1)$$

где t – толщина готовой микролинзы по центру.

При обработке поверхности радиусом R_2 контролируют максимальную разнотолщинность микролинз, расположенных в диаметрально противоположных точках краевой зоны наклеичного инструмента 3. Децентричность C деталей в этом случае определяется по формуле

$$C = \frac{T_1 - T_2}{2} \cos \varphi, \quad (3.2)$$

где φ – угол между осями симметрии микролинзы и инструмента 6.

Существенное отличие рассматриваемого способа центрирования микролинз от известных методов состоит в том, что при его использовании происходит совмещение операций обработки второй поверхности деталей и их центрирования (не требуется центрировочный станок), которое выполняется с высокой точностью. Кроме того, по данному способу реализуется групповое центрирование микролинз, в то время как по существующей технологии их центрируют поштучно.

ГЛАВА 4. КОНТРОЛЬ МИКРООПТИКИ

4.1. Контроль геометрических параметров микрооптики

4.1.1. Контроль формы поверхности контактными методами

Наиболее распространенный способ контроля формы оптических поверхностей состоит в измерении радиусов кривизны. Контроль чаще всего осуществляют контактным путем при помощи кольцевых сферометров и пробных стекол. В первом случае измеряют стрелку прогиба h на диаметре d (рис. 4.1) и сравнивают ее с расчетным значением h_0 , которое выполняют по формуле

$$h_0 = R_0 - \sqrt{R_0^2 - \frac{d^2}{4}},$$

где R_0 – заданный радиус контролируемой сферической поверхности.

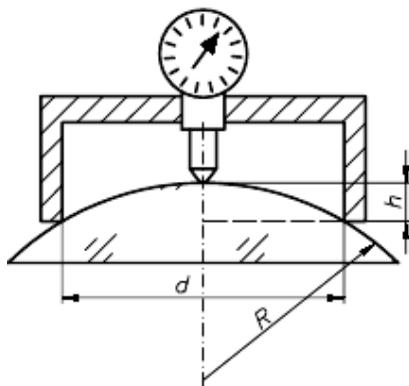


Рис. 4.1

Контроль при помощи сферометра имеет следующие недостатки:

- опасность повреждения исследуемой поверхности;
- возникновение погрешностей измерений в результате механических и тепловых деформаций деталей сферометра;
- затруднения при определении ошибок, связанных с отклонением формы детали от сферической и невозможность выявить локальные погрешности.

Преодоление последнего недостатка при одновременном повышении точности контроля достигается применением пробных стекол.

К недостаткам метода пробного стекла следует отнести:

- опасность повреждения исследуемой поверхности при сопряжении с пробным стеклом;
- погрешности, обусловленные неравномерным давлением и температурой, а также случайным попаданием пыли (загрязнений);
- затруднения при сопряжении с пробным стеклом и наблюдении интерференционной картины в случае контроля микрооптики диаметром 1–3 мм;
- необходимость содержания большого количества пробных стекол, равного зачастую утроенному числу радиусов кривизны;
- затруднения при контроле поверхностей линз, завальцованных в оправы, т. е. на этапе, когда особенно важно выявить наличие возможных искажений оптических поверхностей напряжениями, возникшими при завальцовке;
- невозможность контроля искажений оптических поверхностей, возникающих в склейке;
- погрешности контроля крутых сферических поверхностей, возникающие вследствие того, что разные участки поверхности наблюдаются под разными углами.

Появление последней погрешности рассмотрим на примере контроля плоской оптической детали пробным стеклом (рис. 4.2).

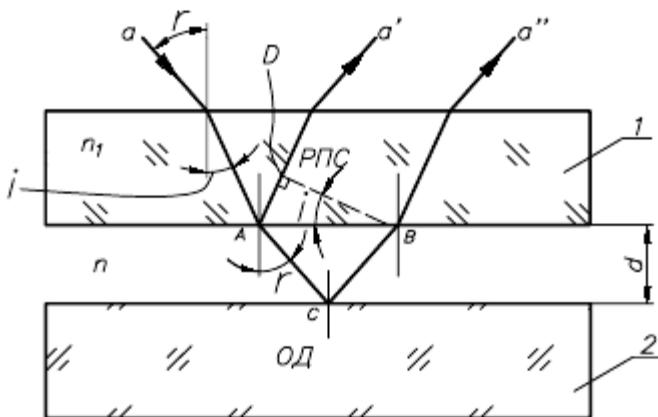


Рис. 4.2

При сопряжении пробного стекла 1 с деталью 2 между ними возникает воздушный промежуток толщиной d . Тогда разность хода Δ для интерферирующих лучей $a' - a''$ будет равна

$$\Delta = (AC + BC)n - ADn_1 + \lambda/2, \quad (4.1)$$

где n и n_1 – показатели преломления воздуха и стекла соответственно;

$\lambda/2$ – слагаемое из-за скачка фазы при отражении излучения от границы воздух-стекло (в ряде случаев при использовании интерференционной картины для измерительных целей это слагаемое не учитывают).

Из рис. 4.2 видно, что $AC = CB = d / \cos r$, $AD = AB \sin i$, $AB = 2d \operatorname{tg} r$. Тогда $AD = 2d \operatorname{tg} r \cdot \sin i$. С учетом этих значений выражение (4.1) примет следующий вид:

$$\Delta = \frac{2d}{\cos r} - 2d n_1 \operatorname{tg} r \cdot \sin i = \frac{2d}{\cos r} - 2d n_1 \frac{\sin^2 r}{\cos r} \cdot \frac{\sin i}{\sin r} =$$

$$\frac{2d}{\cos r (1 - \sin^2 r)} = \frac{2d}{\cos r} \cdot \cos^2 r = 2d \cos r. \quad (4.2)$$

Из соотношения (4.2) видно, что при изменении угла Γ изменяется разность хода Δ интерферирующих лучей и, следовательно, изменяется количество интерференционных колец (одному интерференционному кольцу соответствует $\Delta = \lambda / 2$). Это значит, что для правильного определения количества интерференционных колец наблюдение необходимо проводить перпендикулярно воздушному промежутку, что особенно актуально при контроле линз с крутым радиусом. В ряде случаев проверку таких поверхностей следует проводить по частям.

4.1.2. Контроль формы поверхности бесконтактными методами

а) Интерферометр с дифрагированной эталонной волной

Схема интерферометра с дифрагированной эталонной волной показана на рис. 4.3.

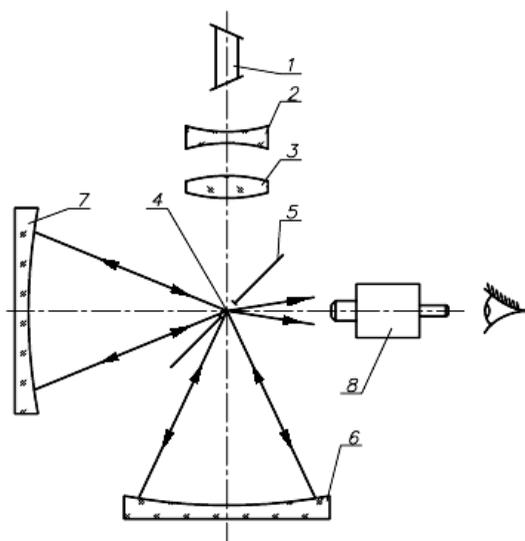


Рис. 4.3

Интерферометр работает следующим образом. Пучок лучей от источника 1, прошедший через расширительный элемент 2, фокусируется в виде пятна рассеяния диаметром около 100 мкм на то-

точечном отверстии 4 диаметром примерно 10 мкм в зеркальном покрытии наклонного зеркала 5. Точечное отверстие становится источником дифрагированной сферической волны, которая в автоколлимации от исследуемой сферической поверхности 6 изображается в виде пятна рассеяния, перекрывающего точечное отверстие 4. Отразившись от зеркала 5, эта рабочая волна направляется в сторону наблюдателя.

