

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
"КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ"

ТЕХНОЛОГІЯ ОПТИЧНОГО ВИРОБНИЦТВА

Навчальний посібник для студентів ВНЗ

Затверджено Вченою радою НТУУ "КПІ"

Київ
НТУУ "КПІ"
2016

Тимчик Г.С., Філіппова М.В., Маркін М.О. Технологія оптичного виробництва. Навчальний посібник для студентів ВНЗ / Під заг. ред. Г. С. Тимчика – К.: НТУУ "КПІ", 2016. - 168 с.

*Гриф надано Вченою радою НТУУ "КПІ"
(протокол № 8 від "30" червня 2016 р.)*

В посібнику викладені матеріали, присвячені особливостям технологій оптичного виробництва, зокрема, питанням фізико-хімічних властивостей матеріалів, що оброблюються, необхідності використання спеціального обладнання, інструменту та засобів контролю.

Узагальнено і систематизовано матеріали методологічних основ курсу «Технології оптичного приладобудування», що базуються на використанні новітніх досягнень фундаментальних наук та оптичного виробництва. У посібнику розглянуто питання отримання заготовок для оптичного виробництва, методів контролю якості оптичних матеріалів, процесів виготовлення типових оптичних деталей.

Посібник призначений для студентів які навчаються за напрямом «Приладобудування», спеціальностями «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» та «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка» і може бути корисний студентам споріднених спеціальностей.

Навчальне видання

ТЕХНОЛОГІЯ ОПТИЧНОГО ВИРОБНИТЦВА

Навчальний посібник для студентів ВНЗ

Автори: *Тимчик Григорій Семенович., д.т.н., професор*
Філіппова Марина В'ячеславівна, к.т.н., доцент
Маркін Максим Олександрович, к.т.н., доцент

Відповідальний редактор: *Маркіна О.М., к.т.н.*

Рецензенти: *Маслов В.П., д.т.н., професор*
Дашковський О.А., к.т.н., доцент

За загальною редакцією Г. С. Тимчика

ЗМІСТ

Вступ.....	6
1. Матеріали для виготовлення оптичних деталей.....	7
1.1. Характеристики оптичного скла.....	7
1.2. Показники якості оптичного скла.....	11
1.2.1. Нормовані показники якості	11
1.2.2. Неоднорідність скла	15
1.3. Кольорове скло	16
1.4. Кварцеве скло	18
2. Способи та методи виготовлення заготовок оптичних деталей	20
2.1. Примусове формоутворення.....	20
2.2. Поверхневий притир	21
2.3. Технологічні системи механічної обробки заготовок	23
3. Типові оптичні деталі та вузли.....	30
3.1. Умовні позначення, які використовуються на кресленнях.....	31
3.2. Оформлення креслень типових оптичних деталей та вузлів	34
3.2.1. Лінзи	34
3.2.2. Дзеркала	38
3.2.3. Призми	40
3.2.4. Сітки	43
3.2.5. Об'єктиви	44
3.2.7. Окуляри	45
4. Методи розрахунку припусків на розміри заготовок оптичних деталей .	47
4.1. Припуски на розміри заготовок.....	47
4.2. Припуски на шліфування і полірування плоских та сферичних поверхонь.....	48
4.3. Припуски на відхилення точності форми плоских і сферичних поверхонь оптичних деталей	50
4.4. Визначення розмірів призм, допусків на виготовлення і характеристики матеріалів.....	51

4.4.1. Похибки кутів призм	53
5. Типові технологічні операції виготовлення оптичних деталей.....	55
5.1. Операції шліфування.....	62
5.1.1. Шліфування закріпленими абразивними зернами.....	64
5.2.2. Шліфування суспензіями абразивних порошків.....	66
5.2. Операції полірування	68
5.3. Центрування та фасетування	69
5.4. Блокування.....	76
5.4.1. "Еластичний" спосіб блокування.....	76
5.4.2. "Жорсткий" спосіб блокування.....	78
6. Обладнання та інструмент, який використовується при виготовленні оптичних деталей	80
6.1. Абразивні та полірувальні матеріали	80
6.1.1. Зерновий склад і зернистість абразивів.....	81
6.1.2. Мікропорошки	82
6.1.3. Поліруючі абразиви	84
6.2. Допоміжні матеріали.....	86
6.2.1. Охолоджувальні та фіксуючі матеріали	86
6.2.2. Матеріали для кріплення заготовок приклеюванням.	88
6.2.3. Промивні, захисні і поліруючі матеріали.....	90
6.2.4. Протиральні матеріали	91
6.2.5. Захисні лаки	93
6.2.6. Матеріали полірувальників.....	94
6.3. Інструмент, який використовується для виготовлення оптичних деталей	94
6.3.1. Алмазний технологічний інструмент	94
6.4. Пристосування для виготовлення оптичних деталей.....	100
6.4.1. Пристосування для плоского шліфування	101
6.4.2 Пристосування для сферошліфувальних і центрувальних операцій	103

6.5. Обладнання для виготовлення оптичних деталей	106
6.6. Обладнання для тонкого алмазного шліфування	115
6.7. Обладнання для полірування оптичних деталей	120
6.8. Центрувальні верстати	124
6.9. Устаткування для промивання.....	127
6.10. Устаткування для нанесення вакуумних покриттів.....	130
6.11. Обладнання для виготовлення нестандартних оптичних деталей	134
7. Технологічні процеси виготовлення типових деталей.....	136
7.1. Технологічні особливості виготовлення лінз	136
7.2. Технологічний процес виготовлення призм	148
8. Покриття поверхонь оптичних деталей	153
8.1. Типи покриттів і їх призначення	153
8.2. Позначення покриттів	154
8.3. Хімічні способи нанесення покриттів	156
8.4. Фізичні способи	159
9. З'єднання оптичних деталей.....	163
9.1. З'єднання склеюванням	163
9.2. Глибокий оптичний контакт	165
9.3. З'єднання спіканням і зварюванням	165
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	167

Вступ

Технології та обладнання для оптичного виробництва мають специфічні умови використання. Специфіка обмовлена особливостями фізико-хімічних властивостей матеріалів, що оброблюються, необхідністю використання спеціального обладнання, інструменту та засобів контролю. Водночас оптичні пристрої та технології є невід'ємною частиною складних оптико-електронних комплексів, які використовуються у промисловості, наукових дослідженнях, оборонній техніці тощо.

Науково-технічний прогрес в оптичному приладобудуванні безпосередньо пов'язаний з вдосконаленням технологічних процесів виготовлення деталей та виробів. Поява нових видів інструменту та прийомів роботи, використання засобів автоматизації та нових форм організації праці, обумовлюють покращення змісту навчальної літератури.

В даному навчальному посібнику знайшли своє відображення методологічні основи курсу «Технології оптичного приладобудування», що базуються на використанні новітніх досягнень фундаментальних наук та оптичного виробництва. У посібнику розглянуто питання отримання заготовок для оптичного виробництва, методів контролю якості оптичних матеріалів, процесів виготовлення типових оптичних деталей.

1. Матеріали для виготовлення оптичних деталей

1.1. Характеристики оптичного скла

Основним матеріалом для виготовлення оптичних деталей слугує оптичне скло, яке відрізняється від технічного високим ступенем однорідності, хімічним складом та фізичними властивостями. Скло стійке до дії різних кислот, добре зберігає форму і легко обробляється.

Більшість марок скла в основному складається з кремнезему SiO_2 . Скло з чистого плавленого кремнезему – кварцове скло – добре пропускає ультрафіолетові промені, відрізняється жаростійкістю і високою твердістю, вариться при температурі близько 2000°C . Додаючи до кремнезему оксиди натрію і кальцію, можна знизити температуру варіння. Скло, що складається з $65\% \text{SiO}_2 + 35\% \text{Na}_2\text{O}$, може бути зварене при температурі $\sim 1400^\circ\text{C}$, але воно крихке і швидко руйнується.

Більш стійке технічне скло (склад: $75\% \text{SiO}_2$, $15\% \text{Na}_2\text{O}$ і $10\% \text{CaO}$) може бути зварене при $t = 1450^\circ\text{C}$. Щоб отримати ще більш стійке та міцне скло, до складу додають оксиди калію, магнію та алюмінію, в результаті отримують скло типу крон. Показник заломлення і дисперсію скла змінюють, додаючи кисневі сполуки фосфору – фосфорний ангідрид та солі фосфорної кислоти, оксиди бору та барію, отримуючи баритові і важкі крони. Набагато збільшує показник заломлення і дисперсію скла окис свинцю, який вводять до 15% в кронфлінти і більше 40% у важкі флінти.

Набули поширення нові марки скла, до складу яких входять оксиди рідкісних металів (лантану, танталу, церію та ін.) Лантанове скло (СТК) має високий показник заломлення і невелику дисперсію. Скло з оксидами талію (СТФ), навпаки, має високий показник заломлення і велику дисперсію.

Узагалі скло поділяється на два види – «скло-крон» з невисокими показниками заломлення і дисперсією і «скло-флінт» з високими

показниками заломлення і дисперсією. Різкої межі між ними немає; ці два види скла діляться на типи і марки, в назву яких входить скорочена назва типу скла та порядковий номер (табл. 1.1).

Таблиця 1.1

Характеристики типів скла

Тип скла	Марка скла	n_D	ν
Легкі крони ЛК	ЛК6	1,4704	66,8
Фосфатні крони ФК	ФК1	1,5176	69,6
Крони К	К8	1,5163	64,1
Баритові крони БК	БК6	1,5399	59,7
Важкі крони ТК	ТК16	1,6126	58,3
	ТК21	1,6568	51,1
Надважкі крони СТК	СТК9	1,7424	50,2
Кронфлінти КФ	КФ7	1,5170	51,4
Легкі флінти ЛФ	ЛФ6	1,5749	41,3
Флінти Ф	Ф1	1,6128	36,9
Баритові флінти БФ	БФ25	1,6079	46,2
Важкі флінти ТФ	ТФ5	1,7550	27,5
Надважкі флінти СТФ	СТФ1	20,361	18,1
Особливі флінти ОФ	ОФ1	1,5294	51,8

Марка скла визначається за показником заломлення n_D , n_e , і середньою дисперсією $n_F - n_C$, $n_F' - n_C'$, або коефіцієнтом середньої дисперсії:

$$\nu = \frac{n_D - 1}{n_F - n_C} \quad (1.1)$$

Показники заломлення вимірюються для певних кольорів (довжин хвиль), зазначених у ГОСТ і нормативах (табл. 1.2).

Характеристики скла представлені на діаграмі (рис. 1.1).

Скловарні заводи постачають оптичне скло відповідно до вимог креслень та ГОСТ 3514-94 "Скло оптичне безбарвне". Залежно від ваги заготовок гарантуються категорії і класи з пухирності і світлопоглинання вказані в табл. 11 ГОСТ 3514-94.

Таблиця 1.2

Показники заломлення скла різних кольорів

Колір	Червоний		Жовтий		Зелений
Позначення лінії Фраунгофера	A	C	D	D	E
Довжина хвилі в нм	768	656,3	589,3	587,6	546,1
Хімічний елемент, в спектрі котрого є ця лінія	Калій K	Водень H	Натрій Na	Гелій He	Ртуть Hg
Колір	Голубий		Синій	Фіолетовий	Ультрафіолетовий
Позначення лінії Фраунгофера	F	G	G	H	-
Довжина хвилі в нм	486,1	435,8	434,1	404,7	365,0
Хімічний елемент, в спектрі котрого є ця лінія	Водень H	Ртуть Hg	Водень H	Ртуть Hg	Ртуть Hg

Флінти більш прозорі, ніж крони. Тільки скло К8, БК10, Ф1 і Ф4 по світлопоглинанню постачаються 00 категорії. Простіше за складом скло ЛК3, ЛК4, КФ4, КФ6, К3, К8, БК6, БК10, ЛФ5, ЛК5 починає пропускати близьку ультрафіолетову частину спектру з довжиною хвилі 320-330 нм.

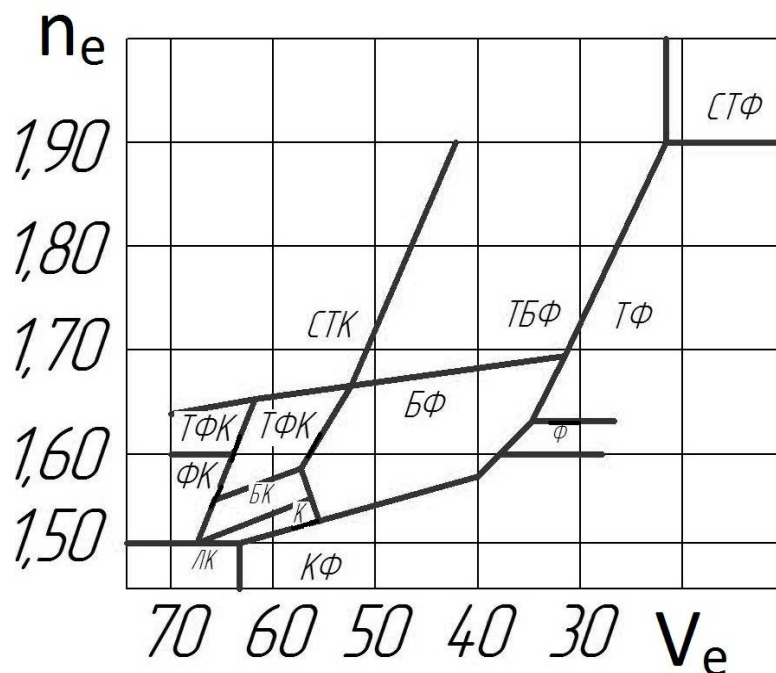


Рис. 1.1. Дисперсійні характеристики скла

Важкі крони пропускають промені з довжиною хвилі більше 360 нм,

а важкі флінти – більше 370 нм. У інфрачервоній області спектра все скло добре пропускає випромінювання до довжини хвилі 2700 нм при товщині 10 нм і до 4500 нм - при товщині 1 нм.

При опроміненні гамма-променями скло темніє помітно у фіолетовій і менш помітно в інфрачервоній області спектра. Скло зі спеціальними домішками – соті і двохсоті марки (К108, БК110, К208, БК210 тощо) темніють значно менше.

Вартість оптичного скла висока і сильно зростає при суворих вимогах до пухирності і світлопоглинання, тому такі вимоги слід пред'являти тільки при необхідності.

Заготовки оптичного скла постачаються лише в тому випадку, якщо товщина їх менша 1/15 діаметра.

При зміні температури показник заломлення і розміри оптичних деталей для кожної марки скла змінюються по різному, внаслідок чого знижується якість зображення і змінюються характеристики оптичної системи.

Коефіцієнт лінійного розширення більшості марок скла $\alpha = 75 - 90 \times 10^{-7}$. У скла марки Ф8 $\alpha = 100 \times 10^{-7}$, ЛК5 - $\alpha = 33 \times 10^{-7}$, ЛК7 - $\alpha = 40 \times 10^{-7}$.

Для виготовлення захисного скла і призм застосовуються безпухирні, хімічно стійкі, прозорі і прості за складом марки скла К8, БК10 і тільки при помітних коливаннях температури – ЛК5 і ЛК3, що зменшує розлади системи. Для дзеркал використовується скло тільки К8, а для більш точних дзеркал – ЛК5, ЛК7 і ситали.

Для сіток, виготовлених фотографічним способом, застосовується скло К8, а для сіток, виготовлених травленням – БК10 або Ф8, що мають майже такий же коефіцієнт лінійного розширення, як і сталь.

Для великих об'єтивів коліматорів і астрономічних приладів використовуються просте скло К8, Ф1, Ф2, ТК16, а для складних окулярів та фотооб'єтивів – різні марки скла з дуже різноманітними

властивостями.

1.2. Показники якості оптичного скла

1.2.1. Нормовані показники якості

Нестабільність оптичних характеристик скла істотно впливає на якість передачі зображення оптичною системою приладу.

Допуски показників якості матеріалів розраховують відповідно до технічних вимог до оптичної системи. Завищення вимог до показників якості понад необхідні не дає помітного поліпшення вихідних характеристик приладу, але у той же час різко збільшує вартість оптичного матеріалу. Наприклад, при зміні вимог до оптичної однорідності скла з третьої категорії на першу вартість скла зростає в 4-5 разів.

Оптичне безбарвне скло нормують в заготовках за такими показниками якості:

- показник заломлення n_e , середньої дисперсії $n_F - n_C$;
- однорідність партії заготовок за показником заломлення і середньої дисперсії;
- оптична однорідність;
- подвійне променезаломлення;
- беззвиленність;
- показник ослаблення;
- пузирність;

Залежно від граничних відхилень зазначених показників ГОСТ 3514 передбачає різні категорії і класи якості скла.

Показник заломлення n_e і середня дисперсія $n_{F'} - n_{C'}$ нормуються п'ятьма категоріями якості з наступними допустимими відхиленнями Δn_e і $\Delta(n_{F'} - n_{C'})$, які наведено у табл. 1.3.

Скло звичайної якості, що використовується для виготовлення оптичних деталей кінофотооптики, відноситься до 4-ї категорії за Δn_e і

$$\Delta(n_{F'} - n_{C'}).$$

Таблиця 1.3

Категорії якості за показником заломлення n_e , середньою дисперсією $n_F - n_C$

Категорія	Δn_e	$\Delta(n_{F'} - n_{C'})$
1	± 2	± 2
2	± 3	± 3
3	± 5	± 5
4	± 10	± 10
5	± 20	± 20

Допуски на Δn_e і $\Delta(n_{F'} - n_{C'})$ можуть бути розширені у порівнянні з розрахунковими за умови обмеження відхилень за цими показниками для заготовок усередині однієї партії.

У цьому випадку фактичні значення Δn_e та $\Delta(n_{F'} - n_{C'})$ враховуються при комплектуванні оптичних деталей системи, а необхідна якість вихідних параметрів зберігається шляхом корекції геометричних розмірів лінз: товщини, радіусів або повітряних проміжків між лінзами.

За однорідністю показника заломлення n_e у партії заготовок встановлено чотири класи, а за середньою дисперсією $n_{F'} - n_{C'}$ - два класи якості (табл. 1.4).

Таблиця 1.4

Однорідність показника заломлення n_e та середньої дисперсії $n_{F'} - n_{C'}$

Клас	Найбільша різниця Δn_e у партії заготовок	Найбільша різниця $\Delta(n_{F'} - n_{C'})$ у партії заготовок
А	0,2	-
Б	0,5	-
В	1	1
Г	У межах заданої категорії	У межах заданої категорії

Оптична неоднорідність скла та інших оптичних матеріалів розглядається як неоднорідність показника заломлення за об'ємом матеріалу.

Залежно від причини утворення неоднорідності можуть бути хімічного або фізичного походження. Хімічні неоднорідності – звилини виникають в процесі варіння та виготовлення скла і обумовлені мінливістю хімічного складу залежно від непровару або випаровування окремих компонентів, роз'їдання стінок скловарних посудин і поганої гомогенізації розплаву. Розрізняють шаруваті ниткоподібні звилини і вузлові у вигляді невеликих витягнутих сфер та відгалужених від них ниток.

Метод контролю беззвиленості полягає в оцінюванні тіньової картини звилини, одержаної на екрані проекційної установки і порівнянням її з тіньовою картиною еталонних звилин 1-ї або 2-ї категорії беззвиленості.

Фізичні неоднорідності пов'язані з наявністю в заготовках скла залишкових напруг при відпалі внаслідок швидкого охолодження або температурних градієнтів в печі. Напруження в прозорих матеріалах викликають появу подвійного променезаломлення і зміну значення показника заломлення.

При проходженні через напруження скла поляризованого променю, отриманого за допомогою будь-якого поляризатора, відбувається його роздвоєння на промені, що поширюються в площині головних напружень з різною швидкістю і мають на виході різницю ходу. Подвійне променезаломлення характеризується різницею ходу променів, яка вимірюється в нанометрах на сантиметр шляху. Фізичні неоднорідності можуть бути усунені повторним тонким відпалюванням. Для подвійного променезаломлення встановлено п'ять категорій якості з граничними відхиленнями 1,5-65 нм / см.