Часть излучения источника, сфокусированного объективом 3 на точечное отверстие, но не прошедшего через него, отражается от зеркала 5 в направлении сферического зеркала 7 и, отразившись от него, фокусируется на отверстии 4. При этом на отверстии формируется вторая дифрагированная сферическая волна, которая используется в качестве опорной. В результате сложения этой волны с рабочей возникает интерференция, несущая информацию о форме контролируемой поверхности 6. Особенность рассмотренного варианта схемы интерферометра состоит в том, что он является полностью безэталонным, так как в нем не содержится ни одной эталонной оптической поверхности, а также отсутствуют поверхности, погрешности изготовления которых входят в погрешности измерения.

При наличии в схеме контроля значительных вибраций используют телевизионную систему. Для устранения влияния вибраций наблюдают и расшифровывают изображение неподвижной интерферограммы, воспроизводимое с одиночного кадра.

б) Интерферометр с эталонной фронтальной поверхностью

Схема интерферометра показана на рис. 4.4. При использовании интерферометра необходимо обеспечить интерференцию лучей, отраженных от эталонной поверхности А элемента 7 и контролируемой поверхности В линзы 8. Для этого в пространстве между объективом 6 и элементом 7 должно произойти наложение упомянутых лучей, что возможно в случае, когда они идут по одному и тому же следу. Данное требование реализуется только для лучей, падающих на поверхности А и В по нормальям. Следовательно, необходимо определенное расположение элемента 7 относительно объектива 6 и контролируемой детали 8 относительно элемента 7. Для выяснения этого расположения проанализируем схему интерферометра.

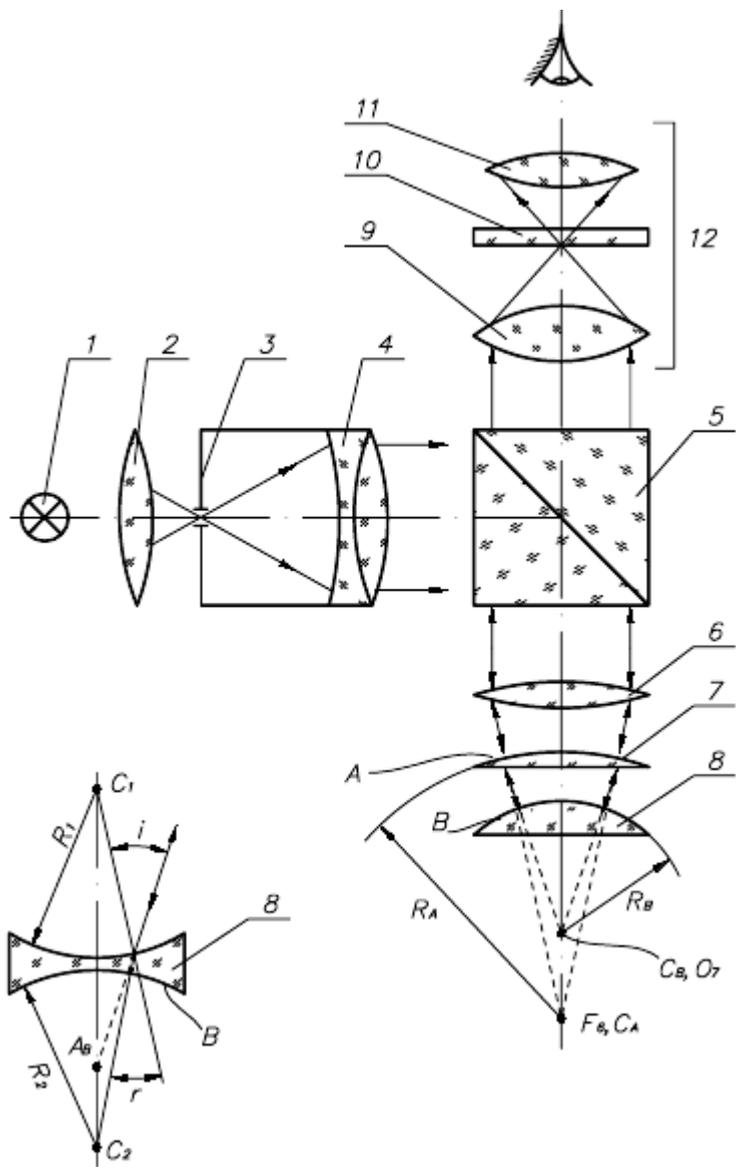


Рис. 4.4

Параллельный пучок лучей из объектива 4 попадает в объектив 6 и направляется в его фокальную плоскость F_6 , с которой совмещен центр C_A эталонной сферической поверхности А пробного стекла 7. При этом деталь 8 устанавливают так, чтобы центр C_B контролируемой ее сферической поверхности В совпадал с точкой O_7 фокусирования лучей пробным стеклом 7. Лучи, отраженные от пробного стекла и контролируемой детали, интерферируют между собой, проходят объектив 6 и формируют интерференционную картину в плоскости сетки 10 зрительной трубы 12, которая наблюдается через окуляр 11.

4.2. Контроль центрировки

Для проверки точности центрировки микролинз наибольшее распространение получили оптические приборы двух типов.

1. Коллимационные приборы, работающие по принципу измерения биения изображения светящейся марки, образованной лучами, прошедшими через вращаемую деталь.

2. Автоколлимационные приборы, позволяющие измерять биение изображения светящейся марки, образованной лучами, отраженными от вращаемой детали.

Оптическая схема коллимационного прибора изображена на рис. 4.5.

Излучение от источника света 1 проходит через коллиматор 2, в фокальной плоскости которого установлена сетка 3 в виде перекрестия, и после отражения от зеркала 4 параллельным пучком попадает на контролируемую линзу 5. Диаметр окружности, описываемой изображением перекрестия коллиматора при вращении линзы 5, представляет собой удвоенную децентрировку, которую наблюдают через микроскоп 6.