Беззвиленість і подвійне променезаломлення дозволяють швидко оцінити оптичну однорідність заготовки і при невеликих розмірах заготовки є достатніми критеріями її якості. Однак обидва ці показники не дають кількісної оцінки неоднорідності на різних ділянках заготовки великих розмірів і не характеризують плавні зміни показника заломлення,

хоча останні погіршують якість зображення більше, ніж поодинокі грубі звилини.

Виміряти безпосередньо значення показника заломлення по полю заготовки досить складно. Тому передбачено кілька непрямих методів оцінки оптичної однорідності. Перший – визначення числового відношення кута розподілення φ коліматорної установки, в яку введена заготовка, до кута розподілення φ_0 тієї ж установки без зразка скла. Метод використовується для контролю заготовок розмірами 60-250 мм. Для нього встановлено чотири категорії якості скла з відношенням φ/φ_0 , рівним 1,0 - 1,2. При контролі заготовок, які належать до першої категорії якості, додатково контролюється якість зображення дифракційної точки на коліматорі. Точка має зображатися у вигляді центральної плями, оточеної двома концентричними кільцями без розривів, хвостів і спотворення форми.

Оптичну однорідність заготовок розмірами більше 250 мм оцінюють за коефіцієнтами, що характеризують вплив різних чинників: подвійного променезаломлення, беззвильності, асиметричності фізичних неоднорідностей по полю. Заготовки, призначені для виготовлення оптичних деталей високоточних об'єктивів коліматорів, інтерференційних і астрономічних приладів, у яких залишкові хвильові аберації системи мають значення, співмірні з додатковими спотвореннями, викликаними неоднорідністю скла, перевіряють інтерференційними методами зі спотворення хвильового фронту. Точність вимірювання Δn має бути в межах 15×10^{-6} . Вимоги до однорідності подібних деталей обумовлюються особливо у технічній документації на заготовку.

Світлопоглинання скла нормується за показником ослаблення μ_A , який представляє собою величину, зворотну відстані, на якій потік випромінювання джерела світла типу А послаблюється внаслідок поглинання і розсіювання у склі в 10 разів.

Зменшення ослаблення світла у склі має велике значення при виробництві багатолінзових оптичних систем об'єктивів для передачі кольорового зображення, волоконно-оптичних елементів.

Встановлено вісім категорій якості скла, нормованих за показником ослаблення, з допустимими значеннями $\mu_A = 0,0002 - 0,0130 \text{ см}^{-1}$.

1.2.2. Неоднорідність скла

Отримати скло, повністю вільне від вад, практично неможливо. Пухирі і прирівняне до них каміння у склі є включеннями, що утворюються при варінні внаслідок поганого освітлення скломаси, попадання в неї непроварених частинок шихти і шамоту зі стінок варильної посудини і утворення кристалів. Поодинокі бульбашки не впливають на роздільну здатність приладу. Збільшення числа пухирів призводить до екранування світла, збільшення його розсіювання. У деталях типу сіток, лімбів, розташованих у фокальній площині вимірювальних приладів, притискних пластинах проекційних приладів, пухирі чітко проглядаються і заважають спостереженню, отже, їх кількість має бути обмежена. Розкриті пухирі на робочих поверхнях оптичних деталей при обробці призводять до появи розполірованих зон, ускладнюють чистку оптичних деталей. Каміння є джерелом виникнення тріщин і напружень у склі при термічних навантаженнях.

Присутність пухирів і каменів у заготовках регламентується ГОСТ 13240, яким встановлено 11 категорій якості. У заготовках першої категорії не допускаються пухирі діаметром більше 0,002 мм, у заготовках десятої категорії дозволяється присутність пухирів до 5 мм. Крім того, каталогом оптичного скла передбачена оцінка пухирності сировинного блочного скла за кількістю пухирів, видимих на площі проекції куба скла об'ємом 100 см^3 . Ця оцінка є довідниковою та використовується при обробці блоку скла на заготовки.

Каміння, кристали і головки вузлових свилів оцінюють як пухирі такого ж діаметру. Каміння, що супроводжується тріщинами в заготовках оптичних деталей, не допускаються.

1.3. Кольорове скло

Кольорове скло – оптичне скло (ГОСТ 9411-91), використовується для виготовлення різних світлофільтрів, що застосовуються у фотографії, оглядових і спектральних приладах, для захисту очей від шкідливої світлової дії джерел світла в ультрафіолетовій видимій або інфрачервоній області тощо. Виготовляється понад сто марок кольорового скла. Залежно від спектральних властивостей скло ділять на типи: ультрафіолетове (УФС), фіолетове (ФС), синє (СС), синьо-зелене (СЗС), жовто-зелене (ЖЗС), жовте (ЖС), помаранчеве (ПС), червоне (ЧС), інфрачервоне (ІЧС), пурпурне (ПС), нейтральне (НС), темне (ТС) і безбарвне (БС).

Залежно від типу барвника скло ділять на:

- пофарбоване селеном і сірчистим кадмієм з різким поділом пропускання частини спектру від непропускання – це жовте, помаранчеве та червоне скло;
- забарвлене молекулярними барвниками з більш складною кривою спектрального пропускання – це жовто-зелене, зелене, синє, червоне (ЧС10, 11), пурпурне, темне, нейтральне.

Спектральна характеристика першого скла визначається:

- 1) показником поглинання K для обумовленої у ГОСТ 9411-91 довжини хвилі λ_0 ;
- 2) довжиною хвилі λ_{np} , що характеризує кордон спектральної області пропускання, при якій оптична щільність $D_{\lambda_{np}}$ скла в шарі заданої товщини перевищує на 0,3 значення найменшої оптичної щільності D_{λ_0} в тій же товщині, тобто пропускання в 2 рази менше. Допуски на λ_{np} по 1, 2, 3-й категорії: ± 5 ; ± 10 і ± 15 нм відповідно;
- 3) крутизною K_p оптичної щільності в шарі заданої товщини, яка визначається різницею щільності при довжині хвилі $\lambda_{np} - 20$ нм і λ_{np} , тобто
$$K_p = D_{\lambda_{np}-20} - D_{\lambda_{np}}.$$

Показник поглинання і оптична щільність пов'язані співвідношенням

$$D_{\lambda_0 p} = K_{\lambda_0} l,$$

де l – товщина скла в мм;

$$D'_{\lambda_0} = D_{\lambda_0} + D_r;$$

$$D_r \approx 0,038;$$

D'_λ – оптична щільність скла з додаванням втрат D_r на відбиття.

Спектральна характеристика іншого скла визначається значенням показника поглинання K_λ для певних довжин хвиль K_{λ_0} і λ_0 , і різницями ΔK_λ показників поглинання для певних довжин хвиль. При цьому $\frac{\Delta K_\lambda}{K_\lambda}$ по 1, 2, 3-ї категорії: ± 5 ; ± 10 і $\pm 20\%$ відповідно.

За однорідності і подвійного променезаломлення забезпечується 3-я категорія, за беззвільністю – 2В і пухирністю 3-8, класу Г і Д в залежності від марки і ваги скла.

У наглядних приладах рекомендується застосовувати світлофільтри зі скла ОС17 товщиною не більше 2 мм для посилення контрастності за рахунок послаблення повітряної димки і зменшення хроматизму очей, та нейтральні фільтри (НС 6, 7, 8, 9, 10, 11) – для ослаблення надмірної яскравості.

У контрольно-вимірювальних приладах слід застосовувати світлофільтри зі скла марок ЖЗС9, ЖЗС1 і ЗС3 товщиною 1 мм при діаметрі до 10 мм, 1,5 мм при діаметрі 10-18 мм; 2 мм при діаметрі 18-50 мм і 3 мм при діаметрі 50-80 мм.

Для аерофотозйомки рекомендується застосовувати світлофільтри зі скла ЖЗ18, ОС14 і КС14.

Світлофільтри для фотографії виготовляються зі скла марок БС8, ЖС12, ЖС17, ЖС18, ОС12, КС11, ЖЗС9.

Заготовку з кольорового оптичного скла, нормують за такими показниками якості:

- показник поглинання K_λ ,
- беззвільність,
- неоднорідність забарвлення,
- пухирність,
- подвійне променезаломлення.

Для скла, забарвлених сульфоселенідами або селенідами металів (скла ЖС, ОС і КС), нормують також мінімальну оптичну щільність D_0 при товщині скла 10 мм; довжину хвилі λ_{np} , при якій оптична щільність скла перевищує на 0,3 оптичну щільність скла тієї ж товщини при довжині хвилі λ_0 ; K_p крутизну кривої оптичної щільності, рівну різниці оптичної щільності скла при довжинах хвилі $\lambda_{np} - 20$ нм.

1.4. Кварцеве скло

Кварцеве оптичне скло має марки:

- КУ – без помітної смуги поглинання при $\lambda = 240$ нм, що використовують для різних деталей спектрофотометрів та інших приладів, що працюють в ультрафіолетовій області спектра (від $\lambda = 160$ нм).
- КВ – не вільне від смуг поглинання при $\lambda = 240$ нм і $\lambda = 2700$ нм – для деталей, що працюють у видимій області і в інтервалі довжин хвиль 250-2500 нм, де вимагаються висока термостійкість і жароміцність.
- КД – без помітної смуги поглинання при $\lambda = 2700$ нм – для приладів, які працюють в інфрачервоній області спектра.

Високі вимоги до спектрального пропускання, однорідності, подвійного променезаломлення, пухирності, беззвільності дозволяють використовувати кварцеве скло в найвідповідальніших приладах. Діаметр або сторона заготовок 50-200 мм, найменша товщина – 8 мм і відношення діаметра до товщини 15:1; $n_D = 1.4586 \pm 4 \cdot 10^{-4}$; $n_F - n_C = 0.00675 \pm 3 \cdot 10^{-5}$; $\nu = 67,9$.

Коефіцієнт α лінійного розширення $2 \cdot 10^{-7}$ ($t = -60^\circ + 20^\circ$) і $5 \cdot 10^{-7}$

при $t = 20-120\text{ }^{\circ}\text{C}$, тобто помітно менше, ніж у оптичного скла.

Хімічна стійкість по ГОСТ 13917 до вологої атмосфери – група А і до кислих розчинів 1-3 (досить стійке).

Питома вага 2,21, твердість 6 по шкалі Мооса і 2 – по зішліфуванню в порівнянні з К8, прийнятим за одиницю.

Кварцеве скло застосовується для конденсорів, лінз об'єктивів, призм та вікон в спектральних та інших приладах, що працюють в ультрафіолетовій чи інфрачервоній областях, для виготовлення вельми точних дзеркал і кінцевих відбивачів.

2. Способи та методи виготовлення заготовок оптичних деталей

Розрізняють 2 способи формоутворення оптичних поверхонь:

- *примусове формоутворення;*
- *поверхневий притир.*

Розглянемо стисло суть кожного з цих способів.

2.1. Примусове формоутворення

Суть способу полягає і витікає з геометрії взаємоперетину двох тіл – тонкостінного циліндра 1, роль якого виконує інструмент, і заготовки деталі 2 (рис. 2.1).

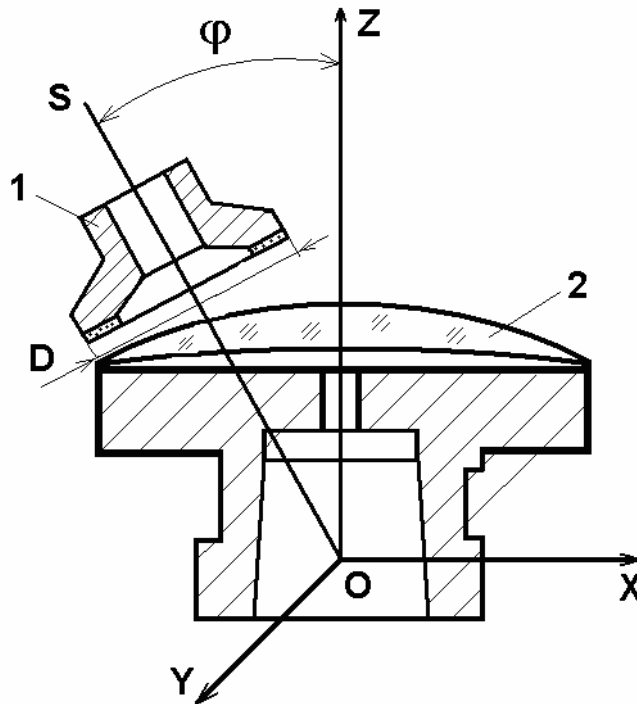


Рис. 2.1. Схема примусового формоутворення

Обидва тіла мають осі обертання – OZ , OS , розташовані під кутом φ один до одного.

У загальному випадку при обертанні обох тіл інструмент вирізуватиме в тілі заготовки поверхню, що є сферою.

Залежно від положення кромки інструмента можна вирізувати або сферичний пояс, або сферичний сегмент. Радіус поверхні визначається співвідношенням

$$R = \frac{D}{2 \sin \varphi},$$

де D – діаметр інструменту.

Змінюючи кут φ , можна отримати різні поверхні, наприклад, при $\varphi=0$ отримуємо плоску поверхню.

При примусовому формоутворенні реалізується жорсткий кінематичний зв'язок системи "верстат-пристосування-інструмент-деталь" (ВПД), в якій кінцевою ланкою є виріб. Це визначає залежність точності формоутворення від точності устаткування, тому даний спосіб застосовується лише для операцій попереднього (грубого) шліфування сферичних і плоских поверхонь. Виконують цю операцію на верстатах, які працюють в автоматичному або напіваавтоматичному циклі і потребують попереднього настроювання. Як правило, при цьому користуються алмазним інструментом.

Іноді цим способом виконують остаточну шліфовку допоміжних поверхонь.

2.2. Поверхневий притир

Історично цей спосіб є першим способом формоутворення, так званим "класичним" способом.

Його суть полягає у формоутворенні, заснованому на взаємному зносі двох тіл – інструменту і заготовки, які контактують один з одним або безпосередньо, або через прошарок вільного абразиву (рис. 2.2).

Нижня ланка 1, роль якої може виконувати інструмент або заготовка, жорстко пов'язана з віссю шпинделя 2 і обертається разом з ним. Верхня ланка 3, роль якої теж може виконувати інструмент або заготовка, притискається до нижньої ланки зусиллям P через повідець 4.

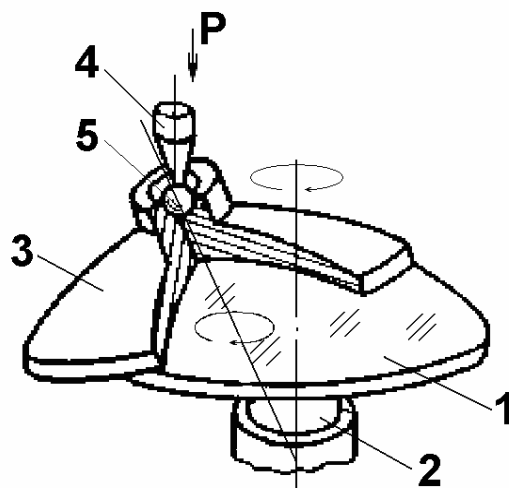


Рис. 2.2. Схема поверхневого притирання у вигляді металевої чашки з вільним абразивом

1 – заготовка; 2 – шпindelь верстату; 3 – металева чашка (шліфувальник); 4 –
повідець; 5 - шаровий шарнір

Під дією шатунно-кривошипного механізму відбувається поворотно-поступальний рух повідця, а разом з ним і верхньої ланки. Крім цього, під дією сил тертя верхня ланка мимовільно залучається до обертання за допомогою кульового шарніра 5. Цей спосіб дозволяє на простому устаткуванні одержувати гранично точні (точність обмежується можливостями засобів технологічного контролю) шліфовані та поліровані поверхні сферичної і плоскої форм.

Розрізняють дві фази притиру – нестационарну і стаціонарну. У першій фазі поверхні контактують по обмеженій площі, яка з часом розширюється. В другій фазі поверхні відповідають одна одній, відрізняючись тільки на розмір зазору, який утворює абразивна суспензія.

Під час обробки знос центральної і крайової зон інструменту не однаковий, тому його форма в стаціонарній фазі притиру змінюється. Через це необхідно визначити момент, коли радіус і величина відступу від заданої форми поверхні заготовки відповідає кресленню деталі. Тут велику роль відіграє досвід робітника. Високої точності обробки добиваються за допомогою декількох переходів "яма-горб", "горб-яма".

У зв'язку з названими особливостями цього методу важко здійснити одночасно високу автоматизацію і точність поверхневого притиру.

2.3. Технологічні системи механічної обробки заготовок

Оптичні деталі виготовляють механічною обробкою заготовок із зняттям припуску. Припуск знімається послідовним виконанням ряду операцій обробки скла. У основному це шліфування інструментом із закріпленими ріжучими алмазними зернами і притирання з водними суспензіями шліфувальних, а потім полірувальних абразивів.

Мета операцій - уточнення розмірів та форми, а також зменшення мікронерівностей оброблюваної поверхні заготовки. Для досягнення мети вибирають ту чи іншу технологічну систему ВПД – "верстат-пристосування-інструмент-деталь".

Обробка деталей з оптичною точністю досягається доведенням виконавчих поверхонь вільним притиранням. Заготовка та інструмент (притир) в процесі обробки складають два елементи кінематичної пари.

Для обробки оптичних виконавчих, допоміжних і вільних поверхонь деталей застосовують різні технологічні системи обробки ВПД (рис. 2.3).

Системи ВПД, що застосовуються для обробних операцій відрізняються:

- геометричною побудовою;
- кінематичною схемою обробки;
- видом інструменту;
- способом замикання інструмента з заготовкою;
- способами обробки поверхонь і їх точністю.

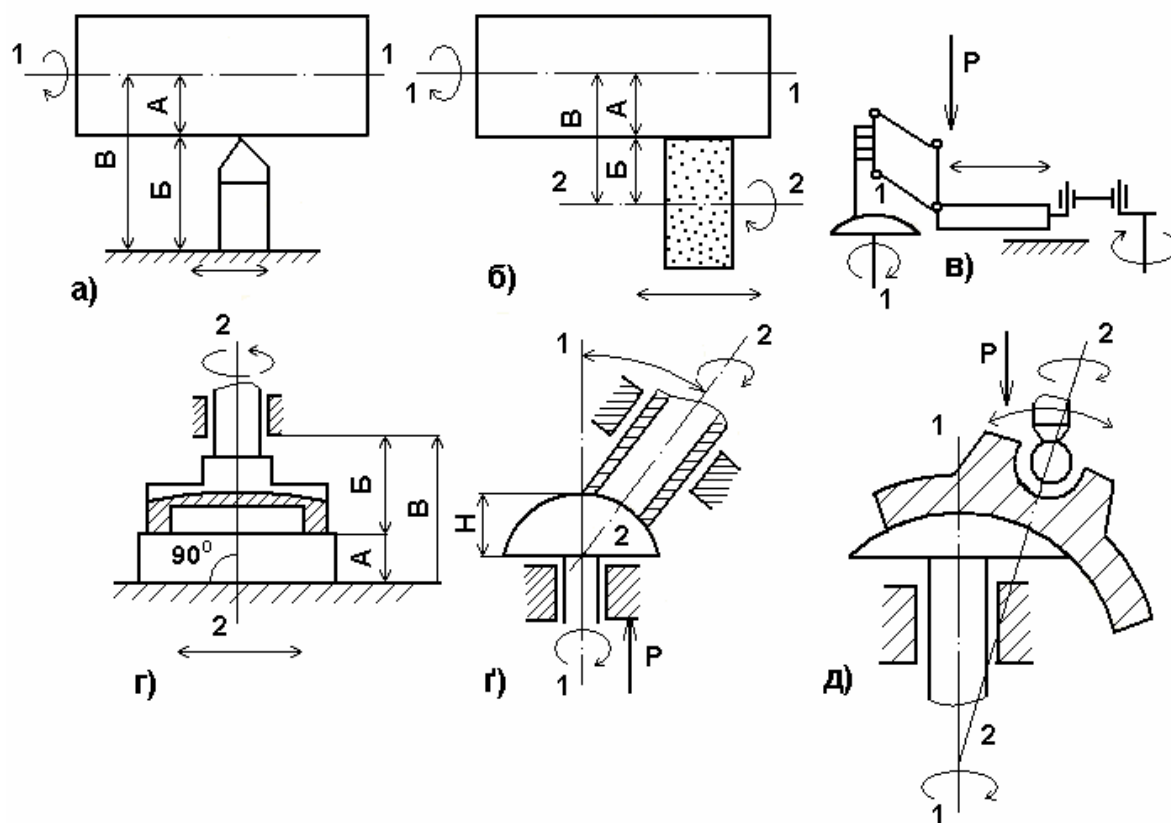


Рис. 2.3. Системи ВПД обробки заготовок оптичних деталей

- а) геометричне замикання, дотик у точці; б) геометричне замикання, дотик по лінії;
 в) силове замикання, дотик по лінії; г) геометричне замикання, дотик по поверхні;
 д) силове замикання, дотик по поверхні

Основними ознаками систем ВПД, що застосовуються у технології виготовлення оптичних деталей, є:

- 1) геометричний або силовий спосіб замикання ланцюга руху робочих органів елементами кінематичної пари "інструмент-заготовка", від якого залежить кінцева *точність форми і кривизни оброблюваної поверхні*;
- 2) вид дотику інструменту до оброблюваної поверхні заготовки: в точці, по лінії, по поверхні (від цього залежать досяжна шорсткість і геометрична досконалість форми поверхні, тобто *якість оброблюваної поверхні*).