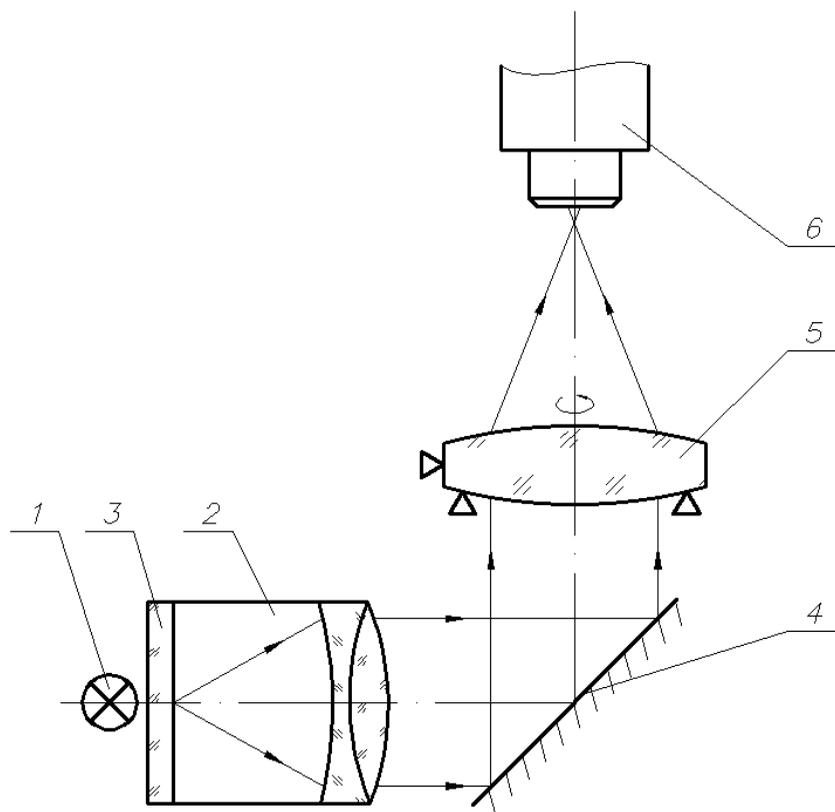


Рис. 4.5

Оптическая схема автоколлимационного прибора (автоколлимационной трубки ЮС-13) приведена на рис. 4.6, а.

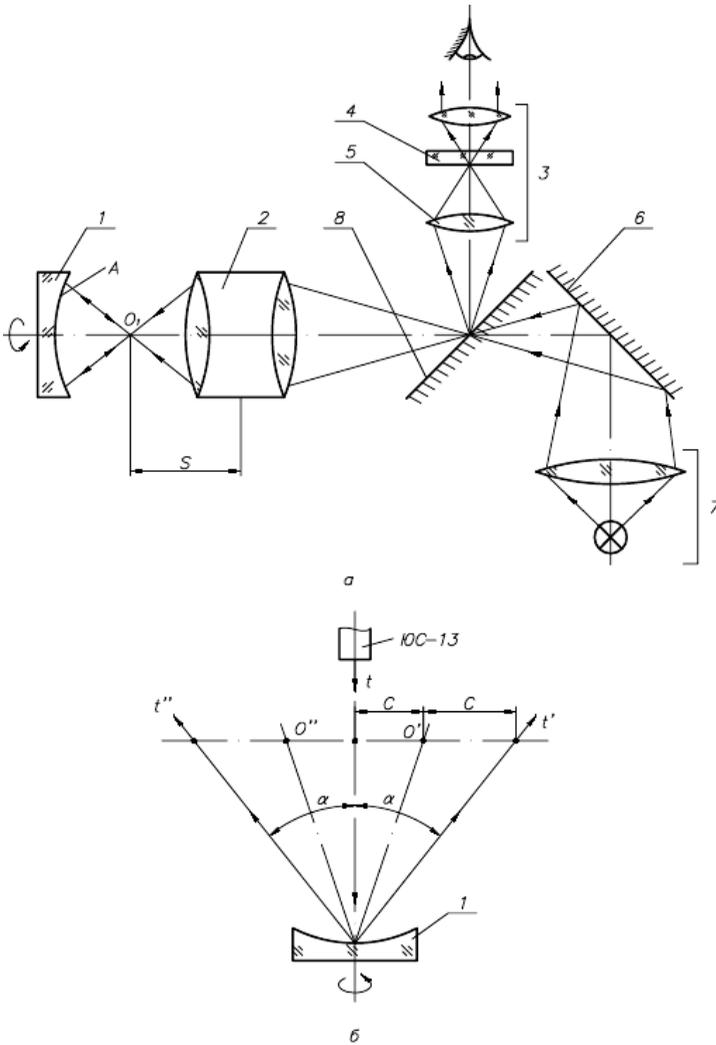


Рис. 4.6

Прозрачное перекрестие на зеркале 8 трубки, подсвеченное осветителем 7, проецируется объективом 2 в точку автоколлимации поверхности линзы 1. Отраженные от этой поверхности лучи возвращаются в трубку и образуют увеличенное изображение перекрестия зеркала 8 на измерительной сетке 4 микроскопа 3.

Наблюдение за децентрировкой C линзы 1 ведут при ее вращении вокруг оси. Схема наблюдения показана на рис. 4.6, б. Осевой луч t пучка, выходящего из трубки ЮС-13, из-за смещения центра кривизны O_1 контролируемой поверхности A отражается от линзы по направлению t' . При повороте линзы на 180° центр кривизны поверхности A займет положение O_1'' и осевой луч t отразится по направлению t'' . В результате изображение перекрестия трубки, образуемое отраженными лучами $t' - t''$, описывает на сетке микроскопа окружность, диаметр D которой соответствует N делениям сетки и определяется по формуле:

$$D = 4 C \beta_{об} \cdot \beta_m = mN, \quad (4.3)$$

где C – децентрировка контролируемой линзы;

β_m – линейное увеличение объектива 5 микроскопа 3;

$\beta_{об}$ – линейное увеличение объектива 2 трубки;

m – цена деления сетки микроскопа, мм.

Из формулы (4.3) следует, что величина децентрировки

$$C = \frac{m}{4\beta_{об} \beta_m} \cdot N. \quad (4.4)$$

Перемещая объектив 2 в тубусе, изображение перекрестия трубки можно поместить практически на любом расстоянии S от торца тубуса объектива. Величина S лежит в пределах от -5 см до $-\infty$ и от $+\infty$ до $+5$ см, что позволяет наблюдать автоколлимационные блики от поверхностей линз с радиусами любой величины. При этом изменяется увеличение $\beta_{об}$.

Для удобства определения децентрировки C на тубусе трубки нанесена шкала величины $k = m / 4 \beta_{об} \beta_m$, выраженной в микрометрах, для разных положений объектива 2 в тубусе. Определив по сетке трубки число делений N , занимаемых диаметром окружности биения автоколлимационного блика от поверхности линзы, определяют децентрировку по формуле

$$C = kN.$$

ГЛАВА 5. ОБРАБОТКА КРИСТАЛЛОВ

5.1. Технологические свойства кристаллов: анизотропность, спайность, растворимость, токсичность

Ряд свойств кристаллических материалов усложняет процессы их механической обработки, затрудняет изготовление деталей с высокой точностью и качеством полированных поверхностей. В частности, механическая прочность и поверхностная твердость кристаллических материалов как оптически изотропных, так и анизотропных неодинаковы в различных кристаллографических направлениях. При изготовлении деталей из оптически анизотропных материалов это учитывают, выбирая положение преломляющих и отражающих (исполнительных) поверхностей. При $N > 5$ и P , соответствующем $|V-X|$ классам, эти поверхности могут быть расположены в любом кристаллографическом направлении. Если $N < 5$, то исполнительные поверхности целесообразно ориентировать перпендикулярно оси роста кристалла. В этом случае их деформация, вызываемая перераспределением внутренних напряжений, будет одинакова. Для достижения максимально возможной чистоты полированных поверхностей их следует ориентировать по кристаллографическим направлениям с наибольшей поверхностной твердостью. Но в этом направлении прочность минимальна.

Из-за наличия у кристаллов плоскостей спайности и анизотропии механических свойств неровности рельефного и глубина нарушенного слоев шлифованной поверхности зависят от ее кристаллографического направления. В частности, трещины, образующиеся в результате воздействия зерен абразива, будут распространяться преимущественно по плоскостям спайности, где прочность материала наименьшая.

Некоторые кристаллы растворимы в воде и имеют малую твердость, что накладывает ограничения на режимы их механической обработки, выбор обрабатываемых и вспомогательных материалов. К таким кристаллам относятся NaF, NaCl, KCl, KBr, KJ и др. Полировать такие кристаллы наиболее сложно. Качество обрабатываемой поверхности зависит от вида и зернистости абразива, жидкой фазы суспензии, упругоэластических свойств полировальника. Абразив должен быть тонкодисперсным и иметь однородный зерновой

состав с тем, чтобы исключить разрушение полируемой поверхности единичными крупными зёрнами. Этим требованиям удовлетворяет окись хрома.

Рассеивание света микронеровностями полированной поверхности может быть снижено, если их размер будет меньше длины волны заданной области спектра. Для этого необходимо, чтобы роль жидкой фазы суспензии выполняла среда, которая уменьшает глубину врезания в кристалл зёрен полирующего абразива за счёт увеличения толщины несжимаемого слоя между поверхностью инструмента и изделия. Такими жидкостями могут быть глицерин и его смеси с водой.

Для исключения царапин упругие свойства материала полировальника должны обеспечивать возможность нивелирования выступающей части крупных зёрен под действием усилий, меньших по сравнению с вызывающими возникновение царапин. Таким материалом является воск, наносимый тонким слоем на поверхность смоляного полировальника.

При работе с кристаллами, содержащими токсичные вещества (таллий, цезий, мышьяк и др.), необходимо строгое соблюдение правил техники безопасности и охраны труда, в частности максимальная герметизация оборудования, использование респираторов, резиновых перчаток и напальчников.

5.2. Механическая обработка кристаллов

5.2.1. Разрезка, распиливание, сверление

Выбор метода разделения кристаллов на заготовки определяется твердостью материала и растворимостью вещества в воде.

Кристаллы, растворимые в воде, можно разрезать с помощью нитевидной пилы, принцип действия которой основан на растворении материала движущейся влажной нитью (рис. 5.1).

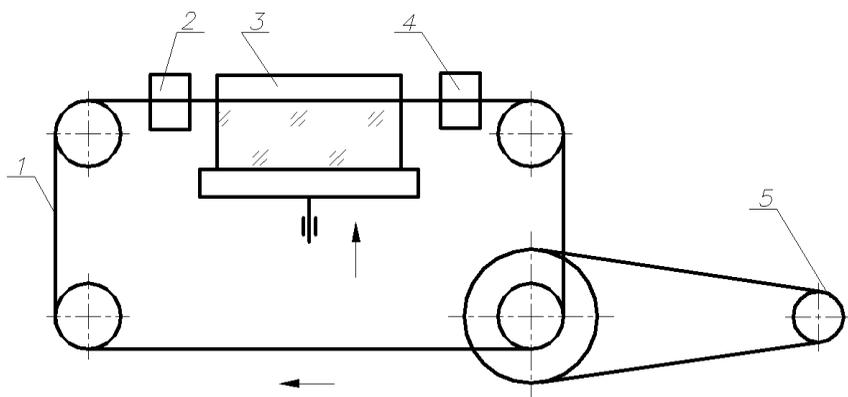


Рис. 5.1.

Увлажнитель 2 и опреснитель 4 нити 1 установлены соответственно перед ее входом в кристалл 3 и по выходе из него. Скорость движения нити, сообщаемая электродвигателем 5, составляет 0,5 м/с. Преимущество данного способа – отсутствие механических воздействий на кристаллическую решетку, прочность которой у данных веществ мала.

Кристаллы, имеющие совершенную спайность, например, NaCl, разделяют на заготовки раскалыванием по плоскостям спайности. Раскалывание производят зубилом, устанавливая его острие на плоскость спайности. Некоторые кристаллы распиливают на заготовки алмазными отрезными кругами зернистостью 63/50 или тонким металлическим диском (полотном) со свободным абразивом М14.

Для сверления отверстий в кристаллах применяют то же оборудование и инструмент, что и при сверлении стекла. В качестве СОЖ при сверлении водорастворимых кристаллов используют насыщенные растворы их солей. Механическую прочность и термостойкость деталей из этих кристаллов повышают полированием боковой поверхности отверстий без применения абразива – за счет растворения вещества. Точности размера и правильности формы отверстия такая обработка не обеспечивает.

5.2.2. Шлифование кристаллов

Механизм процесса шлифования, его закономерности, деление на операции (грубое, среднее и тонкое шлифование) те же, что и при обработке стекла. В условиях серийного производства наиболее производительным способом выполнения операции грубого шлифования твердых кристаллов (SiO_2 , Al_2O_3 и др.) является обработка алмазным инструментом зернистостью 160/125. В единичном производстве грубое шлифование твердых кристаллов выполняют свободным абразивом (карбид кремния, карбид бора). Зернистость свободного абразива – N4–M40. Жидкая фаза суспензии свободного абразива – вода. Грубое шлифование остальных кристаллов выполняют электрокорундовыми порошками зернистостей M40 и M28. Жидкая фаза суспензии – вода. При этом необрабатываемые поверхности водорастворимых кристаллов предохраняют от разрушения нанесением слоя защитного лака.

Среднее и тонкое шлифование твердых кристаллов выполняют водными суспензиями свободного абразива (алмаз, карбид бора) зернистостей 20/14–3/2, M20–M5. Аналогичное шлифование мягких и водорастворимых кристаллов выполняют микропорошками электрокорунда зернистостей M20–M5. Жидкой фазой суспензии являются насыщенные растворы солей этих кристаллов, спирт, глицерин. Для уменьшения глубины нарушенного слоя и вероятности образования дефектов (царапин, выколок) при шлифовании мягких и водорастворимых кристаллов используют инструмент из стекла, хрупкость которого исключает возможность закрепления зерен абразива.

Тонкое шлифование водорастворимых кристаллов можно заменить безабразивной обработкой – растворением поверхностного слоя, образованного грубым и средним шлифованием. Шлифовальный представляет собой металлический или стеклянный корпус с точной поверхностью, на которую закрепляют тонкую ткань (бязь, батист) и смачивают ее водой. Вода при температуре 30–40 °C растворяет кристалл. Такой процесс не образует нарушенного слоя, поэтому механическая прочность и термостойкость деталей выше по сравнению с деталями, отшлифованными свободным абразивом. Безабразивная обработка выполняет одновременно функцию предварительного полирования.

5.2.3. Полирование кристаллов

Полирование кристаллов отличается разнообразием применяемых абразивов и материалов полировальника, а также жидкой фазы полирующей суспензии.

При полировании рубина (сапфира) материалом полировальника могут быть следующие металлы: олово, медь, кварцевое стекло, агат. Абразивом служат алмазные пасты зернистостью от 2/1 до 0,5/0.

Полирование кварца выполняют с использованием тех же материалов, что и стекла.

Полирование мягких кристаллов (KCl, KI, CsI и др.) разделяют на две стадии – предварительную и окончательную. Задача первой стадии: быстрое удаление нарушенного слоя и придание поверхности изделия формы, близкой к требуемой. Задача второй стадии: уменьшение неровностей полированной поверхности, придание ей необходимой точности и чистоты. Материалом полировальника служит полировочная смола с восковым покрытием, которое, имея малую твердость, способствует повышению чистоты поверхности. Непосредственно на металлический корпус слой воска не наносят, так как у него отсутствует текучесть и полировальник трудно поддается формованию. Для повышения чистоты полируемой поверхности нивелируют уровень зерен, проводя предварительное (до полирования) растирание суспензии, нанесенной на полировальник. В качестве полирующего материала для мягких кристаллов используют окись хрома, жидкой фазой полирующей суспензии служат вода, глицерин и их смеси.