В системі, приведений на рис. 2.3, а, здійснено геометричне замикання заготовки з інструментом - різцем, які дотикаються в одній

точці. Різець переміщується прямолінійно, а заготовка обертається. Припуск знімається точінням аналогічно токарній обробці металів. Розмірний ланцюг $B=A+B$ (де A - радіус заготовки, B - розмір для установки інструменту в системі ВПД) замикається геометрично; вимірювальна база суміщена з настановною. Неточності виготовлення і настройки верстата, похибки установки інструменту і заготовки передаються на задану форму і розміри деталі. Наприклад, непаралельність осі обертання заготовки направляючим руху різцевого супорта приводить до утворення конічної, а не циліндричної поверхні деталі.

Точіння різцем застосовують для зняття великого об'єму припуску в виняткових випадках при попередній обробці оптичних виконавчих поверхонь великих розмірів на верстатах типу карусельних.

В системі, наведеній на рис. 2.3, б, здійснено геометричне замикання заготовки з інструментом, які дотикаються по лінії або по видовженій смузі невеликої ширини, як у круглошліфувальних металоріжучих верстатах. Круг із закріпленими абразивними або алмазними зернами поступально переміщується і обертається, а заготовка тільки обертається. Розмірний ланцюг $B=A+B$ системи ВПД замкнутий геометрично; вимірювальна база суміщена з настановною. Похибки виготовлення виникають такі ж, як і в системі, наведеній на рис. 2.3, а, але поверхня не має направлених слідів обробки, оскільки елементи пари "інструмент – заготовка" замикаються по лінії, а не в точці. За системою, зображеною на рис. 2.3, б, обробляються допоміжні циліндричні поверхні лінз та сіток, а також конічні фаски оптичних деталей. Інструмент не правиться протягом операції обробки. Цю технологічну систему іноді застосовують для грубого полірування циліндричних поверхонь, наприклад, активних тіл лазерів, циліндричних поверхонь для підсвічування шкал сіток. При цьому досягається шорсткість поверхні $R_z = 0,1$ мкм.

У системі, зображеній на рис. 2.3, в, дотик заготовки з інструментом – ножом здійснюється по лінії, а замикання цієї кінематичної пари здійснюється силою P . Знімання припуску відбувається в процесі взаємного притирання робочої кромки інструмента і поверхні заготовки за допомогою абразивної суспензії. Заготовка обертається, а ніж здійснює зворотно-поступальний коливальний рух паралельно осі $1 - 1$. Відстань між настановною базою заготовки і ріжучою кромкою ножа змінна. Кінематична схема обробки побудована так, що сприяє утворенню параболічних поверхонь. Ця схема матеріалізує геометричну властивість: при перетині параболоїда площинами, паралельними його осі симетрії, утворюються параболи одного й того ж параметра. Зношування та правка кривизни робочої кромки інструменту й зміна параметрів настройки верстата сприяють утворенню поверхні заданих геометричних параметрів.

У результаті одночасного застосування принципів геометричної побудови та притирання при деяких модифікаціях системи, наведеної на рис. 2.3, в, утворюються поверхні другого порядку – параболоїдні, еліпсоїдні і гіперболоїдні. Цю технологічну систему застосовують як для операцій шліфування, так і полірування. Поліруванням досягається шорсткість поверхні $R_z = 0,05$ мкм.

У системі, показаній на рис. 2.3, г, заготовка дотикається з інструментом по поверхні при геометричному замиканні розмірного і кінематичного ланцюгів. Настановними базами для інструменту служать упорні підшипники. Взаємний притир не має місця, оскільки інструмент закріплений жорстко і не міняє геометрію профілю за час операції. Застосовується інструмент з кільцевою або секторною робочою кромкою. Якщо заготовка здійснює зворотно-поступальний плоский рух, то утворюється плоска поверхня. Налаштування системи при геометричному замиканні виконують як $A = B - B$.

У системі, наведеній на рис. 2.3, г, інструмент і заготовка обертаються на осях, що перетинаються і закріплені під деяким кутом.

При цьому утворюється сфера. Налаштування системи для утворення сфери заданого радіуса R виконують за формулами

$$d = \sqrt{2RH};$$

$$\sin \varphi = d/2R,$$

де: H – висота сегменту оброблюваної поверхні;

d – зовнішній діаметр інструменту;

φ – кут між осями обертання заготовки 1 – 1 та інструменту 2 – 2.

Обробку ведуть методом врізування, при якому інструмент всією площею або широкою кромкою подається на оброблювану поверхню заготовки. Відхилення розміру виникають через неточність установок. Відхилення форми від сфери виникають через похибки в компланарності осей. Для обробки сфер застосовують оптичні верстати типу Алмаз або АШС, а для площин – металорізальні. У цій системі здійснюється, головним чином, попереднє шліфування виконавчих оптичних або остаточне допоміжних плоских і сферичних поверхонь, але іноді ведеться грубе полірування лінз конденсорів.

У системі, наведеній на рис. 2.3, δ , інструмент стикається з заготовкою по поверхні силовим замиканням, і вони взаємно притираються за допомогою суспензій абразивних порошків. Заготовка або інструмент обертається, а друга ланка за допомогою кульового шарніра обертається й гойдається, самовстановлюючись на контактній поверхні притирання. Кут між осями 1 – 1 і 2 – 2 змінний. Інструмент і заготовка утворюють елементи кінематичної пари 3-го класу. При цьому утворюються тільки сфери або в окремому (перехідному) випадку площина. Інструмент працює за методом врізування, дотикаючись із заготовкою більшою частиною своєї поверхні. У системі ВПД інструмент з віссю обертання 2 – 2 та заготовка з віссю обертання 1 – 1 розглядаються як два елементи кінематичної пари, що замикають ланцюг відносних

переміщень елементів системи. Осі $1 - 1$ і $2 - 2$ є настановними базами заготовки та інструменту відповідно. Найбільш універсальною для обробки оптичних деталей на верстатах ШП є саме система, показана на рис. 2.3, д. З її допомогою обробляють виконавчі поверхні більшості оптичних деталей, тобто виконують попередні і заключні операції шліфування і полірування оптичних поверхонь.

Кінематичною основою систем ВПД є кінематична схема обробки. Кінематичні схеми обробки поверхонь оптичних деталей відображають абсолютні прості обертальні і поступальні рухи, які в тому або іншому поєднанні передаються інструменту і заготовці в різних технологічних системах ВПД.

У технології обробки оптичних плоских і сферичних поверхонь найчастіше застосовуються верстати типу ШП, що працюють за способом вільного притирання (рис. 2.3, д). Тому, як приклад, наведемо кінематичну схему обробки сферичних оптичних поверхонь деталей на верстатах цього типу.

З кінематичної схеми верстата (рис. 2.4) виділені й розглядаються прості рухи навкруги осей $1 - 1$, $2 - 2$. Повідець 6 гойдається навколо коромисла 4 і разом з ним і кареткою 5 навколо осі $3 - 3$. Цей складний рух завдяки кульовому шарніру 7 приводить до простого плоского руху навколо центру оброблюваної сферичної поверхні.

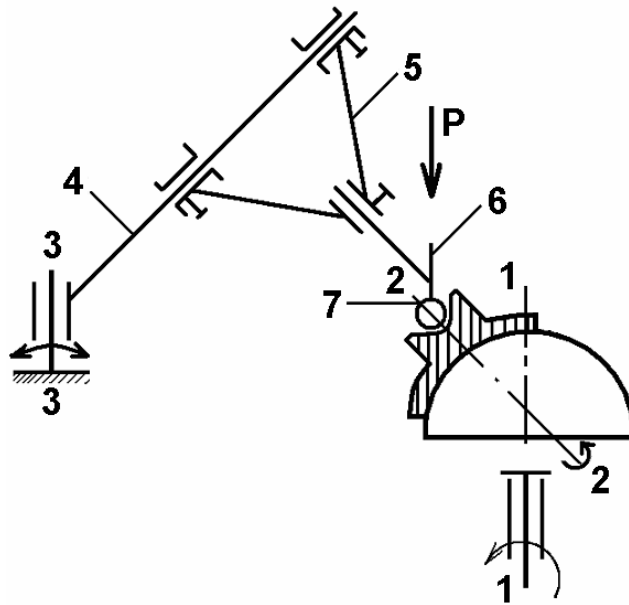


Рис. 2.4. Кінематична схема роботи верстата типу ШП

Таким чином, в огляді систем ВПД наведені головні технологічні принципи побудови операцій, при послідовному застосуванні яких переходячи від попередньої обробки до завершальної, деталі доводяться до заданих параметрів оптичної поверхні по точності – N , ΔN , і якості – P , R_z .

На використанні цих принципів побудовані операції обробки сферичних, плоских і асферичних поверхонь оптичних деталей (грубого і тонкого шліфування, полірування, центрування і фасетування).

3. Типові оптичні деталі та вузли

На даний час оптичні деталі класифікують за двома ознаками: *функціональному призначенню і геометричній формі*.

За *функціональним призначенням* всі оптичні деталі поділяються на наступні види:

- такі, що створюють відхилення осі оптичної системи (кліни, заломлюючі призми);
- такі, що створюють поступальний зсув частини системи (лінзи, дзеркала, плоскопаралельні пластинки, відбиваючі призми);
- такі, що створюють додаткову оптичну силу (колективи);
- коригуючі елементи, які не викликають перерахованих вище відхилень, але впливають на якість зображення (пластини Шмідта);
- диспергуючі елементи, що розкладають випромінювання на монохроматичні складові (заломлюючі призми, дифракційні ґратки);
- поляризаційні елементи, що перетворюють світло в поляризоване (двопроменезаломлюючі призми);
- комбіновані елементи, що сполучають у собі одночасно кілька вищеперерахованих функцій.

За *геометричними ознаками* оптичні деталі розділяють на наступні основні типи:

- лінзи,
- пластини,
- кліни,
- призми,
- дзеркала з плоскими і криволінійними поверхнями.

Крім перелічених, існують додаткові типи оптичних деталей:

- асферичні;

- комбінації основних типів (наприклад, децентровані лінзи, лінзи з трьома заломлюючими поверхнями, лінзові растри);
- комбінації поверхонь складного мікропрофілю (наприклад, дифракційні ґратки, волоконно-оптичні елементи, мікроканалні пластини).

3.1. Умовні позначення, які використовуються на кресленнях

Робочі креслення оптичних деталей виконуються відповідно до вимоги ЄСКД (ГОСТ 2.412-81) [11]. Оптичні деталі і складальні одиниці, що складаються з оптичних деталей, сполучених між собою склеюванням або оптичним контактом, змальовують на кресленнях за ходом променя, що йде зліва направо. На кресленнях оптичних деталей в правій верхній частині поміщають таблицю (табл. 3.1), що містить вимоги до матеріалу, вимоги до виготовлення і розрахункові дані [12]. На кресленнях оптичних складальних одиниць таблиця містить вимоги до виготовлення і розрахункові дані.

Таблиця 3.1

Приклад таблиці на
оптичних кресленнях

Δn_e	ЗВ
$\Delta(n_F - n_C)$	ЗВ
Однорідність	3
Подв.променез.	3
Світлопоглин.	2
Беззвильність	ЗВ
Пухирність	2Б
N_{AB}	5
ΔN_{AB}	0,5
C	0,05
P_A	IV
P_B	V
ΔR_{AB}	3
f'	48,87
S_F	-42,65
$S'_{F'}$	48,71±0,81
св.ØА	26,1
св.ØБ	

Вимоги до матеріалу:

1. Категорія і клас по показнику заломлення Δn_e ;
2. Категорія і клас по середній дисперсії $\Delta(n_F - n_C)$;
3. Категорія по оптичній однорідності;
4. Категорія по подвійному променезаломленню;
5. Категорія по світлопоглинанню;
6. Категорія і клас беззвильності;
7. Категорія і клас пухирності.

Вимоги до виготовлення:

1. Граничне відхилення стрілки кривизни поверхні деталі від стрілки кривизни поверхні пробного скла, виражене числом інтерференційних кілець або смуг N ;
2. Граничне відхилення форми поверхні від сфери або плоскості, виражене числом інтерференційних кілець або смуг N ;
3. Допустима спільна децентровка або децентровка кожної поверхні (для лінз) 3 (у мм);
4. Клас (група) дефектів на полірованій поверхні P ;
5. Гранична клиновидність пластин (у хвилинах або секундах);
6. Гранична пірамідальність призми (у хвилинах або секундах).

Розрахункові дані:

1. Світловий діаметр $св \varnothing$;
2. Фокусна відстань f' ;
3. Передня вершинна фокусна відстань S_F ;
4. Задня вершинна фокусна відстань S'_F .

Одну з цих величин дають з граничними відхиленнями.

Таблиця 3.2

Допуски на характеристики оптичних матеріалів

Вимоги до матеріалу	Тип оптичної системи		
	Об'єктив		Конденсор
	довгофокусний (зорова труба)	Короткофокусний (мікроскоп)	
Δn	(1 – 3) А, Б	(1 – 3) Б	3У
$\Delta(nF' - nC')$	(1 – 2) Б, В	(1 – 2) У	2У
Однорідн.	1	4	4
Подв. променезалом.	3	3 – 4	4 – 5
Світлопоглинання	0 - 3	1 – 2	0 – 1
Беззвильність	1У	1У	2У
Пухирність	(7 – 9) Г, Д	5Г	(3 – 7) Г, Д

Таблиця 3.3

Допуски на виготовлення лінз

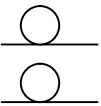
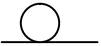
Призначення лінзи	N	ΔN	ΔR	Допуск на товщину, мм	З, мм	P
Об'єктив телескопічної системи	2 – 3	0,2 – 0,5	2 – 3	0,1 – 0,3	0,01 – 0,05	IV – V
Обертаючі лінзи	3 – 5	0,3 – 0,5	2	0,2 – 0,3	0,02 – 0,1	V – VI
Конденсори Колективи	10 – 15	1 – 2		0,2 – 0,5	0,05 – 0,2	
		0,5 – 1	3	0,2 – 0,5		
Об'єктиви коліматорів	0,1 – 0,5	0,2 – 0,5	1 – 2	0,05 – 0,1	0,05 – 0,1	II, IV
Мікрооб'єктиви до 10*0,25	2 – 3	0,2 – 0,5	2 – 3	0,01 – 0,05		I, II
Мікрооб'єктиви до 40*0,65	1 – 2	0,1 – 0,2	1 – 2		0,003 – 0,005	

На кресленнях тих деталей, що підлягають покриттю, на зображенні поверхні, що підлягає покриттю, або на виносній лінії до неї наносять відповідний умовний графічний знак покриття (табл. 3.4) [4]. У технічних вимогах вказують умовний графічний знак з індексом поверхні і умовне позначення покриття.

Захисні фаски допускається графічно не змальовувати, розміри фаски вказують на полі лінії винесення або в технічних вимогах. Перед розмірним числом радіусу сферичної поверхні R слово "сфера" не пишуть. Якщо передбачено забарвлення неробочих матових поверхонь деталей, в технічних вимогах поміщають відповідні вказівки.

Таблиця 3.4

Типи покриттів оптичних деталей

Типи покриттів	Скорочене найменування	Умове графічне зображення
Непрозорі, що віддзеркалюють Зовнішнє віддзеркалення Внутрішнє віддзеркалення	Зеркальн.	
Світлоділильні (напівпрозорі)	Світлоділ.	
Просвітлюючі	Просвітл.	
Покриття-фільтри	Фільтр.	
Захисні прозорі	Захисн.	
Струмопровідні	Струмопровід.	
Поляризаційні	Поляриз.	

3.2. Оформлення креслень типових оптичних деталей та вузлів

3.2.1. Лінзи

Лінзи – це типові оптичні деталі, виготовлені з оптичного скла або іншого прозорого матеріалу та обмежені поверхнями обертання. Основні конструктивні елементи лінз показано на рис. 3.1 [4]. По своїй формі лінзи можуть бути: двовипуклі, плосковипуклі, двоввігнуті, плосковвігнуті, а також ввігнутовипуклі та випукловвігнуті – меніски (рис. 3.2). Приклад робочого креслення лінзи показано на рис. 3.3 (таблиця – в табл. 3.1) [4].

Основні конструктивні елементи лінз:

D повн.- повний діаметр;

D св.- світловий діаметр;

t - товщина по краю;

d - товщина по оптичній осі;

m -розмір фаски;

R - радіус заломлюючої поверхні.