При полировании мягких кристаллов поверхность полировальника не подрезают, а периодически корректируют стеклянной пластиной, точность формы поверхности которой соответствует точности готовой детали. При высоких требованиях к точности деталей их доводят в сепараторах. Форму поверхностей контролируют интерференционным бесконтактным способом.

При полировании водорастворимых и гигроскопичных кристаллов процесс ведут досуха, после чего поверхность водой не промывают, так как вследствие растворения могут быть вскрыты царапины и точки, образовавшиеся при шлифовании. Работу выполняют в резиновых перчатках или напальчниках, поскольку при касании по-

лированных поверхностей пальцами они могут помутнеть. Заготовки хранят в эксикаторах с прокаленным и обезвоженным хлористым кальцием. Полированные детали подвергают вакуумной осушке для удаления поверхностной влаги, затем прогревают в термостате для повышения предела прочности кристалла и защищают полированные поверхности.

Для получения высокого класса чистоты полированных поверхностей некоторых кристаллов в суспензию вводят вещества, действие которых сочетает окисление поверхности с одновременным ее растворением (химико-механическое полирование). При этом улучшается чистота полируемой поверхности, повышается интенсивность процесса и уменьшается толщина нарушенного слоя. Этот слой оказывает влияние не только на свойства самого кристалла, но и на свойства эпитаксиальных пленок. В частности, плотность дислокаций в пленках будет такой же, как и в поверхностном слое кристалла. Скопление дислокаций приводит к неравномерному проникновению диффундирующего вещества и к искажению фронта p - n перехода.

5.3. Изготовление оптических деталей из некоторых кристаллов

5.3.1. Поляризационные призмы из кальцита

Призмы из кальцита (CaCO_3) разделяют на одно- и двухлучевые. Первые дают один пучок линейно поляризованного света, распространяющегося в направлении, совпадающем с падающим на входную грань. Вторые – образуют два пучка линейно поляризованного света, причем один из них или оба распространяются под углом к падающему.

На рис. 5.2 показаны однолучевые призмы Глана (*a*), Глана-Томпсона (*b*) и Аренса (*в*). Призма Глана состоит из двух частей, разделенных воздушным промежутком толщиной $0,05 \pm 0,01$ мм, который создают прокладкой из алюминиевой фольги.

Двухлучевые призмы Сенармона (*г*) Волластона (*д*) и Рошона (*е*) состоят из двух частей, склеенных между собой.

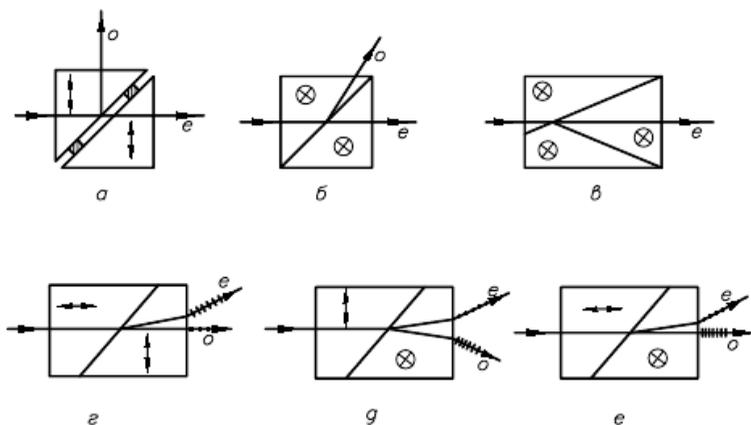


Рис. 5.2

Различаются эти призмы расположением оптических осей в соединяемых между собой частях.

Процесс изготовления призм состоит из ряда последовательно выполняемых операций:

- исходный кристалл-полуфабрикат раскалывают по плоскостям спайности на ромбоэдры, соответствующие типу и размеру призмы;
- шлифованием создают две базовые плоскости, перпендикулярные оптической оси кристалла, т. е. ориентируют кристалл;
- на ориентированной пластинке намечают контуры будущей призмы с учетом требуемого положения оптической оси и пластинку распиливают на заготовки;
- заготовки соединяют в столбик или устанавливают на приспособления, аналогичные используемым при изготовлении призм из стекла, и обрабатывают.

5.3.2. Линзы, призмы и пластинки из кварца

При использовании кварца для изготовления линз и призм необходимо исключить свойственные ему двойное лучепреломление и вращение плоскости поляризации. При изготовлении линз это требование выполняют, совмещая оптическую ось детали с оптической осью кристалла. Исходной заготовкой линзы служит плоскопараллельная пластинка, у которой преломляющие поверхности перпендикулярны оптической оси кристалла. Пластинку округливают до диаметра, задан-

ного чертежом на линзу. На одну из поверхностей наносят сферу заданного радиуса. Необрабатываемая поверхность пластинки выполняет функцию измерительной базы, по отношению к которой и ориентируют положение сферы, контролируя разнотолщинность по краю. Эта погрешность должна быть минимальной, так как при обработке второй поверхности роль измерительной базы выполняет первая.

Диспергирующие 60-градусные призмы представляют собой сборку, состоящую из двух призм с углом 30° , одна из которых изготовлена из правовращающего, а другая из левовращающего кварца. Между собой их соединяют действием сил молекулярного сцепления.

Из кусков право- и левовращающего кварца выпиливают заготовки в виде параллелепипедов, у которых сначала полностью (включая полирование) обрабатывают две плоскости, параллельные одна другой и ориентированные перпендикулярно оптической оси кристалла. По отношению к ним обрабатывают, ограничиваясь шлифованием, остальные грани. Распилив параллелепипед по диагонали, получают две заготовки призм. Используя полированную и точно ориентированную по отношению к оптической оси плоскость (большой катет призмы) в качестве измерительной базы, обрабатывают гипотенузную и малую катетную грани. Изготовленные из право- и левовращающего кварца 30-градусные призмы комплектуют с учетом знака и величины отступления от плоскостности поверхностей, по которым они должны быть соединены. После чистки поверхности соединяют, получая 60-градусную призму. Возможные деформации поверхностей и неоднородности материала вызывают необходимость коррекции волнового фронта путем ретуши (локального полирования) гипотенузной грани.

Из кристаллического кварца изготавливают также пластинки с разностью хода $\lambda / 4$, $\lambda / 2$ и λ . Толщина таких пластинок рассчитывается по формуле

$$t = \frac{1}{n_o - n_e} \cdot \frac{\lambda}{k},$$

где λ – длина волны света;

k – коэффициент, учитывающий заданную разность хода ($k = 4; 2; 1$);

n_o и n_e – показатели преломления обыкновенного и необыкновенного лучей.

Технология изготовления пластинок сводится к выполнению следующих операций:

1. Изготавливают плоскопараллельную пластинку толщиной 2–2,5 мм с поверхностями, ориентированными параллельно оптической оси кристалла.

2. Обрабатывают полностью первую поверхность, заведомо удаляя полированием трещиноватый слой.

3. Соединяют заготовки с приспособлением действием сил молекулярного сцепления и шлифуют микропорошками М20, М10 вторую поверхность. При этом толщину заготовок уменьшают до 0,3–0,4 мм.

4. Полированием доводят пластинки до толщины, определяемой заданной разностью хода.

ГЛАВА 6. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ПРОБНЫХ СТЕКОЛ

6.1. Изготовление сферических пробных стекол

Сферические ОПС всех радиусов изготавливают парами, состоящими из выпуклого (+) и вогнутого (–) стекол. КПС и РПС всех радиусов изготавливают только одного знака: радиусы КПС соответствуют кривизне контролируемой детали, радиусы РПС имеют противоположный знак.