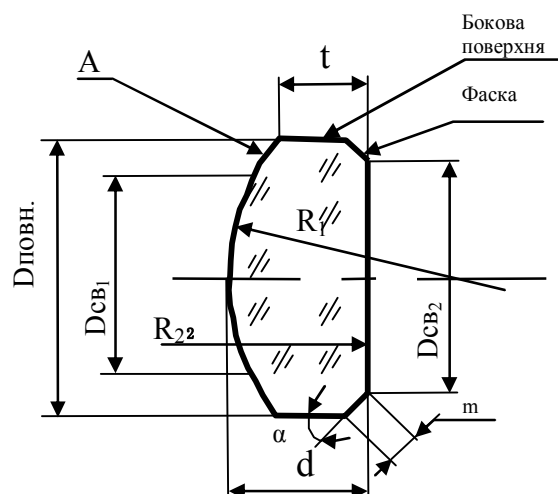


Рис. 3.1. Конструктивні елементи лінзи

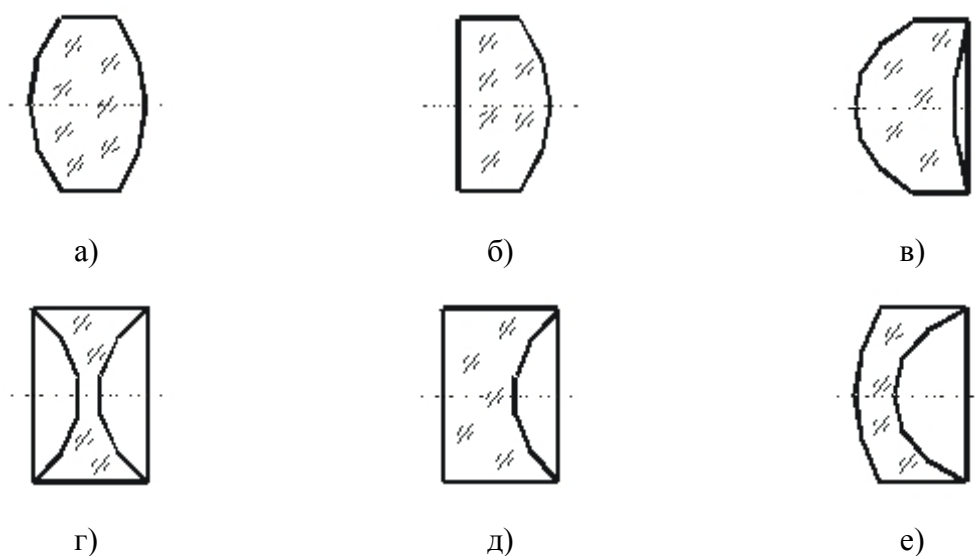
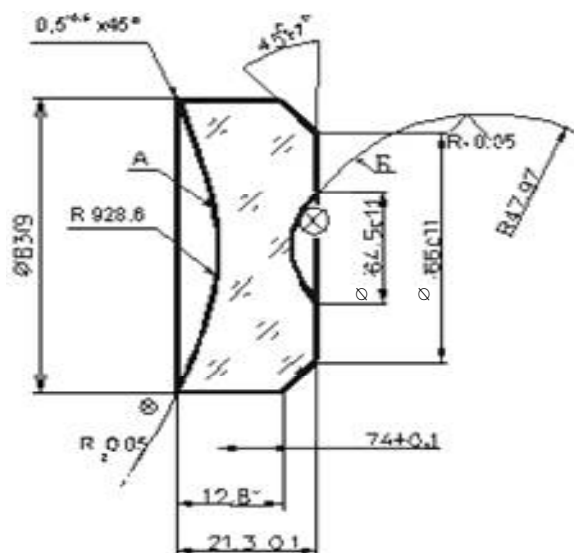


Рис. 3.2. Типи лінз: а – двовипукла; б – плосковипукла; в – позитивний меніск; г – двоввігнута; д – плосковвігнута; е – негативний меніск

Допуски на повний діаметр призначають залежно від точності центрування (табл. 3.5). Товщину лінзи розраховують з врахуванням технологічної міцності (особливо для негативних лінз), забезпечення необхідної базової поверхні для закріплення, а також наявності фасок. Для позитивних лінз за основу береться найменша товщина t по краю, а для негативних – найменша товщина d по осі. При виборі цих розмірів необхідно стежити за тим, щоб виконувалася умова $t \geq 0,05 D_{\text{повн}}$ – для позитивних лінз і $t > 0,08 D_{\text{повн}}$ – для негативних лінз. Для усунення

сколювань, що з'являються при виготовленні і для оберігання від сколювань при установці лінзи в оправу, виконують так звані фаски [4, 11]. Їх розміри визначаються діаметром і умовою установки лінз (табл. 3.6). Фаски для лінз, закріплених вальцюванням, мають більші розміри, ніж захисні фаски.



1. * Розміри для довідок.

2. А. Просвітлення 43Р за ТУ...,

$\lambda = 520 \pm 30$ нм.

Б. Просвітлення 44Р, 43Р за ТУ ...,

$\lambda = 520 \pm 30$ нм.

3. Покриття матових поверхонь емаль чорна по ТУ...

Рис. 3.3. Приклад робочого креслення лінзи

Таблиця 3.5

Допуски на повний діаметр лінз залежно від точності центрування

Точність центрування		Допуски на діаметри, мм		Допуски на посадочний діаметр оправ
Характеристика	допуск, мм	центрованої	нецентрованої	
Підвищена	< 0,05	g6, f8	d11	H7
Середня	0,05 – 0,1	h8, h9, f9	d9, b11	H8, H9
Знижена	> 0.1	b11	-	H11

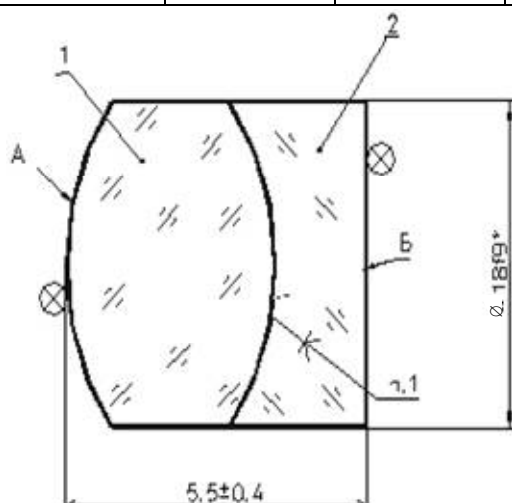
Лінзи в оптичній системі можуть використовуватися як одиночні елементи, так і у вигляді склеєних блоків. Склеювання лінз дозволяє істотно спростити конструкцію оправ, підвищити надійність і якість оптичних систем. Так само, як і на будь-яку складальну одиницю, на

склеєний блок виконується складальне креслення (рис. 3.4), на якому вказують параметри, контрольовані після склеювання ($N, N', Z, P, f', S_f, S'_f, св. \emptyset$), а також технічні вимоги на операції, виконані після склеювання. Креслення забезпечують специфікацією з вказівкою деталей, що входять в лінзовий блок. Ця специфікація розташовується над основним написом. Для склеювання лінз використовується бальзамін (для легких умов експлуатації) і епоксидний клей ОК-50 [4].

Таблиця 3.6

Товщина лінз і розміри фасок

Повний діаметр лінз	Товщина позит. лінзи- t мм	Товщина негат. лінзи-d мм	Ширина фаски m, мм		
			Не склеювана поверхня	Склеювана поверхня	Під завальцовку
<6	0,6	0,8	$0,1^{+0,1}$	$0,1^{+0,1}$	$0,1^{+0,2}$
6-10	0,8	1,0	$0,1^{+0,2}$	$0,1^{+0,2}$	$0,3^{+0,2}$
10-18	1,0	1,3	$0,2^{+0,3}$		$0,4^{+0,2}$
18-30	1,5	1,8	$0,3^{+0,3}$	$0,2^{+0,2}$	$0,5^{+0,3}$
30-50	2,0	3,0	$0,3^{+0,4}$		$0,7^{+0,5}$
50-80	3,0	5,0	$0,4^{+0,5}$		$1,0^{+0,5}$
80-120	5,0	8,0	$0,5^{+0,6}$		--
>120	6,0	--	$0,7^{+0,8}$		--



1. Клейти ОК - 50 по ТУ...
2. АБ. Просвітлення 44 Р.43 Р по ТУ...
3. Покриття матових поверхонь емаль чорна по ТУ...

Рис. 3.4. Приклад складального креслення склеєного блоку

3.2.2. Дзеркала

Форма плоских дзеркал визначається місцем розташування їх в оптичній системі, формою падаючого на них пучка, а також діапазоном коливань, якщо дзеркало рухливе [11]. Якщо дзеркало нерухоме, його габаритні розміри визначають для найбільш несприятливого випадку, тобто для найменшого кута ω і для найбільшого значення l (рис. 3.5) [4].

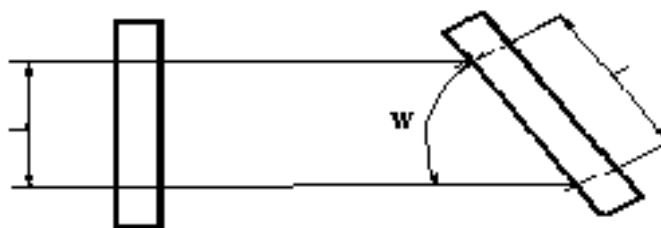


Рис. 3.5. Визначення розміру дзеркала l

Для забезпечення юстування і закріплення дзеркал, їх розміри дещо збільшують. Припуски визначаються способами закріплення дзеркал і юстувальними переміщеннями. Товщину дзеркал d визначають залежно від найбільшого розміру дзеркала l_{max} і точності його виготовлення. При цьому необхідно дотримуватися співвідношень [4]:

$d \geq (1/5 \dots 1/7) l_{max}$ – для особливо точних дзеркал (системи автоколімацій, інтерференційні і спектральні прилади);

$d > (1/8 \dots 1/10) l_{max}$ – для точних дзеркал (прилади спостереження, скануючі системи, телевізійні прилади);

$d > (1/15 \dots 1/25) l_{max}$ – для грубих дзеркал, що застосовуються, в основному, в освітлювальних системах [11].

Дзеркала мають захисні фаски на кромках і кутах. Для дзеркал круглої форми застосовують фаски, аналогічні фаскам лінз, а для некруглих – фаски, які рекомендуються для призм.

У таблиці вимог до якості покриття матеріалу для дзеркал із зовнішнім покриттям вказують, як правило, лише категорію подвійного

променезаломлення, оскільки цим показником визначаються внутрішні напруги в матеріалі. Для особливо точних дзеркал вони мають бути мінімальними. Для дзеркал з внутрішнім віддзеркаленням вимоги до якості оптичних матеріалів такі ж, що і для лінз аналогічного призначення (табл. 3.9).

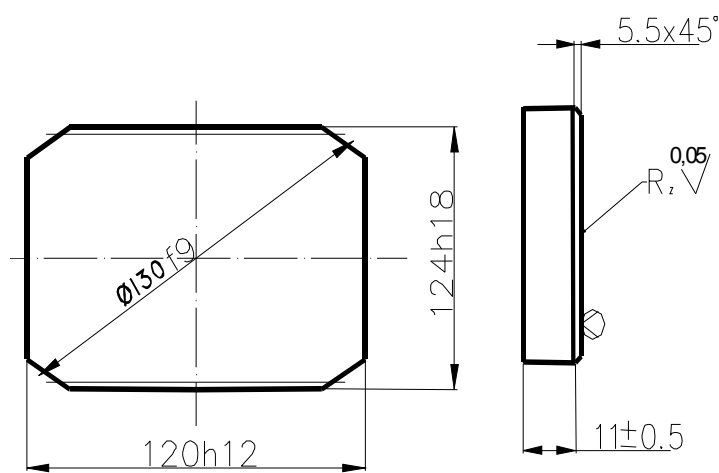
Таблиця 3.9

Вимоги до виготовлення дзеркал

Тип дзеркал	Δn_e $\Delta(nF' - nc')\Delta$	Одно-рідність	Дво-промен.	Беззвильність	Пухирність	NI	ΔNI	θ	P	ΔR
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Із зовнішн. відбиттям.	-	-	2 - 4	-	(5-7) Г,Д	2 - 5	0,2-0,5	-	V-VI	2-3
Із внутр. відбиттям.	(2-3) Б	3 - 4	2 - 4	2Б	(4-5) В,Г	2 - 5	0,5-1,0	1-3	V-VI	2-3
Світлоділ. дзеркал	(3-4) В	3 - 4	2 - 4	2Б	(4-5) В,Г	1 - 2	0,5-1,0	4-6	V-VI	1-2

На кресленні дзеркала вказують позначення дзеркального або світлоділильного покриття (рис. 3.6). Металеві покриття застосовують для повністю відбиваючих і частково світлоділильних поверхонь. Діелектричні – для світлоділильних і таких, що вибірково відбивають. Вибір покриття для дзеркал визначається спектральним діапазоном роботи і оптичними властивостями покриття: значенням коефіцієнта відбиття ρ і пропускання τ .

Дзеркала зазвичай виготовляються із скла К8 або з металу з подальшим покриттям. Найбільш вживані дзеркальні покриття: 25Р,8И,1И; 1И31И; 1И.21Е; світлоділильні: 25Р.; 1И.21Э. 15И. 43Р. 30Р.



1. Дзеркальн. 1.И.72.П по ТУ...
2. Розкриті бульбашки на дзеркальній поверхні не допускаються.
3. Фаски $0,2^{+0,5} \times 45^\circ$ навколо

Δn	-
$\Delta(nF' - nc')$	-
Однорідність	-
Подв. променезал.	2
Світлопоглинання	-
Беззвильність	-
Пухирність	3У
N	2
ΔN	0,2
θ	$10'$
P	1V
fmin	500
Св $\emptyset$	119 * 106

Рис. 3.6 Приклад робочого креслення дзеркала

3.2.3. Призми

Призми (рис. 3.7) [4] застосовують для:

- зміни ходу променю в приладі;
- зміни напрямку оптичної осі системи;
- зміни напрямку лінії візування;
- повороту зображення;
- зменшення габаритного ходу променю;
- розділення пучка променів;
- обертання зображення або компенсації повороту;
- розкладу в спектр;
- поляризації світла.

Основним конструктивним параметром призми [4], знаючи який можна знайти решту її розмірів, є найменший діаметр d пучка променів, що пропускається, рівний сумі світлового діаметру i припуску для

виготовлення фасок, забезпечення юстування і кріплення призми в оправі. Цей припуск визначається у кожному конкретному випадку.

Робоче креслення призми повинне наочно розкривати її форму і містити всі лінійні і кутові розміри, необхідні для її виготовлення (рис. 3.8). На ребрах і кутах призми виконуються фаски, які оберігають її від сколювань (табл. 3.7) [4]. Інколи фаски роблять для видалення надлишків скла або для забезпечення кріплення призми. Фаски на ребрах знімаються по нормалі до бісектриси двогранного кута. На ребрі даху фаски небажані, а якщо їх виконують, то дуже малої ширини 0,02 – 0,05 мм.

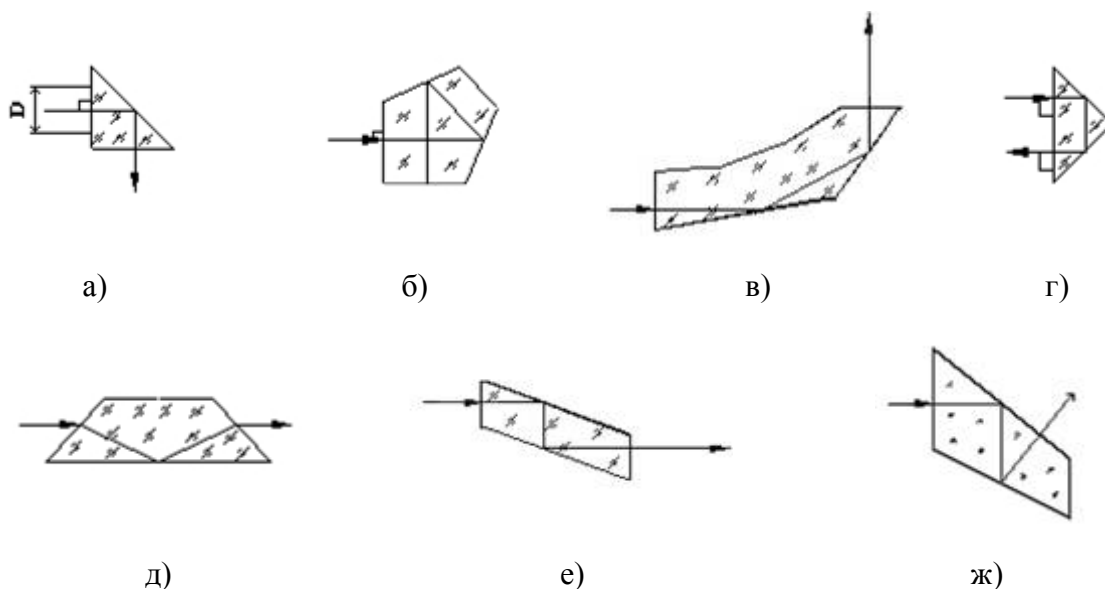


Рис. 3.7. Основні типи призм

*а – АР-90°; б – БП-90° пентапризма; в – БР-90° призма Воластона;
г – БР-180° кутовий відбивач; д – АР-0° призма Дове; е – БС-0° призма – ромб;
ж – БУ-45° наівпентапризма*

Допуски на лінійні розміри призм зазвичай не жорсткі, оскільки відхилення ці не спричиняють помітного впливу на якість зображення.

Допуски на відбиваючі грані призми під пробне скло визначаються групою точності (табл. 3.8).

Призначаючи допуски на кути слід враховувати, що виготовлення призм з допуском менше однієї кутової хвилини технологічно складний

процес, а при допуску більше десяти хвилин ускладнюється юстування приладу.

Таблиця 3.7

Розміри фасок призм

Довжина найбільш короткого ребра, мм	Ширина фаски, мм	
	на ребрах	На тригранних кутах
< 6	$0,1^{+0,2}$	$1^{+0,4}$
6 – 10	$0,2^{+0,3}$	
10 – 18	$0,3^{+0,4}$	
18 – 30	$0,4^{+0,5}$	$1,5^{+0,5}$
30 – 50	$0,5^{+0,6}$	$2^{+0,6}$
> 50	$0,7^{+0,8}$	$2,5^{+0,8}$

Таблиця 3.8

Вимоги до виготовлення призм

Група точності	N	ΔN	Найменший допуск на окремі кути, хвилини	Приклади призм
Висока	0,2 – 0,5	0,05 – 0,2	1 – 5	Призми з дахом, куб-призми
Середня	0,5 – 2,0	0,2 – 0,5	2 – 5	Обертаючі, компенсатори
Низька	5 – 10	1 - 2	10 – 15	Просвітлюючі

Для відповідальних призм на кресленні приводять значення роздільної здатності ε і мінімальне значення фокусної відстані f_{min} .

Якщо на поверхню призми наноситься покриття, зазвичай просвітлююче на заломлюючі грані і дзеркальне на відбиваючі, то вони

вказуються в нижній частині креслення. Кращим дзеркальним покриттям є 25P.3E.72PI. – сріблення, із захисним шаром міді і лаку [4].

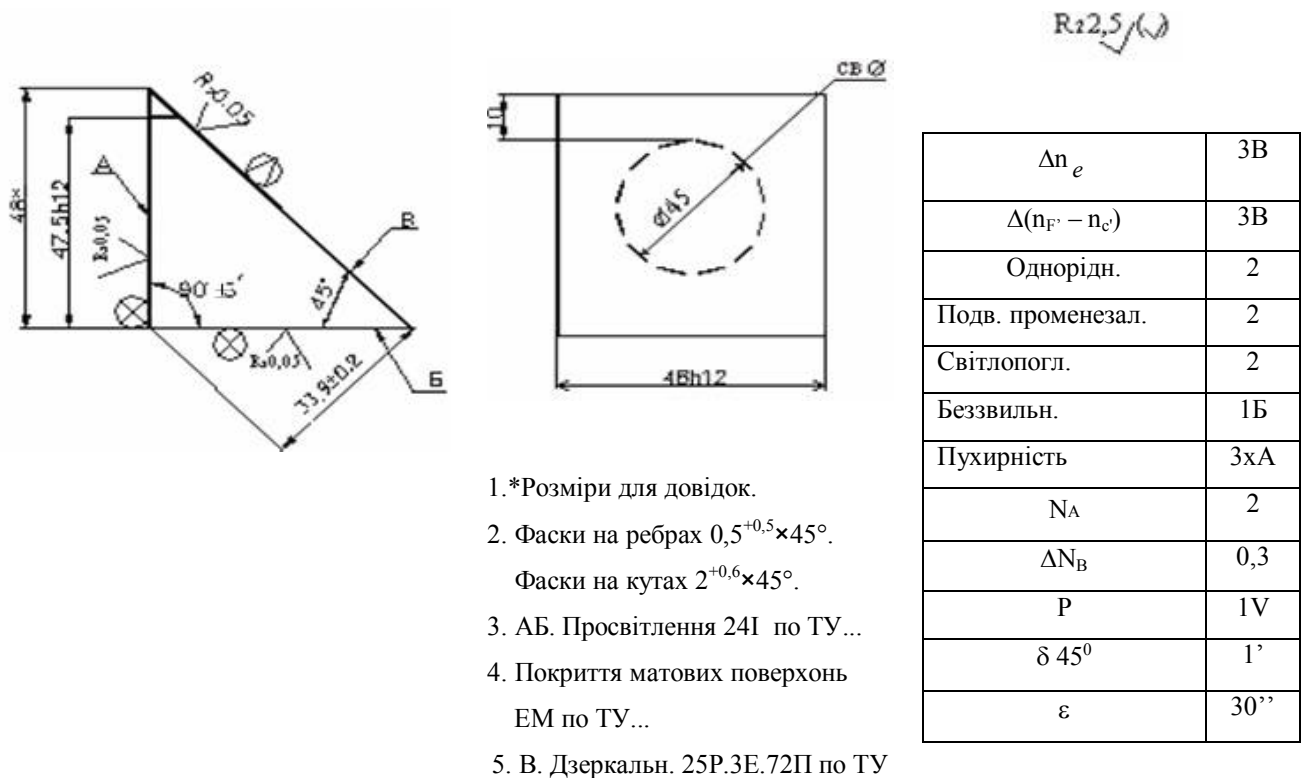


Рис. 3.8. Приклад робочого креслення призми

3.2.4. Сітки

Візорні сітки зазвичай мають перехрестя з розривом в центрі і застосовуються виключно для наведення на об'єкт.

Вимірювальні сітки являють собою системи повторюваних однотипних елементів (ліній або фігур), розташованих один відносно іншого за певним законом. Через 5-10 елементів зазвичай розташовуються цифри, які слугують для оцінки вимірюваних величин.

Сітки з розподілами, нанесеними в лінійній мірі, називаються шкалами, а в кутовій - лімбом.

Комбіновані сітки представляють собою складні системи штрихів, марок, індексів і поділів.

3.2.5. Об'єктиви

Об'єктив – головний елемент будь-якої оптичної системи, від якості якого залежить якість всієї оптичної системи [4, 11, 14]. Тому до конструкції об'єктива пред'являються дуже високі вимоги.

Якщо однією з умов роботи оптичної системи є паралельність внутрішніх осей, то об'єктиви кріпляться в ексцентриковій оправі. У деяких прицільних приладах ексцентрикові оправы застосовують для сполучення осі системи з віссю різьблення.

У зв'язку з похибкою виготовлення оптичних деталей і зокрема похибкою фокусних відстаней виникає необхідність поздовжнього юстування об'єктивів. З цією метою застосовуються різні компенсатори: установка оправы об'єктива на різьбленні, підрізання кілець, установка прокладних кілець. Підбором товщини або підрізанням прокладок виконується фокусування. Фокусні відстані лінз витримують при виготовленні з похибкою 1-2%, тому якщо фокусна відстань об'єктива повинна точно відповідати розрахунку, застосовуються об'єктиви з регульованим повітряним проміжком. Змінюючи відстань між лінзами, можна компенсувати помилки фокусних відстаней кожної з лінз і одержати необхідну величину.

Фото- і кінооб'єктиви становлять особливу групу [4, 15]. Для приєднання їх до камери використовують швидкороз'ємне кріплення (різьбове або штикове).

Кріплення мікрооб'єктива до тубуса мікроскопа виконується за допомогою спеціального об'єктивного різьблення.

На рис. 3.9 показано об'єктив насипної конструкції. Всі елементи встановлюються в оправу 1 насипним способом. Для зручності складання та кріплення оптичні елементи об'єднані у вузли 2 і 4. Кріплення лінз здійснюється вальцюванням. Для регулювання відстані d між компонентами передбачене проміжне кільце 3. Об'єктив кріпиться до

приладу за допомогою різьблення. Для зручності ззовні корпусу передбачене зовнішнє кільце з накаткою.

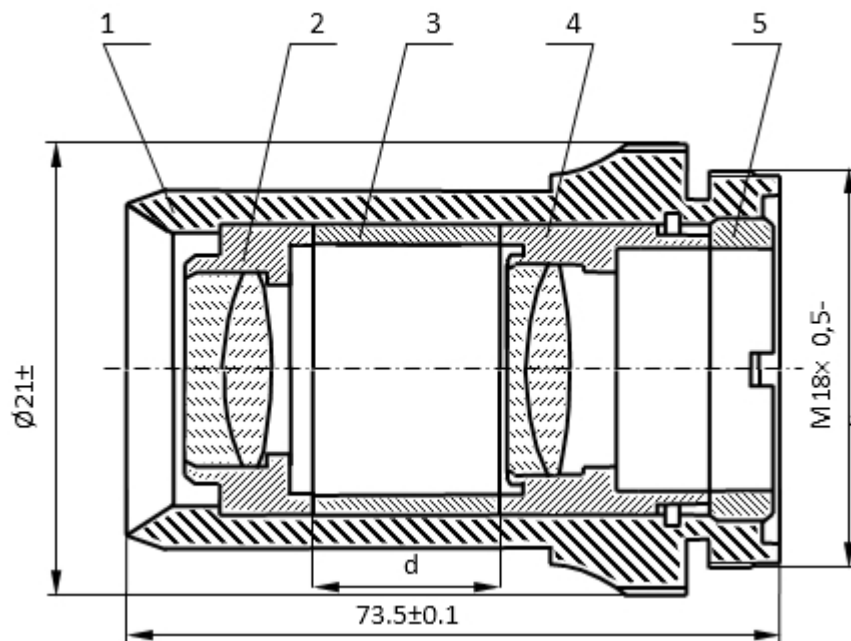


Рис. 3.9. Конструкція об'єктива [4]: 1 – оправа; 2 – вузол оптичних елементів; 3 – проміжне кільце; 4 – вузол оптичних елементів; 5 – різьбове кільце

3.2.7. Окуляри

Для спостереження зображення, що створюється об'єктивом, в оптичних приладах використовуються окуляри. За оптичними схемами та конструктивними особливостями їх можна поділити на окуляри телескопічних приладів та окуляри мікроскопів. Для телескопічних приладів застосовують окуляри із зовнішнім або внутрішнім фокусуванням. Особливу групу складають автоколімаційні окуляри [4].

На рис. 3.10 показано конструкцію окуляра. У загальний окулярний тубус 2 вставляється дві складових: компонент із сіткою 1 і очний компонент 3. Сітка 5 кріпиться зовнішнім різьбовим кільцем. Очний компонент 3 переміщається по різьбленню та фокусується на сітку. Обидва компоненти 1 і 3 разом з тубусом 2 можуть обертатися і переміщуватися у тубусі мікроскопа, що дає можливість здійснювати орієнтацію сітки.

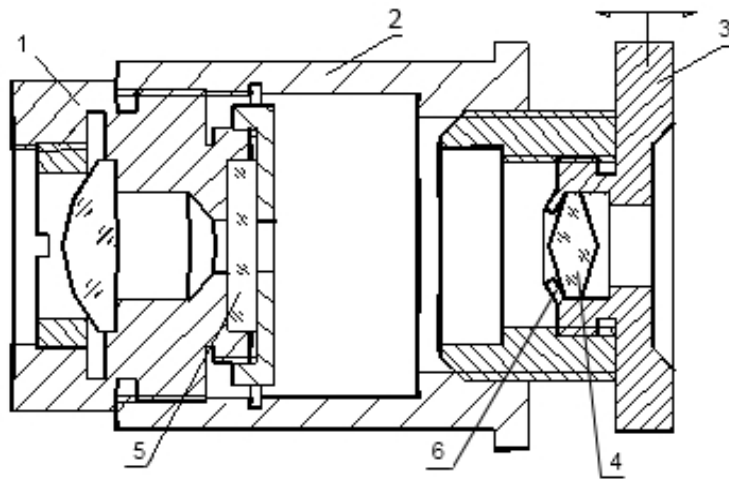


Рис. 3.10. Конструкція окуляра: 1 – компонент із сіткою; 2 – окулярний тубус; 3– очний компонент; 4– лінза; 5 – сітка; 6 – завальцювання

4. Методи розрахунку припусків на розміри заготовок оптичних деталей

4.1. Припуски на розміри заготовок

Вибір оптимальних припусків має велике техніко-економічне значення при проектуванні технологічних процесів, оскільки завищення припусків зводить до перевитрат матеріалів, інструментів, збільшення трудомісткості і собівартості виготовлення деталей. Занижені припуски збільшують матеріальний брак, потребують підвищеної точності установки заготовок на пристосуваннях тощо.

У оптичному виробництві використовують дослідно-статистичний метод встановлення припусків на основі систематизованих і узагальнених даних підприємств. Дослідно-статистичні значення припусків вищі порівняно з розрахунково-аналітичними, тому що в них вкладають такі вимоги до виготовлення заготовок та їх механічної обробки, при яких можливий мінімальний матеріальний і технологічний брак.

Припуск z_t на товщину по осі заготовки лінз та пластин встановлюють залежно від верхньої межі допуску на розмір готової деталі. Величину z_t , яка лежить в межах від 1,8 до 8,0 мм, призначають в залежності від діаметра D_0 округлих або найбільшої сторони некруглих пластин:

$$z_t = 0,014 D_0 + 1,22 \text{ мм.} \quad (4.1)$$

Припуск z_d на діаметр встановлюють залежно від номінального розміру готової деталі – від 1,5 до 12 мм. Призначають z_d так само, як і припуск на товщину по осі, в залежності від діаметра деталі. При товщині краю більше 0,3 мм:

$$z_d = 0,022 D_0 + 1,05 \text{ мм.} \quad (4.2)$$

При товщині менше 0,3 мм обводова зона заготовки деформується у процесі обробки і ускладнює формоутворення. Зменшуючи припуск на діаметр, збільшують товщину краю заготовки, а також і її жорсткість.

Припуски на радіуси кривизни R_3 сферичних поверхонь пресованих заготовок встановлюють в залежності від призначеного раніше припуску z_t на товщину по осі і коефіцієнта k , передбачаючи потовщення або потоншення заготовок по краю. Радіус збільшують (+) при обробці на краю та зменшують (-) при обробці у центрі

$$\text{для випуклих поверхонь:} \quad +R_3 = +R_0 + z_t / 2 k; \quad (4.3)$$

$$\text{для увігнутих поверхонь:} \quad -R_3 = -R_0 + z_t / 2 k, \quad (4.4)$$

де R_0 – радіус кривизни поверхонь готової деталі. Коефіцієнт k визначають за формулою

$$k = (R_0 / D_0)^2 \quad (4.5)$$

або побудованою номограмою (D_0 – діаметр деталі).

Припуски на довжину z_L і ширину z_{III} некруглих пластин встановлюють залежно від номінального розміру готової деталі. Їх значення (від 0,5 до 4,0 мм) призначають за розміром найбільшої сторони деталі.

Припуски на розміри заготовок призм встановлюють залежно від верхньої межі припуску на розмір готової деталі і призначають за розміром найбільшої її сторони. На чистих поверхнях пресованих заготовок призм припуск складає 1,2 - 2,0 мм, а на забруднених 1,5 - 2,7 мм.

4.2. Припуски на шліфування і полірування плоских та сферичних поверхонь

Загальний припуск z_t складається із передбачених технологічним процесом його проміжних значень, встановлюваних на кожну операцію, і перехід.

Триступеневий процес механічної обробки поверхонь включає наступні операції: грубе шліфування, тонке шліфування, полірування, відповідно, загальний припуск визначається за формулою:

$$z_t = z_t^a + z_t^b + z_t^c. \quad (4.6)$$

На операцію грубого шліфування відводять частину припуску z_t , після усунення якого товщина заготовки

$$t = t_0 + \Delta t + F^a, \quad (4.7)$$

де F^a – глибина шару, порушеного грубим шліфуванням,

t_0 – номінальна товщина деталі по осі,

Δt - плюсовий припуск на товщину деталі по осі.

Припуск на тонке шліфування і полірування сумарно дорівнює глибині шару, порушеного грубим шліфуванням:

$$z^b + z^c = F^a. \quad (4.8)$$

Тонке шліфування вільним і зв'язним абразивом виконують в більшості технологічних процесів у два переходи. На кожний відводять частину припуску, рівну різниці в глибині шарів, порушених абразивом M_{n-1} попереднього і абразивом M_n даного переходу, таким чином

$$z^b = z_{tMn-1}^b + z_{tMn}^b, \quad (4.9)$$

де

$$z_{tMn-1}^b = F^b - F_{tMn-1}^b, \quad z_{tMn}^b = F_{tMn-1}^b - F_{tMn}^b. \quad (4.10)$$

Припуск на полірування відповідає глибині шару, порушеного абразивом останнього переходу операції тонкого шліфування, тобто $z_t^c = F_{tMn}^b$.

Практично, враховуючи похибки базування заготовок на пристосуваннях, а також можливість виникнення на поверхнях, що обробляються, дефектів у вигляді подряпин, виколок, крапок, передбачаючи також можливість ряду інших виробничих похибок і складність контролю фактичної товщини знятого шару, припуск на операції тонкого шліфування і полірування кожної поверхні збільшують до 0,15 мм.

Номінальні розміри заготовок (товщину, діаметр, довжину, ширину) визначають з врахуванням відповідного номінального розміру готової деталі, поля припуску на даний розмір, припуску на механічну обробку і допуску згідно з ГОСТ 13240-78 на розмір заготовок, виготовлених методом пресування.

4.3. Припуски на відхилення точності форми плоских і сферичних поверхонь оптичних деталей

У таблиці 4.1 наведено припуски на відхилення точності форми плоских і сферичних поверхонь оптичних деталей.

Таблиця 4.1

Припуски на відхилення точності форми плоских і сферичних поверхонь оптичних деталей

Деталі	N	ΔN	Клас точності пробного скла за ГОСТ 2786-76
1	2	3	4
Високоякісні об'єктиви коліматорів, дзеркала точних приладів	0,1-0,5	0,05-0,1	1
Дзеркала середньої точності	1-2	0,1-0,2	1-2
Дзеркала невідповідальних систем (освітлювальних)	5	0,5	3
Об'єктиви телескопічних систем	2-3	0,2-0,5	2-3

Продовження таблиці 4.1

1	2	3	4
Фотооб'єктиви аерофото	1-2	0,1-0,2	1-2
Фотооб'єктиви звичайні	2-3	0,2-0,5	2-3
Мікрооб'єктиви:			
до 10×0,25	2-3	0,2-0,5	1-2
від 10×0,25 до 40×0,65	1-2	0,1-0,2	2-3
від 40×0,65 і вище	0,5-1,0	0,05-0,1	1
Окуляри	3-5	0,5-0,8	3
Призми*:			
відбиваючі поверхні	0,5-1,0	0,1-0,3	3
заломлюючі поверхні	2-4	0,5-1,0	3
Захисне скло	1-3	0,2-0,3	3
Сітки	10-20	1,0-2,0	-
Світлофільтри (перед об'єктивом)	1-2	0,3-0,5	3
Світлофільтри (за окуляром і перед ним)	3-5	0,5-0,8	-

* Більш жорсткий припуск береться для поверхонь призм, що працюють на великих збільшеннях ($\Gamma > 6^x$), розташованих перед об'єктивом; середній допуск при такому ж розташуванні поверхонь призм, але при слабких збільшеннях ($\Gamma < 6^x$) і для поверхонь призм, розташованих поблизу площини зображення.

4.4. Визначення розмірів призм, допусків на виготовлення і характеристики матеріалів

Огинаюча поверхня пучків променів, що проходять через призму, являє собою конічну поверхню з окружністю в основі. Для визначення розмірів призми спочатку вводиться еквівалентна розгортці призми повітряна пластинка товщиною l / n . Для визначення товщини повітряної призми треба знайти розмір D світлового пучка на її вихідній межі (рис. 4.1)

$$D = \frac{2(r + \alpha \cdot \operatorname{tg} \sigma)}{1 - 2k \cdot \operatorname{tg} \sigma / n}, \quad (4.11)$$

де $l/D = k$,

2σ – кут конуса променів.

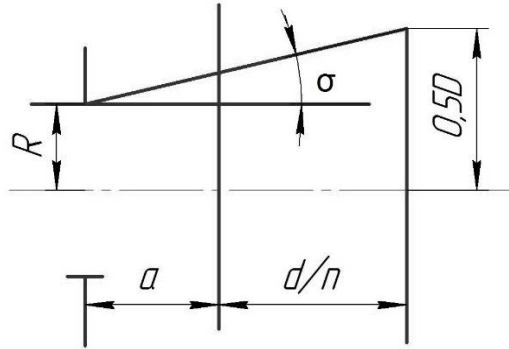


Рис. 4.1. Розрахунок призми

Якщо призма з двома або трьома відбитками має дах, що виходить тільки на одну заломлюючу грань (вхідну або вихідну), то розмір слід уточнити за такою формулою

$$D_1 = \frac{D}{2} \left(1 + \frac{\sqrt{1 + \sin^2 \gamma}}{\sin \gamma} \right), \quad (4.12)$$

де γ – кут між ребром даху і гранню.

Якщо в призмах з одним відбиттям дах виходить на дві грані, як в Ак Р-90°, то $D_1 = D \frac{\sqrt{1 + \sin^2 \gamma}}{\sin \gamma}$.

Розміри складних призм визначаються за розмірами складових простих призм.

Розрахункові розміри призм зазвичай збільшують на 0,5-2 мм для забезпечення юстування і кріплення призм в оправках. Зазначений припуск береться меншим, коли призма закріплюється в гнізді, і більшим при кріпленні в окремій оправі.

Слід уникати великих габаритів призм, тому що в цьому випадку збільшується вага приладу, виникають труднощі з підбором великих

шматків скла без звилин та інших дефектів, підвищується вартість виготовлення і ускладнюється кріплення призми. При великих габаритах призм часто буває вигідніше замінювати їх системою дзеркал.

Похибки кутів призм і характеристики матеріалів обчислюються, виходячи з необхідної якості зображення в оптичній системі.

Вимоги до матеріалу призм залежать від призначення приладу і розташування призми в його оптичній системи. Якщо призма працює в широкому пучку променів, то для такої призми посилюються вимоги до матеріалу по відхиленню показника заломлення і середньої дисперсії, однорідності, подвійного променезаломлення, ослаблення. Чим ближче оптична деталь до площини зображення, тим жорсткішими стають вимоги до пухирності, класу чистоти полірованих поверхонь [8, 10].

Втрати світла на поглинання в склі залежать від категорії скла. Вибір категорії пов'язаний з призначенням приладу і особливостями його конструкції. Для відповідальних приладів при великій довжині ходу променів у склі застосовуються скло більш високих категорій, ніж для призм невідповідальних приладів.

При конструюванні складних склеєних призм слід мати на увазі, що закріплювати в оправі можна тільки одну з призм, оскільки через зусилля закріплення можливо розклеювання призмного блоку. Тому призми, утримувані тільки клеєм, повинні мати невеликі розміри. Вимоги до точності виготовлення призми, а також до форми і чистоти її робочих поверхонь визначаються вимогами до якості зображення приладу, збільшенням приладу, положенням призми відносно площини зображення і розмірами світлового пучка.

4.4.1. Похибки кутів призм

Найбільший впливають на якість зображення похибки кутів між відбиваючими і заломлюючими гранями і пірамідальністю призми. Ці похибки викликають хроматизм зображення, тому що розгортка призми

звертається в клин.

У рухливих призм пірамідальність викликає, крім того, похибку візування. Величини допусків на зазначені кути і пірамідальність обчислюються залежно від допустимих величин хроматизму і вимог до точності роботи приладу.

Похибки кутів даху викликають двоїння зображення, тому допуски на ці кути призначаються досить жорсткі – до 5 кутових секунд.

Похибки кутів між заломлюючими гранями нерухомих призм не впливають суттєво на якість зображення, а викликане зміною кута відхилення пучка може бути скомпенсоване юстуванням оптичної системи, тому допуски на ці кути призначають досить грубі – до 5 кутових хвилин.

Похибки не всіх кутів між заломлюючими гранями впливають однаково на клиновидність розгортки (наприклад, похибка кута 90° у прямокутної призми не впливає на клиновидність, а похибка кутів 45° впливає; у пентапризми, навпаки, похибка кута 90° надає вдвічі більший вплив на клиновидність розгортки, ніж похибка кута 45°).

На лінійні розміри призм призначають допуски по 10-12 квалітету точності, оскільки вони не впливають на якість зображення.

5. Типові технологічні операції виготовлення оптичних деталей

У технології виготовлення оптичних деталей можна виділити три групи операцій:

- основні,
- спеціальні,
- допоміжні.

Операції механічної обробки займають до 90% трудомісткості усіх технологічних операцій, необхідних для виготовлення оптичних деталей. У процесі їх виконання із заготовки, що обробляється, вилучають шар скла, змінюють її форму та якість поверхні [6]. Для здійснення операцій механічної обробки застосовують такі *основні операції*:

- | | |
|-----------------|-----------------|
| • різання, | • довбання, |
| • розколювання, | • фрезерування, |
| • розпилювання, | • шліфування, |
| • свердління, | • полірування. |

Найбільша питома вага припадає на операції шліфування і полірування, без яких неможливо виготовити жодної оптичної деталі. Використання інших операцій визначається видом деталі та заготовки, конструктивними особливостями деталі.