В зависимости от значения радиуса кривизны применяют разные технологические процессы изготовления основных пробных стекол.

В частности, выпуклые ОПС радиусом от 0,5 до 37,5 мм изготавливают по технологии обработки выпуклых стекол, имеющих толщину $H = 1,2 r$. По этой технологии измерения радиуса r проводят косвенно, как половину диаметра D шарика.

ОПС шлифуют на станках ШП вручную поштучно на чугунных и латунных шлифовальниках, расположенных снизу, с применением абразивных суспензий.

В качестве наклеечных приспособлений применяют деревянные ручки, которые приклеивают к нерабочей стороне заготовок. Мерительным инструментом на стадии предварительной обработки служат радиусные шаблоны, а на завершающей – скобы, микрометры и др. измерительные устройства, которыми измеряют диаметр шарика.

Процесс шлифования выпуклых поверхностей толщиной больше полусферы имеет следующую особенность: при обработке необхо-

димо постоянно подрезать центральную зону шлифовальника. Невыполнение этого требования приводит к усиленному съему припуска с заготовки на ее вершине (особенно после подачи абразивной суспензии), в результате чего образуется деформированная (сплюснутая) сфера.

ОПС радиусом свыше 37,5 мм изготавливают парами одновременно. Грубое шлифование выполняют на чугунных шлифовальниках поштучно вручную на станках ШП. Контроль радиусов осуществляют шаблонами. Тонкое шлифование заготовок выполняют попарно стекло на стекле. В качестве шлифовальника на шпиндель станка попеременно закрепляют то выпуклое, то вогнутое стекло. При этом у нижней заготовки края срабатываются быстрее, чем середина, а у верхней середина срабатывается быстрее, чем край. Умелое использование этой закономерности позволяет целенаправленно изменять значения r притирающихся поверхностей. Контроль значений r ведут на сферометре поочередным измерением стрелки h обоих стекол с последующим расчетом r .

В процессе полирования, которое выполняется по обычной технологии, r контролируют посредством сопряжения выпуклого и вогнутого стекол. Половина измеренной ошибки устраняется последующим полированием, например, 1-го стекла. При этом роль пробного стекла выполняет второе стекло. Затем, используя в роли пробного первое стекло, полированием 2-го стекла устраняют оставшуюся часть ошибки сопряжения.

КПС и РПС изготавливают по обычной технологии с контролем КПС по ОПС, а РПС по КПС.

Изготовленные пары пробных стекол, находясь в сопряжении друг с другом в течение нескольких часов, изменяют вид интерференционной картины. Как правило, маленькая яма переходит в большую, а маленький бугор – в небольшую яму. Это явление есть результат действия упругих сил в деталях, которое зависит от многих факторов (жесткости конструкции пробного стекла, физико-механических свойств материала, величины и распределения остаточных напряжений и др.). Поэтому в процессе изготовления ОПС заведомо вводится соответствующая поправка, учитывающая возможное изменение интерференционной картины после отстоя.

6.2. Изготовление плоских пробных стекол

Плоские ОПС изготавливают путем последовательной подгонки трех стекол. Для получения точных плоских поверхностей принимают одно стекло (например, 1) за эталонное, подгоняя к нему второе и третье стекла (рис. 6.1, а и б). Если стекло 1 имеет «яму», например, в одну полосу, то стекла 2 и 3 будут иметь «бугор» также в одну полосу. При сопряжении стекол 2 и 3 общий «бугор» составит две полосы (рис. 6.1, в). Обработывая стекла 2 и 3, уменьшают их общую выпуклость до одной полосы. После этого, приняв за эталон последовательно 2-е и 3-е стекло, подгоняют к нему два других, и так продолжается до тех пор, пока не получится три точных плоскости.

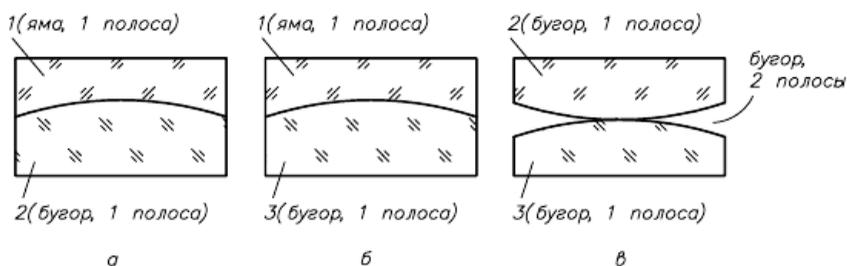


Рис. 6.1

ГЛАВА 7. СТЕКЛОМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ЗЕРКАЛА

7.1. Характеристика деталей

В ряде устройств применяют оптические зеркала, которые в процессе эксплуатации подвергаются воздействию значительных динамических нагрузок. Поэтому конструкция таких деталей должна сочетать высокие оптические свойства отражающих поверхностей с достаточной прочностью материала.

Первому условию удовлетворяют такие традиционные оптические материалы, как оптическое и кварцевое стекло, ситаллы. Однако вследствие малой прочности эти материалы не выдерживают необходимых нагрузок и разрушаются.

Второму условию отвечают металлы, но из-за большой пористости, неоднородности и других свойств металлов получение на них оптических поверхностей высокого качества в настоящее время невозможно.

Кроме того, оптические зеркала из стекла имеют большую массу, а также не обеспечивают высокой стабильности формы отражающей поверхности при перепаде температуры окружающей среды и других изменениях условий работы. Большую массу и габаритные размеры имеют также и оправы зеркал. Таким образом, узлы зеркал в оправках представляют собой сравнительно материалоемкие конструкции.

Большое различие в температурном коэффициенте линейного расширения стеклянного зеркала и металлической оправы требует применения температурных компенсаторов, что приводит к дополнительному увеличению габаритных размеров и массы приборов.

Наиболее полно отвечают предъявляемым требованиям стеклометаллические зеркала, которые позволяют снизить массу узла в 3–4 раза.

7.2. Конструкция

Основание детали изготавливают из металла в виде плоского (рис. 7.1, *a*), сферического или асферического (рис. 7.1, *б*) зеркала или другой формы, обусловленной ее функциональным назначением, а также удобством сборки, юстировки и закрепления. Для снижения массы при сохранении жесткости конструкции предусматривают глухие облегчающие ячейки в форме треугольников, цилиндров и других фигур. Рабочей поверхностью детали является тонкий слой стекла ($t = 0,2\text{--}0,3$ мм), нанесенный методом спекания.

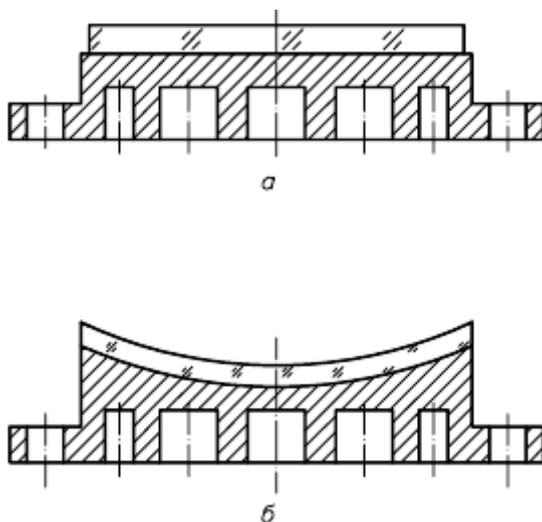


Рис. 7.1

7.3. Материалы

В качестве материала основания зеркал наиболее часто применяют титановые сплавы, которые, имея относительно низкую плотность, высокую прочность и малый коэффициент линейного расширения, хорошо спекаются со стеклом. Кроме того, применяют также сплавы алюминия, бериллия и нержавеющей сталь. В качестве напекаемого слоя используют оптические стекла К8, ЖЗС18 и др.