Спеціальні операції застосовують для зміни властивостей полірованих поверхонь. До цієї групи відносять наступні операції:

- нанесення просвітлюючого покриття;
- нанесення відбиваючого покриття;
- нанесення струмопровідного покриття;
- нанесення світлоподільного покриття;
- склеювання деталей тощо.

Допоміжні операції застосовують для виконання основних і спеціальних операцій. До них відносять:

- блокування (закріплення на спеціальному пристосуванні однієї або декількох заготовок для здійснення механічної обробки);
- розблокування (зняття заготовок з пристосування після здійснення механічної обробки);
- нанесення захисного покриття (захист відполірованої поверхні перед переблокуванням заготовки);
- промивка тощо.

Розглянемо більш детально та охарактеризуємо основні операції, які застосовують у технологічному процесі виготовлення лінз.

Різання, розколювання та розпилювання застосовують для одержання заготовок лінз зі шматків скла, плиток, пластин і штабиків, як правило, в одиничному і дрібносерійному виробництвах.

Різання скла застосовують при обробці пластин товщиною до 20 мм. Операція протікає в дві стадії:

- утворення тріщини в склі,
- розколювання скла по лінії тріщини.

Поліровані пластини товщиною до 10 мм розрізають алмазним різцем – кристалом природного чи синтетичного алмазу (рис. 5.1), який вкарбовують у мідну оправку або сплав свинцю з цинком. Після нанесення різцем подряпини по лінії розмітки пластину розколюють, наносячи з протилежної сторони надрізу легкі удари молотком. Для розрізання пластин товщиною до 4 мм постукувати молотком не потрібно.

Плитки та пластини товщиною до 20 мм зі шліфованими і полірованими поверхнями розрізають роликом (рис. 5.2) із загартованої сталі або твердих сплавів (побідит РЄ-3, ВК8). Ролик являє собою диск з діаметром 4-10 мм, ріжучу кромку якого загострено під кутом 60°. Глибина надрізу на склі дорівнює приблизно 0,3 мм. Після нанесення надрізу заготовку розколюють за допомогою молотка, як було описано вище [3, 6].

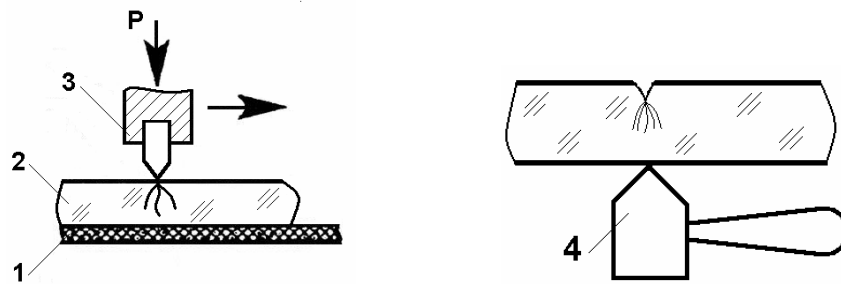


Рис. 5.1. Різання скла алмазним різцем:

1 – стіл, 2 – скляна пластина, 3 – алмазний різець, 4 – молоток

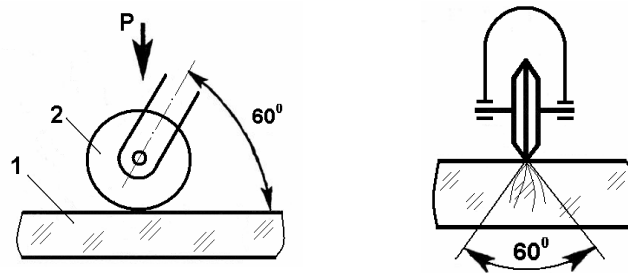


Рис. 5.2. Різання скла сталевим роликом:

1 – скляна пластина, 2 – сталевий ролик

Розколювання застосовують для плиток та пластин товщиною від 20 до 250 мм, які важко або неможливо розрізати роликом. Для цього по лінії розмітки роликом наносять подряпину або твердосплавним зубилом і молотком роблять насічку. Потім заготовку кладуть насічкою або подряпиною догори по лінії спеціальної сталевої призми (рис. 5.3), яка закріплена на столі розколювального преса і за допомогою розсувних кулачків натискають на скло.

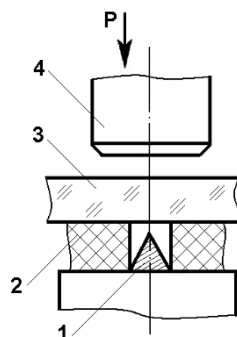


Рис.5.3. Розколювання скла за допомогою розколювального преса:

1 – сталева призма, 2 – гумова прокладка, 3 – скляна пластина, 4 – пуансон преса

Плитки і пластини товщиною до 40 мм розколюють на гідравлічному пресі ПК-1, товщиною до 250 мм – на пресі ПК-100.

Довгі заготовки у вигляді паски або штабика розділяють розжареною електроспіраллю (рис. 5.4), притискаючи її до наміченої лінії розділу. Заготовку повільно повертають, щоб спіраль весь час торкалася її поверхні по наміченій лінії. Після розігрівання в місці дотику спіралі заготовку поливають холодною водою. В результаті утворюється тріщина, по якій скло розділяється.

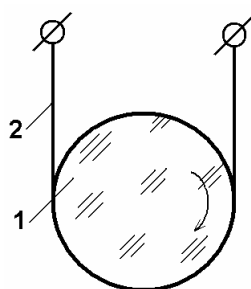


Рис. 5.4. Розколювання скляного штабика за допомогою електроспіралі:

1 – скляний штабик, 2 – електроспіраль

Розпилювання використовують для вироблення скла в вигляді шматків, плиток, пластин і штабиків. Крупногабаритні шматки скла та плитки розпилюють алмазними кругами форми АПСД (рис. 5.5, а), смуговими пилами (рис. 5.5, в), гнучким алмазним інструментом [16].

Круги АПСД мають ріжучу кромку, яка складається з окремих алмазоносних сегментів. Марка алмазного абразиву – А, зернистість від 400/315 до 630/500, концентрація – від 25 до 100 %.

Невеликі шматки скла, плитки, пластини і штабики товщиною від 20 мм розпилюють дисковими алмазними кругами форми АОК (рис. 5.5, б). Профіль алмазоносного шару прямокутний або трапецієподібний. Марка алмазного абразиву – А, АСВ, АСК, АСС, зернистість – від 125/100 до

250/200, концентрація – від 25 до 100%. Для розпилювання застосовують різні металорізальні верстати типу фрезерних або шліфувальних, спеціальні алмазно-відрізні станки. Для запобігання нагріванню інструмента і скла, що приводить до втрати ріжучих властивостей інструмента та появи в склі термічних напруг, тріщин, в зону різання подають МОР. Найбільшого розповсюдження набули водяні розчини емульсолів з добавкою 1% кальцинованої соди та нітриду натрію для зниження поверхневого натягу води і зменшення корозійної дії МОР на металеві частини обладнання, а також 4% керосину для зменшення тертя.

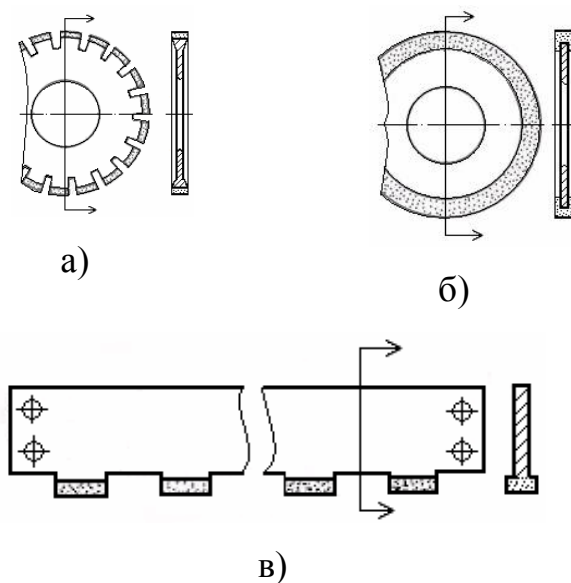


Рис. 5.5. Алмазні інструменти для розпилювання:

а) відрізний круг сегментний форми АПСД; б) відрізний круг форми АОК; в) смугова штрипсова пилка форми АПШ

Для розпилювання великих блоків скла використовують алмазні смугові штрипсові пилки форми АПШ по ОСТ 3-6007-85 (рис. 5.5, в) [2, 16]. Кожний тип пилки має алмазоносні елементи, що відрізняються шириною (3,0; 3,5 і 4,0 мм) і товщиною (5, 6 і 7 мм). Довжина елементів 20 мм. Зернистість алмазного порошку від 400/315 до 630/500. Концентрація алмазу 50, 75 і 100%.

Свердлення застосовують для одержання заготовок лінз у вигляді штабиків або дисків, як правило, в одиничному та дрібносерійному

виробництвах, а іноді і в крупносерійному. Операцію виконують на звичайних верстатах, які використовують для свердління отворів в металі і які мають порожнисті шпінделі для подавання МОР або абразивної суспензії: 2Н-10611, 2М-112, 2М-118, 2Н-125, 2Н-135, 2М-55 і інших.

На цих же верстатах за допомогою металевого інструмента (рис. 5.6) і вільного абразиву свердлять отвори, діаметр яких не відповідає розмірам нормалізованого алмазного інструмента [3, 16]. Вид абразиву (карборунд, електрокорунд) і його зернистість призначають у залежності від твердості скла і необхідної шорсткості утворюючого отвору. Металевий трубчастий інструмент виготовляють зі сталі або латуні з товщиною стінки 0,5-1,0 мм. Для приготування абразивної суспензії використовують порошки з електрокорунду, карбіду кремнію, карбіду бору зернистістю №4 - №6, концентрація абразивної суспензії – 1:1, 1:2.

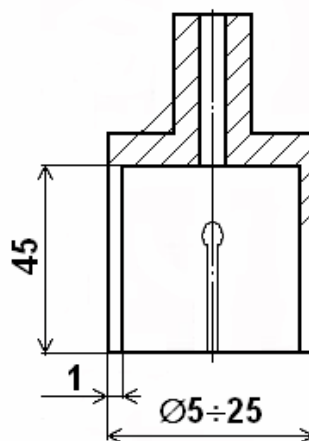


Рис. 5.6. Металевий трубчастий інструмент для свердлення отворів за допомогою вільного абразиву

У якості алмазного інструмента використовують круги форми 2А2, АСК, АСКЄ, АСКС, АСП, СКА-С, марка алмазу – АСК, АСС, концентрація – 100 % (рис. 5.7). Зернистість порошку вибирають у залежності від діаметру інструмента в межах від 125/100 до 315/250. У якості МОР беруть воду, содовий розчин, веретенне або машинне масла.

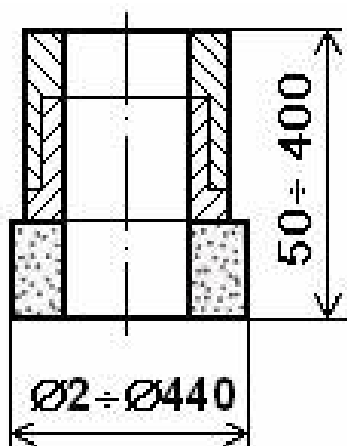


Рис. 5.7. Алмазне кільцеве свердло форми АСК

Довбання (ультразвукова прошивка) забезпечує отримання прохідних та глухих отворів будь-якої конфігурації, чого не можна досягнути методом свердлення. При довбанні отвори отримують за рахунок впливу на скло вільного абразиву за допомогою металевого інструменту, робоча поверхня якого має форму потрібної конфігурації. Процес довбання оснований на застосуванні явища магнітострикції, в результаті якого інструмент здійснює прямолінійний і зворотньо-поступальний рух. Ефект магнітострикції полягає у зміні розмірів феромагнітних матеріалів в змінному магнітному полі. Осердя з феромагнітного матеріалу (пермалою, пермендіюром, заліза, нікелю, кобальту), розміщене в змінному магнітному полі, змінює свої розміри на декілька мікрометрів. Ультразвукові коливання з амплітудою 15-30 мкм концентруються, посилюються і передаються на інструмент.

Відділенню зруйнованого матеріалу (диспергуванню) сприяє явище кавітації, що протікає в рідині (абразивній суспензії) і полягає в утворенні на кінці інструменту пухирців розрідження, які створюють подібність мікроскопічного гідравлічного удару.

Прошивку виконують на ультразвуковому прошивочному верстаті.

Сталеві інструменти-концентратори (довб'яки) залежно від призначення поділяють на *суцільні, порожнисті і ножові* і виготовляють з високоякісної сталі марок У8, 20 і 50. Суцільні (прутки) застосовують

для отримання закритих порожнин – глухих або наскрізних отворів діаметром 1–3 мм. Порожнисті інструменти (трубки) використовують при прошивці наскрізних отворів великого діаметра і вирізуванні пластин з плоских заготовок. Ножові інструменти призначені в основному для розрізання напівпровідникових матеріалів на заготовки.

Подача інструменту на заготовку автоматична. У зону обробки подається водна абразивна суспензія карбіду бору. Продуктивність, точність і шорсткість обробки залежать від матеріалу заготовки, матеріалу і зернистості абразиву, складу абразивної суспензії, глибини прошиваного отвору і амплітуди коливання інструменту.

При прошивці досягається похибка лінійних розмірів до десятих часток міліметра, шорсткість – R_z 20–40 мкм.

Операції *шліфування* і *полірування*, основні серед технологічних процесів механічної обробки заготовок, будуть розглянуті в наступних розділах.

5.1. Операції шліфування

Операція шліфування направлена на видалення припуску і надання деталі заданих розмірів і форми, а також на підготовку поверхні до подальшого полірування.

Розрізняють дві стадії шліфування:

- *грубе шліфування (обдирка);*
- *тонке шліфування.*

Задачею першої стадії є швидке видалення із заготовки основної частини припуску на механічну обробку.

У *крупносерійному та масовому* виробництвах грубе шліфування виконують способом примусового формоутворення за допомогою алмазного інструмента у вигляді кільцевих кіл форми 2F2, АК1, 2А2 і 12А2 поштучно або блоками на спеціалізованих автоматичних чи напівавтоматичних верстатах типу АШС і "Алмаз". Операцію здійснюють,

як правило, в один перехід. Зернистість алмазних абразивів, що використовують для виготовлення інструментів – $200/160 \div 80/63$ (63/50).

У *одиночному та дрібносерійному* виробництвах, як правило, застосовують спосіб поверхневого притиру з використанням металевих шліфувальників з вільним абразивом. Шліфування проводять на верстатах типу О, ОР, ШО, СО, ОБ, ШР. Операцію виконують за допомогою сталевих (сталь 10, 20) або чавунних (СЧ 28-48) чашок, грибів і планшайб. Операцію проводять в 2-3 переходи абразивами з електрокорунду зернистості № 16 ÷ № 4.

Шорсткість поверхні заготовки після грубого шліфування складає $R_z = 10-40$ мкм.

Задачею другої стадії – тонкого шліфування - є надання заготовці остаточних розмірів (з припуском на полірування), уточнення форми і зменшення шорсткості і глибини шару, порушеного грубим шліфуванням. Тонке шліфування проводять завжди методом поверхневого притиру.

У *крупносерійному та масовому* виробництвах тонке шліфування виконують способом поверхневого притиру за допомогою алмазного інструмента у вигляді грибів, чашок, планшайб. Зернистість алмазних абразивів, що використовують для виготовлення інструментів – $28/20 \div 10/7$.

У *дрібносерійному та одиночному* виробництвах застосовують стальний або латунний інструмент (гриби, чашки, планшайби) з вільним абразивом у вигляді водних суспензій електрокорунду зернистості М28÷М7. Абразив М28 застосовують тільки для вирівнювання загальної поверхні заготовки (блоку).

Шліфування плоских поверхонь проводять в один - два переходи. При алмазній обробці відповідно використовують один - два шліфувальники. При обробці вільним абразивом – один шліфувальник і одну або дві абразивних суспензії з відповідною зернистістю абразиву. Переходи для інструмента непотрібні, однак дослідним шляхом

встановлено, що шліфувальник повинен мати трохи ввігнуту поверхню з радіусом кривизни $R \approx 250 \text{ м}$.

Шліфування сферичних поверхонь виконують у два або більше переходи в залежності від відносної кривизни поверхні заготовки (блоку). Шорсткість поверхні заготовки після тонкого шліфування повинна складати $R_z = 0,16 - 0,63 \text{ мкм}$.

Допоміжні поверхні піддаються звичайно тільки грубому шліфуванню.

До виконавчих поверхонь, що пройшли операцію тонкого шліфування, пред'являють наступні вимоги:

1. Розміри дефектів шліфованої поверхні (подряпини, точки) не повинні бути більше обумовлених технічними вимогами.
2. Розміри мікронерівностей (R_z) по всій поверхні повинні бути однаковими.
3. Геометрична форма поверхні повинна бути досконалою (наприклад, сферична поверхня лінзи після шліфування вже повинна бути сферичною).
4. Взаємне розташування виконавчих поверхонь повинне бути витримано в межах допуску.

5.1.1. Шліфування закріпленими абразивними зернами

Обробку скла інструментами із закріпленими абразивними зернами застосовують для видалення найбільшої частини об'єму припуску і підготовки поверхні для подальшого тонкого шліфування суспензіями абразивних порошків і остаточного полірування оптичних поверхонь.

Шліфування скла закріпленими абразивними зернами дуже схоже на шліфування металів на металорізальних верстатах. Дія одиничного закріпленого зерна призводить до сколювання частинок крихкого скла під дією тангенціальних сил, спрямованих під малим кутом до поверхні. Скло

руйнується як крихкий матеріал, розтріскуючись і відколюючись дрібними частками неправильної форми.

При шліфуванні головний рух інструменту – обертальний, а оброблюваної заготовки – зворотно-поступальний. При взаємодії зерна зі склом утворюється порушений шар товщиною n , що складається з поверхневих нерівностей товщиною k , і вкритого тріщинами шару m , що лежить під ними. Структура рельєфного шару складається з западин і виступів, що мають при вершині кут $\approx 150^\circ$.

З рельєфного шару видалена приблизно половина об'єму скла, а частина, що залишилася, представлена у вигляді виступів. Товщина шару скла, що знімається за один прохід інструменту, визначається геометрично замкнутим розмірним ланцюгом, до якого входять ланка a між установочними базами інструменту і скла, діаметр D інструменту, висота l заготовки, розмір h частинки, виступаючої із зв'язки абразивних зерен оброблювального інструменту.

Між поверхнями скла і матеріалом зв'язки шліфувального круга, з якого виступають абразивні зерна, обов'язково повинен бути зазор, який забезпечує подачу змащувально-охолоджувальної рідини і відсутність шкідливого тертя зв'язки по склу, що приводить до виділення великої кількості тепла. Таким чином, частина зерна, що взаємодіє зі склом, становить менше $1/3$ його найбільшого розміру [3].

Об'єм припуску, що видаляється залежить від крихкості, твердості, міцності абразивних зерен і матеріалу зв'язки і пропорційний інтенсивності режиму обробки. На зерно діє сила різання R , що утворюється відносним рухом інструменту і скла, і руйнує останнє. Складова F_k сили R спрямована під кутом 180° до вектора відносної швидкості $V_{відн}$, який лежить в площині, дотичній до оброблюваної поверхні. Силі F_k пропорційна робота, що йде на видалення скла і виділення тепла.

Під впливом сили F_n абразивне зерно проникає в товщу і руйнує скло, викликаючи появу конічних тріщин. Закріплені зерна із часом затуплюються, зусилля різання збільшується. Тоді в роботу вступають нові зерна і процес шліфування йде із рівномірною інтенсивністю. Обробка закріпленими абразивними зернами є найбільш ефективним процесом обробки скла в оптичних технологіях.

Ефективність шліфування скла закріпленими абразивними зернами обумовлена наступними обставинами:

- 1) Закріплені абразивні зерна працюють як різці, залишаючи на оброблюваній поверхні скла суцільні подряпини, що перетинаються;
- 2) Закріплені зерна руйнуються тільки при впливі на скло, але не від перетирання одне об інше;
- 3) Робочий тиск інструменту зосереджується на невеликому числі зерен, виступаючих із зв'язки;
- 4) Швидкість різання становить 15 – 25 м/с, а робочий тиск 10^6 Па;
- 5) Неоднорідність розмірів зерен не проявляється, оскільки вони працюють тільки частиною, яка виступає зі зв'язки;
- 6) Інтенсивна подача змочувально-охолоджуючої рідини ефективно видаляє зруйноване скло і тепло;
- 7) При роботі з малими подачами утворюються малі мікронерівності поверхні навіть при використанні інструменту великої зернистості.

Продуктивність обробки закріпленими зернами визначається об'ємом припуску скла, видаленого за одиницю часу.

5.2.2. Шліфування суспензіями абразивних порошків

Обробка суспензіями абразивних порошків готує виконавчу поверхню оптичної деталі для подальшого полірування до необхідних значень параметрів N , ΔN , P . Шліфуюча суспензія являє собою суміш порошку абразивних зерен і рідини. Руйнування скла відбувається під дією абразивних зерен передавальною вібраційно-ударною дією кінетичної

енергії інструмента на оброблювану поверхню скла. Скло руйнується абразивними зернами і утворюється нова поверхня з більш досконалими параметрами якості.

Застосовуються порошки, зерна яких у порівнянні зі склом мають велику твердість, наприклад:

- 1) карборундові;
- 2) корундові;
- 3) наждакові;
- 4) кварцові;
- 5) алмазні.

Окремі зерна цих порошоків також має абразивні властивості, тобто при розколюванні утворюють дрібніші частинки, які теж мають гострі грані.

При шліфуванні зерна разом з водою знаходяться між робочою поверхнею металевго інструменту та оброблюваною поверхнею скла.

Відносний рух скло – інструмент відбувається при деякому натиску верхньої ланки Q на нижню і плюс сила P тиску повідця верстата. При цьому зерна перекочуються або прослизують з деякою швидкістю $V_{\text{відн}}$. Найбільші зерна взаємодіють зі склом та інструментом. Скло руйнується, а інструмент зношується. Більш дрібні зерна переносяться водою доти, доки великі не роздробляться, після чого дрібні зерна вступають у взаємодію зі склом та інструментом. У відносному переміщенні кінетична енергія інструменту передається склу через дію абразивного зерна. Застосування навантаження до окремого зерна має різко виражений динамічний характер.

Динамічна сила R спрямована по лінії aa' з'єднуваної вершини зерна, одна з яких миттєво закріплюється в матриці шліфувальника, більш в'язкій ніж скло, а інша вершина впливає на скло. Сила F_n спрямована перпендикулярно вектору відносної швидкості $V_{\text{відн}}$ і не може виконувати роботу з видалення шару припуску. Сила F_n забезпечує лише контакт між

шліфувальником, абразивним зерном і склом, викликаючи появу тріщин у склі і пружних деформацій інструменту, роздавлюючи виступи поверхневих нерівностей скла [1, 2].

Сила F_n спрямована дотично до оброблюваної поверхні і протилежна вектору відносної швидкості. Вона викликає сколювання вершин поверхневих нерівностей скла і зношування робочої поверхні інструменту. У роботі руйнування скла беруть участь близько 15% зерен, що одночасно знаходяться під шліфувальником. Інші зерна або вимиваються водою з робочого простору під інструментом, або перетираються між собою для подрібнення.

Видалення припуску відбувається поступово, шляхом проникнення інструменту в товщу скла у напрямку перпендикулярно до оброблюваної поверхні. Зміну зернистості абразивних порошків називають переходом. Так поверхню підготовляють до наступної операції – полірування.

5.2. Операції полірування

Операція полірування є наступною за операцією тонкого шліфування.

Мета полірування – видалення шару скла, зруйнованого шліфуванням і надання поверхні заданої точності форми (N , ΔN) і чистоти (P). Операцію виконують за допомогою полірувальників, основу яких складають металеві гриби, чашки, планшайби, виготовлені з латуні або цинкового сплаву, а робоча поверхня виготовляється з полірувальної смоли, технічної вовняної тканини або синтетичної речовини. У якості абразиву використовують полірит.

Шорсткість поверхні після операції полірування складає $R_z = 0,1 - 0,03$ мкм.

Операції полірування властиві деякі характерні особливості:

- операція здійснюється, як правило, в один перехід;

- полірування у більшості випадків (серійне виробництво) проводиться за одну установку з шліфуванням;
- операція здійснюється єдиним способом – поверхневим притиром.
- витрати часу на полірування майже в 20 разів більші, ніж на шліфування.

Вимоги до полірованих поверхонь задають на кресленні деталі через N , ΔN , R . Іноді в технічних умовах обумовлюють вимоги до глибини залишкового тріщинуватого шару.

Для контролю полірованих поверхонь найчастіше використовують пробне скло. Останнім часом в серійному виробництві для контролю використовують інтерферометри типу Тваймана.

Взаємне положення виконавчих поверхонь поліруванням не виправляється.

5.3. Центрування та фасетування

Центрування лінз

Центрування лінз – це операція по суміщенню геометричної і оптичної осей лінзи. Допуск на центрування позначають на кресленнях буквою "С". Децентричність C лінзи виникає як результат накопичення похибок на всіх попередніх механічних операціях обробки лінзи, закінчуючи її поліруванням.

Операцію центрування лінз виконують в два переходи: суміщення оптичної осі лінзи з віссю обертання шпінделя верстата (або віссю прилада); круглення циліндричної поверхні лінзи до діаметра заданого розміру, при якому геометрична вісь лінзи, тобто вісь її симетрії, суміщається з віссю обертання шпінделя верстата і, отже, з оптичною віссю лінзи [1, 3, 6].

Точність центрування залежить від способу установки та кріплення лінзи і точності шліфування її циліндрової поверхні.

Центрування лінзи виконують трьома способами:

- у самоцентруючому патроні,
- по відблиску,
- по приладу.

Установку лінз в самоцентруючих патронах застосовують в крупносерійному та масовому виробництвах і здійснюють безпосередньо на спеціальних центрувальних верстатах типу ЦС, що працюють з алмазним шліфувальним кругом в напівавтоматичному циклі. Центровану лінзу 2 затискають в шпінделях верстата: між лівим ведучим 1 і правим 3, який має осьове переміщення і за допомогою пружини притискує лінзу до лівого шпінделя (рис. 5.8). На шпінделях закріплені сталеві загартовані циліндричні патрони, які мають тонкі поліровані робочі кромки. В початковому положенні оптична вісь лінзи O_1O_2 , тобто лінія, що сполучає центри кривизни сферичних поверхонь, може бути зміщена відносно геометричної осі лінзи A_1A_2 . Проте при затисканні лінзи між шпінделями на лінзу діятиме сила Q , що зсовує її до осі обертання шпінделів доти, поки лінза не торкнеться всієї кільцевої поверхні патронів. Це відбудеться автоматично у момент суміщення оптичної осі лінзи з віссю шпінделів. Величина зсовуючої сили Q залежить від кривизни (R_1 , R_2) поверхонь лінзи, що характеризується кутом φ , тобто кутом між дотичними до сферичних поверхонь в точці їх контакту з патронами. Величина кута φ визначається співвідношенням

$$\varphi = \arcsin\left(\frac{d}{R_1}\right) + \arcsin\left(\frac{d}{R_2}\right), \quad (5.1)$$

де d – діаметр патрона;

R_1 , R_2 – радіуси виконавчих поверхонь лінзи.

Точність установки лінз визначається величиною кута φ :

при $\varphi \geq 45^\circ$ - точність центрування $\sim 0,01$ мм;

при $45^0 > \varphi > 25^0$ – точність центрування $\sim 0,02 - 0,03$ мм;
 при $\varphi < 25^0$ – цим способом не центруються.

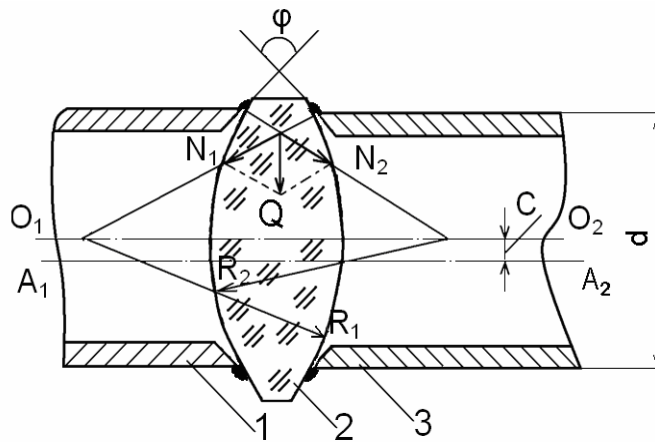


Рис. 5.8. Схема центрування в самоцентруючому патроні:

1 – ведучий патрон; 2 – лінза; 3 – рухомий патрон

Похибка центрування лінз описаним вище методом залежить також від співосності і точності виготовлення кінцевих кромek патронів. Час центрування – 1-2 секунди. Спосіб простий і високопродуктивний.

Установку лінзи по відблиску (найбільш універсальний спосіб) застосовують тільки в одиничному та дрібносерійному виробництвах, коли треба центрувати лінзу з похибкою 0,04-0,1 мм.

Установку проводять приклеюванням лінзи 3 смолою 2 до трубчастого латунного патрона 1, закріпленого в шпінделі центрувального верстата (рис. 5.9). Поки смола не застигла, лінзу переміщують по торцю патрона (на рисунку показано пунктиром), суміщаючи її оптичну вісь з віссю обертання шпінделя патрона. Контроль за правильністю установки лінзи здійснюють спостереженням неозброєним оком за положенням відблиску від джерела світла 4 на поверхні лінзи. При повороті шпінделя відблиск не повинен зміщуватися. Точність установки збільшується, якщо контроль биття проводити за допомогою автоколімаційної трубки Забеліна (0,005 – 0,01 мм).

Цим способом порівняно важко центрувати лінзи малого діаметра з малим радіусом кривизни. Недоліком метода є важкість контролю «биття» зображення джерела світла.

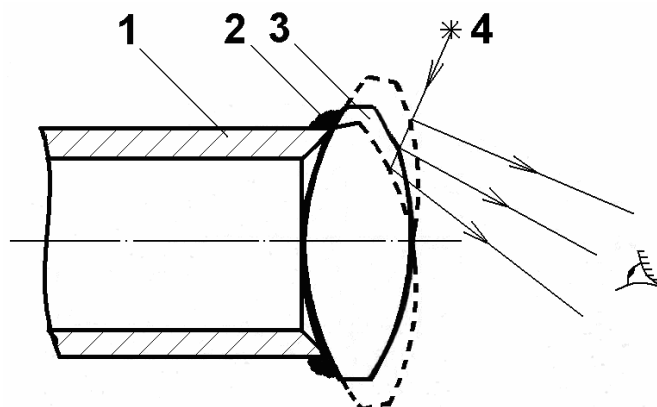


Рис. 5.9. Схема центрування лінзи по відблиску

Установку лінз по приладу застосовують в крупносерійному і масовому виробництвах. Цей спосіб дозволяє центрувати лінзи з похибкою до 0,003 мм [1-3].

Для установки лінзи по приладу необхідний набір спеціальних пристосувань для різних типорозмірів лінз. Схема установки лінзи по приладу показана на рис. 5.10, а. Світло від коліматора 2 з сіткою 1 проходить через центральний отвір патрона 4, встановленого у конічний отвір стола 3. На патрон смолою приклеюють лінзу 5. Підігрівуючи смолу до розм'якшення, пересувають лінзу по кільцю пристосування і добиваються такого її положення, коли в полі зору окуляра 7 зображення сітки 1'' коліматора потрапить між допусковими рисками сітки 6 (рис. 5.10, б). При обертанні пристосування в гнізді стола 3 зображення сітки не повинне виходити за допускове поле Δ . Охолоджені пристосування з лінзами знімають з приладу і передають на центрувальні верстати. Конус пристосування 4 відповідає посадочному конусу центрувального верстата, що забезпечує збіг оптичної осі лінзи з віссю патрона й верстата.

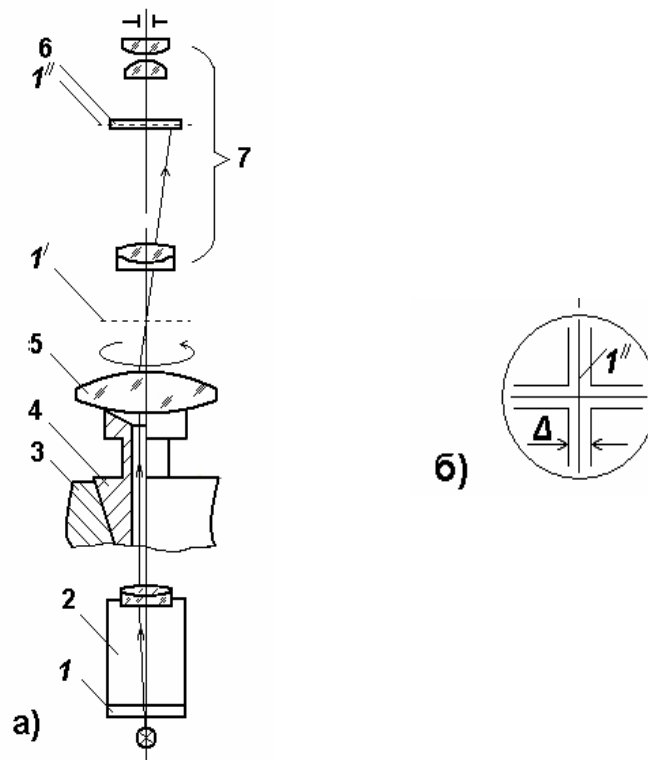


Рис. 5.10. Схема центрування лінзи по приладу:
 а) схема автоколімаційної установки; б) допускові риси сітки

Круглення циліндричної поверхні лінзи проводять після установки лінзи на верстаті типу ЦС. Шліфування здійснюють алмазними кругами АПП. При шліфуванні алмазний круг має автоматичну поперечну подачу на заготовку і осцилюючий рух уздовж осі обертання лінзи. Після обробки діаметр лінзи контролюють скобою. Особливістю даного способу є необхідність великої кількості патронів і розділення робочих місць центрування і круглення.

Фасетування лінз

Фасетування лінз – це операція нанесення фасок в місцях перетину сферичних і циліндричних поверхонь лінзи.

Фаски на лінзах за призначенням поділяють на технологічні і конструктивні. Технологічні призначені для запобігання виколувань країв лінзи під час обробки лінзи на різних технологічних операціях. Розміри

технологічних фасок на кресленні готової деталі не проставляють. Їх указують тільки в технологічних картах.

Конструктивні фаски обов'язково вказують на кресленні лінзи.

Розміри конструктивних фасок залежать від способу кріплення лінзи в оправі і діаметра самої лінзи. Якщо лінзу кріплять в оправі вальцюванням, то розміри фасок витримують від $0,1^{+0,2}$ мм для лінз діаметром до 6 мм і $1,0^{+0,5}$ для лінз діаметром до $50 \div 80$ мм. Якщо лінзу в оправі не вальцюють, то наносять запобіжні фаски для запобігання виколувань. Величина цих фасок менша і лежить в межах від $0,1^{+0,1}$ мм для лінз діаметром 6 мм і до $0,4^{+0,5}$ мм для лінз діаметром $50 \div 80$ мм.

Фаски на лінзи не наносять з боку опуклої поверхні, якщо відношення діаметра лінзи до радіуса кривизни рівне або більше 1,5.

Технологічні фаски наносять безпосередньо після грубого шліфування (обдирання) лінз на заготівельній ділянці. У процесі подальшого шліфування і полірування сферичних поверхонь ці фаски зменшуються, а після операції центрування остаточно зрізаються [1-3].

Усі види конструктивних фасок наносять після центрування лінзи.

Фасетування виконують кількома способами. У дрібносерійному виробництві – вручну за допомогою алмазних фасетувальних чашок на верстатах типу ШО. У центрі фасетувальної чашки є отвір для подачі води. Оскільки сферична поверхня лінзи вже відполірована, то лінзу 1 тримають за допомогою вакуумного присоска і вручну переміщують по поверхні фасетувальної чашки 2 (рис. 5.11). Радіус R , сферичної поверхні фасетувальної чашки для нанесення фаски під кутом до бічної поверхні призначають, виходячи із співвідношення

$$R = d/2\cos\alpha,$$

де d – діаметр лінзи.

Якщо кут фаски $\alpha = 45^\circ$, то $R = 0,7d$.

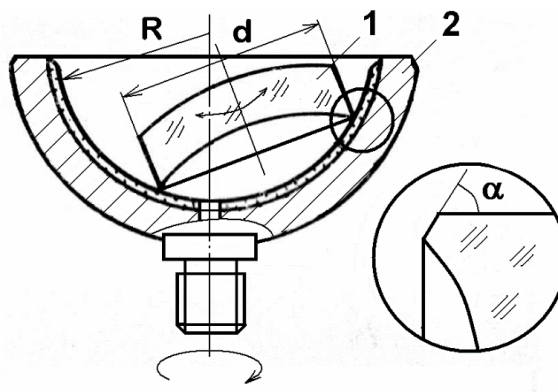


Рис. 5.11. Фасетування лінзи за допомогою фасетувальної чашки

У крупносерійному виробництві при знятті фасок розміром 0,1 – 0,3 мм обробку здійснюють на одношпindelних обдирних верстатах типу ОС в спеціальному цанговому патроні, що нагвинчується на перехідник шпінделя верстата. Латунна цанга має посадочне місце під лінзу певного діаметра. Фасетувальну алмазну чашку робітник тримає рукою, торкається чашкою до лінзи і злегка похитує її.

У одиничному виробництві фасетування проводять в чавунних чашках за допомогою абразивної суспензії.

У крупносерійному і масовому виробництвах операцію фасетування проводять одночасно з кругленням лінзи комбінованим алмазним кругом на центрувальному верстаті. Ріжуча кромка алмазного круга має циліндричну і конічну частини, а сам круг для зручності його виготовлення і правки роблять таким, що складається (рис. 5.12).

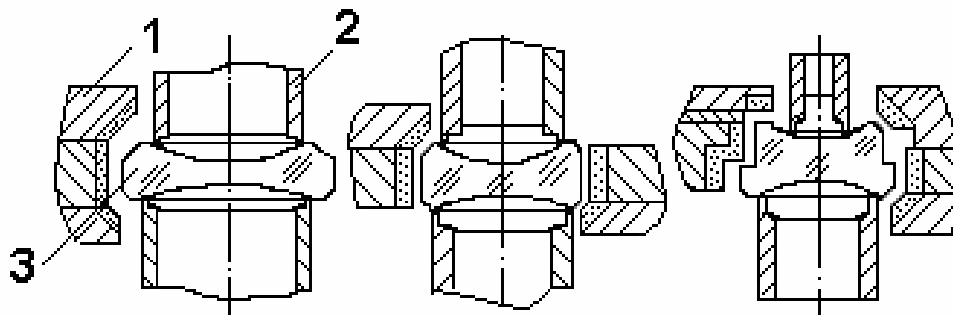


Рис. 5.12. Круглення і фасетування лінз за допомогою комбінованих алмазних кругів:

1 – алмазний круг; 2 – патрон; 3 – лінза

Після фасетування проводять остаточний контроль лінз за такими параметрами:

- децентричність C ;
- чистота виконавчих поверхонь P ;
- діаметр;
- розмір фасок.

5.4. Блокування

5.4.1. "Еластичний" спосіб блокування

У одиничному і дрібносерійному виробництві всі операції (1а–12а) обробки заготовок можна розбити на такі групи:

- грубе шліфування виконавчих поверхонь і діаметра;
- тонке шліфування і полірування виконавчих поверхонь, центрування і фасетування;
- додаткова обробка заготовок (нанесення покриттів і склеювання).

При цьому операції тонкого шліфування і полірування виконуються при еластичному способі блокування заготовок виключно блоками.