При разнице коэффициентов линейного расширения стекла и металла не более $1 \cdot 10^{-7}$ образуется соединение, внутренние напряжения которого практически не оказывают заметного влияния на технологию дальнейшей обработки и эксплуатационные свойства детали; при разнице $(1-5) \cdot 10^{-7}$ можно получить изделие удовлетворительного качества, при разнице $(6-10) \cdot 10^{-7}$ возникают критические напряжения.

Соотношение температурных коэффициентов линейного расширения стекла и металла должно быть $\alpha_{ст} < \alpha_{мет}$, тогда в условиях эксплуатации при низких температурах слой стекла испытывает усилия сжатия, что обеспечивает высокую прочность детали.

7.4. Физическая сущность процесса спекания

На поверхности раздела двух фаз (жидкость и ее насыщенный пар, две не вполне смешивающиеся жидкости, жидкость и твердое тело) в результате различных сил межмолекулярного взаимодействия в соприкасающихся фазах появляется направленная внутрь одной из них равнодействующая сил, приложенных к поверхностному слою второй фазы. В частности, на поверхности раздела жидкость- твердое тело эта сила направлена внутрь последнего.

Учитывая отмеченное, для спекания разнородных твердых тел необходимо наличие промежуточного слоя, силы межмолекулярного взаимодействия в котором меньше, чем у спекаемых тел. В случае спекания металла со стеклом таким промежуточным слоем является поверхностный слой металлического основания, насыщенный окислами металла. Эти окислы образуются в результате взаимодействия ионов металла с кислородом при повышенных температурах.

7.5. Технология изготовления

Технология изготовления стеклометаллических зеркал состоит из предварительных и основных операций обработки как металлического основания зеркала, так и заготовки стеклянной пластины. При изготовлении основания зеркала первая операция – механическая обработка, при которой обеспечивают шероховатость поверхности, спекаемой со стеклом, не грубее 5-го класса, так как чистка более грубых поверхностей затруднительна. Вторая – нормализующий отжиг для снятия внутренних напряжений, возникших после механической обработки.

При обработке стеклянной пластины первая операция – грубое и среднее шлифование рабочих поверхностей до толщины 2–3 мм и боковых поверхностей с выдерживанием тех же габаритных размеров, что и у основания зеркала. Вторая – тонкое шлифование и полирование обеих рабочих плоскостей до шероховатости не грубее 13-го класса. После обработки контролируют свиля и пузыри в проходящем свете. Точность формы и чистоту не нормируют.

Дальнейшее изготовление стеклометаллического зеркала включает следующие операции:

- 1) чистку и обезжиривание спекаемых поверхностей;

2) нагревание в электрической печи металлической и стеклянной заготовок в сопряженном состоянии до требуемой температуры спекания, выдерживание при этой температуре и охлаждение вместе с печью;

3) предварительное шлифование сборки до толщины слоя стекла 0,5–0,6 мм при шероховатости поверхности не грубее 5-го класса;

4) термоциклическую обработку сборки с целью стабилизации ее размеров и снятия остаточных напряжений в слое стекло-металл. Эта операция состоит из трех приемов попеременного нагрева и охлаждения. Затем проводят стабилизирующее старение посредством выдерживания при заданной температуре и охлаждения на воздухе;

5) окончательную обработку посадочных мест под подшипники и других элементов конструкции. Если в процессе эксплуатации зеркало должно подвергаться значительным центробежным нагрузкам, то производят его балансировку;

6) тонкое шлифование сборки до толщины слоя стекла 0,2–0,3 мм и его полирование с точностью поверхности $N = 1$ и $\Delta N = 0,3$ и чистотой III класса;

7) нанесение отражающего покрытия в вакууме.

Литература

1. Козерук, А.С. Формообразование прецизионных поверхностей. – Минск: ВУЗ – ЮНИТИ – БГПА, 1997. – 182 с.
2. Станок для одновременной двусторонней обработки линзы с пологими вогнутыми поверхностями: пат. 10724 Респ. Беларусь, МКИ⁵ В 24В 13/02 / А.С. Козерук, А.А. Сухоцкий, В.Ф. Климович.
3. Станок для одновременной двусторонней обработки линзы с крутыми вогнутыми поверхностями: пат. 10726 Респ. Беларусь, МКИ⁵ В 24В 13/02 / А.С. Козерук, И.П. Филонов, А.А. Сухоцкий, В.Ф. Климович, Е.С. Таболина.
4. Способ обработки шариков: пат. 2834 Респ. Беларусь, С1 В 24В 11/02 / А.С. Козерук, М.И. Филонова. – № 1104; заявл. 29.12.93; опубл. 30.06.99. – 5 с.
5. Способ формирования шариков из вязкопластичных материалов: пат. 5299 Респ. Беларусь, С1 В 29В 11/06 / А.С. Козерук, И.П. Филонов, М.И. Филонова, С.П. Ярмоц. – № а 20000177; заявл. 25.02.2000; опубл. 30.06.2003. – 2 с.
6. Инструмент для обработки шариков: пат. 5049 Респ. Беларусь, С1 В 24В 11/02 / А.С. Козерук, М.И. Филонова, А.А. Сухоцкий. – № а 19981053; заявл. 20.11.98; опубл. 30.03.2003. – 3 с.
7. Устройство для двусторонней обработки оптической детали: пат. 7009 Респ. Беларусь, С1 В 24В 13/00 / А.С. Козерук, И.П. Филонов, А.Г. Кожух, Ф.Ф. Климович, В.Ф. Климович. – № а 20010467; заявл. 23.05.2001; опубл. 30.06.2005. – 2 с.
8. Способ блокировки линз: пат. 7185 Респ. Беларусь, С1 В 24В 13/005 / А.С. Козерук. – № а 20010237; заявл. 13.03.2001; опубл. 30.06.2005. – 2 с.
9. Способ одновременной двусторонней обработки деталей со сферическими поверхностями: пат. 7911 Респ. Беларусь, С1 В 24В 13/00 / А.С. Козерук, И.П. Филонов. – № а 20030242; заявл. 18.03.2003; опубл. 30.04.2006. – 2 с.
10. Способ получения инструмента в виде шарового сегмента для наклейки линз жестким способом: пат. 8030 Респ. Беларусь, С1 В 24В 13/00, 13/005 / А.С. Козерук. – № а 20030241; заявл. 18.03.2003; опубл. 30.04.2006. – 2 с.
11. Способ групповой обработки деталей с выпуклыми сферическими поверхностями: пат. 8031 Респ. Беларусь, С1 В 24В 13/00 / А.С. Козерук, И.П. Филонов, К.К. Василенок. – № а 20030314; заявл. 10.04.2003; опубл. 30.04.2006. – 2 с.

12. Способ обработки деталей с вогнутыми сферическими поверхностями: пат. 8138 Респ. Беларусь, С1 В 24В 13/00 / А.С. Козерук, И.П. Филонов, К.К. Василенок. – № а 20030313; заявл. 10.04.2003; опубл. 30.06.2006. – 2 с.

13. Способ получения шаровидного наклеечного инструмента: пат. 8241 Респ. Беларусь, С1 В 24В 13/005 / А.С. Козерук. – № а 20030649; заявл. 26.06.2003; опубл. 30.06.2006. – 2 с.

14. Способ одновременной двусторонней обработки оптических деталей со сферическими поверхностями: пат. 10042 Респ. Беларусь, С1 В 24В 13/00 / А.С. Козерук. – № а 20041122; заявл. 02.12.2004; опубл. 30.12.2007. – 2 с.

15. Устройство для одновременной двусторонней обработки оптических деталей с выпуклыми сферическими поверхностями: пат. 9420 Респ. Беларусь, С1 В 24В 13/00 / А.С. Козерук, М.И. Филонова, В.Ф. Климович, И.В. Рутик, Е.Н. Горбаченя. – № а 20041220; заявл. 23.12.2004; опубл. 30.06.2007. – 2 с.

16. Устройство для двусторонней обработки сферических поверхностей: пат. 8956 Респ. Беларусь, С1 В 24В 13/02 / А.С. Козерук, М.И. Филонова, В.Ф. Климович. – № а 20040552; заявл. 15.06.2004; опубл. 28.02.2007. – 4 с.

17. Станок для одновременной двусторонней обработки линзы с крутыми вогнутыми поверхностями: пат. 10726 Респ. Беларусь, С1 В 24В 13/00 / А.С. Козерук, И.П. Филонов, А.А. Сухоцкий, В.Ф. Климович, Е.С. Таболина. – № а 20060589; заявл. 14.06.2006; опубл. 30.06.2008. – 2 с.

18. Станок для одновременной двусторонней обработки линзы с пологими вогнутыми поверхностями: пат. 10724 Респ. Беларусь, С1 В 24В 13/00 / А.С. Козерук, В.Ф. Климович, А.А. Сухоцкий. – № а 20060117; заявл. 14.02.2006; опубл. 30.06.2008. – 2 с.

19. Инструмент для закрепления линз в виде отрицательного мениска при двусторонней обработке: пат. 13577 Респ. Беларусь, С1 В 24В 13/005 / А.С. Козерук, В.Ф. Климович, В.О. Кузнечик, Е.С. Каролик, А.П. Камлюк. – № а 20080506; заявл. 18.04.2008; опубл. 30.08.2010. – 2 с.

20. Способ крепления линзы с тонким центром: пат. 12997 Респ. Беларусь, С1 В 24В 13/005 / А.С. Козерук, В.Ф.Климович, А.А. Сухоцкий, М.В. Зайцев, Е.С. Таболина. – № 20071534; заявл. 13.12.2007; опубл. 30.04.2010. – 2 с.

21. Способ обработки сферических поверхностей оптических деталей: пат. 6646 Респ. Беларусь, С1 В 24В 13/00 / А.С. Козерук, Ф.Ф. Климович, С.П. Басалаев, А.И. Коновалова, В.Ф. Климович, А.Г. Кожух. – № а 20010363; заявл. 18.04.2001; опубл. 30.12.2004. – 1 с.

22. Устройство для двусторонней обработки оптических деталей: пат. 6625 Респ. Беларусь, С1 В 24В 13/00 / А.С. Козерук, И.П. Филонов, А.Г. Кожух, В.Ф. Климович, Р.Ф. Федорцев. – № а 20010301; заявл. 30.03.2001; опубл. 30.12.2004. – 1 с.

23. Инструмент для обработки шариков: пат. 6824 Респ. Беларусь, С1 В 24В 11/02 / А.С. Козерук, И.П. Филонов, С.С. Басалаев, А.И. Коновалова, А.А. Сухоцкий. – № а 20010466; заявл. 23.05.2001; опубл. 30.03.2005. – 1 с.

24. Способ обработки сферических поверхностей: пат. 2069 Респ. Беларусь, С1 В 24В 11/02 / А.С. Козерук, И.П. Филонов, В.И. Чембрович, В.И. Шамкалович, Т.А. Реут. – № 88; заявл. 15.01.93; опубл. 30.03.98. – 1 с.

25. Способ центрирования линз: пат. 2411 Респ. Беларусь, С1 В 24В 13/005 / А.С. Козерук, И.П. Филонов. – № 277; заявл. 05.05.93; опубл. 30.09.98. – 1 с.

Оглавление

ГЛАВА 1. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ФОРМООБРАЗОВАНИЕ ВЫСОКОТОЧНЫХ ОПТИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ.	3
1.1. Основные сведения о кинематике станков для обработки высокоточных оптических деталей.	3
1.2. Влияние относительной линейной скорости при обработке плоскостей.	5
1.3. Сущность метода свободного притирания.	13
1.4. Технологическое оборудование для одновременной двусторонней обработки линз с тонким центром.	14
1.5. Блокировка линз при одновременной двусторонней обработке.	17
ГЛАВА 2. ОБРАБОТКА ОПТИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ ПО МЕТОДУ «СИНХРОСПИД».	18
2.1. Сущность метода «Синхроспид».	18
2.2. Обработка плоских поверхностей.	20
2.3. Обработка сферических поверхностей по методу «Синхроспид».	23
ГЛАВА 3. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ШАРОВИДНЫХ ДЕТАЛЕЙ ИЗ СТЕКЛА.	24
3.1. Предварительная обработка шариков по классической технологии.	24
3.2. Метод пневмоцентробежной обработки шариков из хрупких материалов.	27
3.3. Классические методы шлифования и полирования стеклянных шариков.	28
3.4. Центрирование микролинз	31
ГЛАВА 4. КОНТРОЛЬ МИКРООПТИКИ.	32
4.1. Контроль геометрических параметров микрооптики.	32
4.2. Контроль центрировки.	38

ГЛАВА 5. ОБРАБОТКА КРИСТАЛЛОВ.	42
5.1. Технологические свойства кристаллов: анизотропность, спайность, растворимость, токсичность.	42
5.2. Механическая обработка кристаллов.	43
5.3. Изготовление оптических деталей из некоторых кристаллов.	47
ГЛАВА 6. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ПРОБНЫХ СТЕКОЛ.	50
6.1. Изготовление сферических пробных стекол.	50
6.2. Изготовление плоских пробных стекол.	52
ГЛАВА 7. СТЕКЛОМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ЗЕРКАЛА.	52
7.1. Характеристика деталей.	52
7.2. Конструкция.	53
7.3. Материалы.	54
7.4. Физическая сущность процесса спекания.	55
7.5. Технология изготовления.	55
Литература.	57

Учебное издание

КОЗЕРУК Альбин Степанович

ТЕХНОЛОГИЯ ВЫСОКОТОЧНЫХ ОПТИЧЕСКИХ
ДЕТАЛЕЙ

Курс лекций для студентов специальности
1-38 01 02 «Оптико-электронные и лазерные приборы и системы»
специализации 1-38 01 02 01 «Оптические и оптико-электронны
приборы и комплексы»

Редактор Т.В. Кипель
Компьютерная верстка А.Г. Занкевич

Подписано в печать 15.12.2011.

Формат 60×84¹/₁₆. Бумага офсетная.

Отпечатано на ризографе. Гарнитура Таймс.

Усл. печ. л. 3,60. Уч.-изд. л. 2,82. Тираж 50. Заказ 345.

Издатель и полиграфическое исполнение:
Белорусский национальный технический университет.
ЛИ № 02330/0494349 от 16.03.2009.
Проспект Независимости, 65. 220013, Минск.