При використанні кратної заготовки або штабика першою операцією (1а) є розпилювання, круглення і підгонка товщини заготовок; наступною операцією 2а – грубе шліфування виконавчих поверхонь, яке виконується в одиничному виробництві вручну на верстатах для грубого шліфування із застосуванням водних суспензій абразиву. Першою обробляється сторона, що має менший радіус. При дрібносерійному виробництві для виконання цієї операції застосовують верстати, оснащені алмазним інструментом. Заготовки закріплюють в цанговому патроні. У якості чорнової бази використовують поверхню, яка має менший радіус.

Наступною операцією (3а) є збирання блоку еластичним способом. Найбільш доцільно першими обробляти поверхні заготовок з великим

радіусом або з менш жорсткими вимогами до точності і чистоти поверхні. Операції збирання блоку передують наклеювання смоляних подушок на заготовки, яке виконується вручну або на *наклеювальному* автоматі. Далі заготовки лінз відповідно до встановленого при розрахунку блоку порядку насухо або за допомогою тонкого шару вазеліну притираються до поверхні притирочного пристосування (гриб або чашка). Наклеювальне пристосування, нагріте в електричній печі або струмом високої частоти до температури 80 – 100 °С, накладають на подушки, які оплавляються і прилипають до нього. Охолоджують блоки у воді при кімнатній температурі. Для забезпечення осьової симетрії блоку з притирочним пристосуванням і для занурення наклеювального пристосування в товщу смоли застосовують спеціальний пристрій.

Тонке шліфування (4а) першої виконавчої поверхні виконують на верстаті типу ШП в два – чотири переходи водними суспензіями мікропорошків електрокорунду. Радіус поверхні блоку певного переходу контролюють по ширині зони її контакту (притиранню) з поверхнею інструменту для наступного переходу. Після останнього переходу радіус контролюють пробним склом, накладаючи його на зволожену поверхню заготовки. Залежно від радіусу кривизни поверхні, висоти блоку і зернистості абразиву при першому переході ширина кільцевої зони може складати 0,15 - 0,25 діаметри блоку. Розташування цієї зони на самому краю блоку вказує на правильність ведення процесу шліфування на першому переході.

Полірування (5а) проводять на тих же верстатах водною суспензією поліруючого абразиву із застосуванням, як правило, смоляних полірувальників. Марку смоли вибирають залежно від інтенсивності процесу і температури приміщення. Після контролю якості поверхонь заготовки захищають лаком.

Розбирання блоків (6а) виконують в холодильних камерах, або за допомогою ультразвуку на спеціальному напівавтоматичному обладнанні

(сухе розблокування), або в ультразвукових ваннах з використанням лужних розчинів і ПАР (поверхнево-активних речовин).

Промивку заготовок здійснюють вручну або на ультразвукових установках із застосуванням органічних розчинників, а промивку наклеювальних пристосувань – на спеціальному агрегаті.

Операції 7а–10а обробки другої виконавчої поверхні виконуються таким же чином, як і першої.

Заключною операцією цього циклу обробки є центрування і фасетування (11а) заготовок. Задача центрування – суміщення геометричної осі (осі симетрії циліндричної твірної заготовки) з її оптичною віссю (віссю, що з'єднує центри кривизни обох поверхонь). Операція виконується на спеціальних верстатах типу ЦС. Найпоширенішим представником цієї гамми верстатів є верстат ЦС-50, призначений для центрування лінз діаметром 10–50 мм. Установка лінз здійснюється в самоцентруючих патронах методом стискання. Кругле шліфування циліндричної поверхні лінзи виконують алмазним інструментом форми АПП. У якості МОР використовують масло індустріальне 20 або МВП, що подається в робочу зону насосом. Крім того, застосовують центрувальні верстати, на яких установку заготовок проводять вручну "по відблиску", а закріплення – приклеюванням спеціальною смолою. На лінзах, що виготовляються малими партіями, фасетування проводять вручну алмазною чашкою на верстатах для грубого шліфування із закріпленням заготовок до патронів або металічною чашкою з абразивною суспензією.

5.4.2. "Жорсткий" спосіб блокування

Структурна схема технологічних операцій (2б–13б) при крупносерійному виготовленні лінз із застосуванням жорсткого способу блокування має істотну відмінність від раніше описаної (1а–12а). Основною відмінністю є послідовне виконання операцій грубого

шліфування (3б), тонкого шліфування (4б) і полірування (5б) виконавчих поверхонь заготовок без розбирання і збирання блоку, тобто послідовна обробка з однієї установки заготовок на наклеювальному пристосуванні. Таке рішення зменшує об'єм допоміжних операцій і скорочує цикл обробки.

Другою відмінною ознакою є приклеювання заготовок (2б) першою поверхнею до пристосування тонким шаром смоли (0,1–0,3 мм), а другою (7б) – за допомогою тканинної прокладки, просоченої полірувальною смолою.

Грубе шліфування першої виконавчої поверхні (3б) проводять блоком на верстатах типу "Алмаз" або АШС з алмазним інструментом.

Після промивки блоку і контролю якості поверхні блоки поступають на тонке шліфування, яке здійснюється алмазним інструментом на верстатах типу ША або спеціалізованих типу ШП.

Після промивки блоку і контролю якості поверхні блоки поступають на полірування. Полірування (5б) виконують на тих же верстатах. Відполіровані блоки після контролю якості поверхні і захисту лаком поступають на розблокування, яке проводять такими ж засобами, як і в випадку «еластичного» блокування. Операції збирання блоку (7б), обробки другої виконавчої поверхні (8б–10б) і центрування (12б) виконуються за тією ж схемою, що і операції для обробки першої виконавчої поверхні.

Фасетування здійснюють одночасно з центруванням комбінованим алмазним кругом, ріжуча кромка якого має циліндричну і конічну частини.

Спосіб жорсткого блокування не виключає обробку заготовок по схемі "еластичного" способу кріплення, тобто попередню обробку заготовок поштучно з подальшим збиранням блоку за жорстким способом для тонкого шліфування і полірування.

У процес додаткової обробки лінз входять операції нанесення просвітлюючих, захисних і інших покриттів (12а, 13б).

6. Обладнання та інструмент, який використовується при виготовленні оптичних деталей

6.1. Абразивні та полірувальні матеріали

Шліфуючі абразиви – тверді дрібнозернисті кристалічні речовини в порошкоподібному стані. За походженням бувають природними та штучними. У оптичному виробництві абразиви застосовують у вільному стані (у вигляді рідких суспензій), або у зв'язаному (алмазний інструмент). Основними шліфуючими абразивами є алмаз, корунд, електрокорунд, карбід кремнію, карбід бору.

Алмаз (природний та синтетичний) – кристалічна модифікація вуглецю. Твердість за мінералогічною шкалою 10, мікротвердість 100000 мПа. Алмаз зустрічається в природі у вигляді окремих кристалів, що вросли в гірську породу. Синтетичні алмази у вигляді порошків отримують різними методами: кристалізацією вуглецю з його розчинів в розплавлених металах; епітаксіальним нарощуванням на алмазних затравках у присутності вуглецевих газів або рідкого середовища; прямою перебудовою кристалічної решітки графіту в алмазну. У залежності від умов синтезу отримують порошки зерна, які відрізняються розмірами, формою, характеристикою поверхні, міцністю і крихкістю. Для обробки оптичних матеріалів їх в основному використовують у зв'язаному стані. У вільному вигляді вони знаходять застосування на завершальних стадіях обробки деяких оптичних кристалів.

Корунд – кристалічний окис алюмінію. Зустрічається як складова частина гірських порід у вигляді кристалів. Зміст корунду в гірських породах коливається від десятих часток до 100%. Домішки Fe, Cr визначає забарвлення корунду. Наждаком називають корунд в поєднанні з гематитом, піритом, магнетитом і слюдами. Твердість корунду за мінералогічною шкалою 9 одиниць, мікротвердість 16000 – 24000 мПа. У

вільному стані використовується для шліфування практично всіх оптичних матеріалів.

Карбокорунд – хімічна сполука вуглецю з кремнієм, отримане при плавленні суміші вугілля з кварцовим піском. Чистий карбокорунд безбарвний, технічний – забарвлений в різні кольори від світло-зеленого до чорного. Твердість 9,5, мікротвердість 28000 – 33000 мПа. Для обробки оптичних матеріалів має обмежене застосування, тому що залишає на поверхні глибокі подряпини.

Електрокорунд – кристалічний окис алюмінію, який одержують електроплавкою гірських порід. Промисловість випускає кілька видів електрокорунду, які залежно від кількості у них кристалічної фракції окису алюмінію і домішок мають різну структуру, властивості і колір, наприклад: електрокорунд нормальний; електрокорунд білий; електрокорунди леговані; монокорунд. Застосовується у вигляді водних суспензій для шліфування всіх оптичних матеріалів, крім особливо твердих.

Карбід бору - з'єднання вуглецю з бором. Отримують плавленням суміші борного ангідриду і коксу. За твердістю близький до алмазу, мікротвердість 33000 – 43000 мПа. Застосовують при свердлінні отворів в склі та інших оптичних матеріалах і шліфуванні твердих оптичних кристалів.

6.1.1. Зерновий склад і зернистість абразивів

Усі абразиви, залежно від розмірів, розділені на групи, а при групі з однаковою ознакою – на номери зернистості. Здійснити класифікацію так, щоб порошок кожного номера зернистості складався лише із зерен одного розміру практично неможливо. Зміст його становить кілька фракцій (груп зерен, розміри яких вузько обмежені). Основна фракція – прийнята за характеризуючу даний номер зернистості. У побічні фракції входять зерна або більші, або дрібніші за основні. Кількісний вміст фракцій характеризує зерновий склад абразиву.

Шліфуючі порошки природного та синтетичного алмазу поділяють на дві групи: шліфпорошки, мікропорошки.

Шліфпорошки природного алмазу мають одну марку – А, синтетичного – п'ять: АСО, АСР, АСВ, АСК, АСС (АС – алмаз синтетичний; О, Р, В, К, С – індекси типів порошоків, що відрізняються фізико-механічними властивостями).

Зерна порошку АСО мають підвищену крихкість. Зерна АСР більш міцні і менш крихкі в порівнянні з АСО. У зерен АСВ міцність вища, ніж АСО і АСР, а крихкість менша; АСК мають більшу міцність і менш крихкі, ніж АСВ.

Шліфпорошок шляхом просіювання вихідних елементів крізь сито з розміром, що послідовно зменшується, поділяється на номери зернистості. У порошок кожної зернистості входить 3 фракції: велика, основна і дрібна. Розмір зерен кожної фракції визначається розміром комірки (мкм), що відповідає сити, крізь яке просіюють. Зернистість встановлюється неправильним дробом, у якого чисельник – це розмір комірки верхнього сита, знаменник – розмір комірки нижнього сита. Зерна, що залишилися на кожному ситі зважуються, і визначається відсоток їх вмісту. Якість порошку характеризують міцністю зерен. Нижче в таблиці 6.1 наведені зернистість і зерновий склад алмазних шліфпорошків.

6.1.2. Мікропорошки

Мікропорошки природних алмазів мають марки АМ та АН, а синтетичних – АСМ і АСН. Характеристикою якості порошоків АСМ і АСН, поряд із зерновим складом, є гарантована норма шліфуючих здібностей, яка задається режимом синтезу і режимом технологічної обробки порошку. У порошоків марки АСН вона на 30 – 40 % вище в порівнянні з АСМ.

Шліфуюча здатність порошоків АМ та АН залежить від природних родовищ алмазу. У порошоків АМ вона нижча, ніж у АН. Мікропорошки на

номери зернистості підрозділяються центрифугою або осадженням в стовпі рідини.

Таблиця 6.1

Зернистість і зерновий склад алмазних шліф-порошків

Діапазон зернистості	Зернистість	Фракція			
		Крупна		Основна	дрібна
		Повинно проходити через сито 100%	Може затримуватися у ситі не більше 15%	Повинно затримуватися у ситі не менше 15%	Може проходити через сито не більше 3%
Широкий	400/250	500	400	250	200
	250/160	315	250	160	125
	160/100	200	160	100	80
	100/63	125	100	63	50
	63/40	80	63	40	—
Вузький	630/500	800	630	500	400
	500/400	630	500	400	315
	400/315	500	400	315	250
	315/250	400	315	250	200
	250/200	315	250	200	160
	200/160	250	200	160	125
	160/125	200	160	125	100
	125/100	160	125	100	80
	100/80	125	100	80	63
	80/63	100	80	63	50
	63/50	80	63	50	40
	50/40	63	50	40	—

Зерновий склад мікропорошків визначають, вимірюючи розмір 500 штук зерен за допомогою мікроскопа. Мікропорошки мають розмір зерен від 80 до 1 мкм. Порошки, зерна яких дрібніші 1 мкм, служать вихідною сировиною для виготовлення субмікропорошків, що використовуються при обробці напівпровідникових кристалів кварцу і рубінів. Якість абразивних порошків оцінюють за їх шліфуючими здібностями і шорсткістю обробленої поверхні. Далі в таблиці 6.2 вказані зернистість і зерновий склад алмазних мікропорошків АСМ, АСН, АН і АМ.

Шліфуючу здатність характеризують масою матеріалу, зішліфованого зі зразка скла в стандартних умовах випробування. Її відносне значення для деяких абразивів наведено у таблиці 6.3.

Таблиця 6.2

Зернистість і зерновий склад алмазних мікропорошків

Зернистість	Фракція, мкм		
	Крупна, не більше 5%	Основна, не менше 65%	Дрібна, не більше 30%
60/40	80-60	60-40	40-20
40/28	60-40	40-28	28-14
28/20	40-28	28-20	20-10
20/14	28-20	20-14	14-7
14/10	20-14	14-10	10-5
10/7	14-10	10-7	7-3
7/5	10-7	7-5	5-2
5/3	7-5	5-3	3-1
3/2	5-3	3-2	до 2
2/1	3-2	2-1	до 1
1/0	2-1	(не менше 95%)	—

Таблиця 6.3

Відносна шліфуюча здатність деяких матеріалів

Шліфуючий абразив	Відносна шліфуюча здатність
Алмаз	1.0
Кубічний нітрид бору	0,58-0,60
Карбід бору	0,50-0,60
Карбід кремнію	0,25-0,45
Монокорунд	0,15-0,25
Електрокорунд	0,14-0,16
Наждак	0,03-0,08
Кварцовий пісок	0,02-0,03

6.1.3. Поліруючі абразиви

До поліруючих абразивів відносяться дрібнокристалічні окиси деяких металів, що знаходяться в порошкоподібному стані [6, 12].

Крокус – безводний окис заліза, одержують осадженням солей заліза (сульфатного, вуглекислого, щавлевого, кислого) з розчину і подальшим прожарюванням при температурі 700-800 °С; зерна мають округлу форму, розміри від 0,6 до 1 мкм. Застосування крокусу обмежене в порівнянні з іншими порошками низькою поліруючою здатністю. Використовують для полірування деталей зі скла, чистота поверхні яких повинна відповідати першому класу за ГОСТ 11141-76.

Полірит – складається в основному з оксидів рідкоземельних металів, вихідна сировина – мінерали лопаріт і монацит. Зерна мають форму подовжених пластинок розміром до 5 мкм. Вони легко дрібняться, утворюючи гострокутні уламки. Твердість від 6 до 7 одиниць. Це основний поліруючий абразив, що використовується при виготовленні деталей зі скла.

Окис торію – отримують прожарюванням торію або його органічних солей. Зерна мають форму чотирикутних пластинок розміром до 10 мкм. Вони тендітні, легко руйнуються. Твердість 6,5 одиниць. Трудомісткість виготовлення окису торію визначає його високу вартість, що обмежує застосування порошку.

Двоокис цирконію – отримують розкладанням термічно нестійких карбонатів і сульфатів. Початковою сировиною є баделіт і циркон. Середній розмір зерен 3,5-5 мкм. У оптичних технологіях застосовують для полірування скла марки СТК.

Окис хрому – виготовляють відновленням біхромату калію сіркою, або термічним розкладанням біхромату амонію. Першим способом отримують порошок з розмірами зерен від 0,8 до 1,2 мкм, а другим - від 0,3 до 0,4 мкм. Твердість за мінералогічною шкалою 9 одиниць. У оптичних технологіях застосовується для полірування деталей з кристалічних матеріалів з малою твердістю.

Алмазні мікропорошки АСМ і АСН зернистості від 3/2 до 1/0 і субмікропорошки зернистості від 0,7/0 до 0,3/0 використовують при

поліруванні кристалів рубіна і кремнію. За певних умов, що визначаються в основному властивостями зв'язки, мікропорошки застосовують і для полірування оптичного кварцового скла.

Якість порошків оцінюють за їх поліруючою здібністю і чистотою обробленої поверхні. Поліруючу здатність характеризують кількістю скла, знятого в заданий проміжок часу зі зразка певного розміру зі скла марки К8 в стандартних умовах.

Відносне значення поліруючої здатності для різних порошків близького зернового складу наведено в таблиці 6.4.

Таблиця 6.4

Відносне значення поліруючої здатності для різних
порошків близького зернового складу

Поліруючий абразив	Відносна поліруюча здатність
Окис хрому	0,5
Крокус	1,0
Олірит	1,5
Окис торію	2,2
Двоокис цирконію	2,0

6.2. Допоміжні матеріали

6.2.1. Охолоджувальні та фіксуючі матеріали

Призначення і типи змащувально-охолоджувальних рідин.

Обробку скла абразивами, що знаходяться у зв'язаному і вільному стані, виконують із застосуванням змащувально-охолоджуючих рідин (ЗОР), призначення яких [13, 16]:

- відвід тепла і продуктів зносу із зони контакту інструмента зі склом,
- утворення фізико-хімічних взаємодій в зоні обробки для прискорення руйнування скла,

- зменшення тертя інструменту та заготовки.

Продуктивність процесу, якість, споживана потужність і сила різання знаходяться у прямому зв'язку зі складом, кількістю і способом подачі ЗОР в зону контакту інструмента з заготівлею.

При виконанні грубого і тонкого шліфування плоских і сферичних поверхонь, свердління і розрізання, круглого шліфування, нанесення скосів, пазів і каналів використовують ЗОР, що містить емульсол, воду і газ. Крім зазначених компонентів для адгезії дисперсованих частинок скла поверхні робочої кромки інструменту і їх здатності до коагуляції до складу ЗОР вводять також кальциновану соду. Покращені властивості мають 3-5% водні емульсії, що містять сульфокислоту і гліцерин. У результаті обмінної реакції сульфокислоти з тринатрійфосфатом у масляному середовищі утворюється дрібнодисперсна структура, в якій вода і добавки стабілізовані всередині частинок сульфоната. У зоні тертя частинки руйнуються. Їх активна група прикріплюється до твердих тіл, а вуглецеві радикали, адсорбовані поверхнями алмазу і скла, стикаючись, забезпечують змащення. Вода не має доступу до поверхонь, що труться, вона поглинає тепло і випаровується. До складу емульсолу додають іноді фосфоровмісні з'єднання, поліпшуючі антикорозійні властивості емульсії.

При використанні водомістких МОР і малому навантаженні інструменту спостерігається його "засолювання". Причиною, що викликає це явище, є адгезійна взаємодія частинок зруйнованого скла зі зв'язкою інструменту. Якщо окислення зв'язки відбувається швидше, ніж її знос, то утворюється плівка окису, яка буде утримувати на собі частинки скла. Останні виконують захисну функцію, уповільнюють знос зв'язки і видалення зіпсованих зерен алмазу. Режим самозаточування інструменту порушується, що призводить до втрати ріжучої здатності. Адгезію зменшують, вводячи в МОР речовини, які адсорбуються на зв'язці даного складу краще, ніж скло.

За критерії оцінки МОР приймають поверхневий натяг і кислотність рН. Впливає на продуктивність процесу шліфування і шорсткість оброблюваної поверхні. Величини рН залежать від концентрації емульсії, з її підвищенням продуктивність підвищується, але одночасно зростає шорсткість. Оптимальні показники процесу досягаються при $\sigma = 380 - 440 \text{ Н / м}$, рН = 9 – 9,2.

6.2.2. Матеріали для кріплення заготовок приклеюванням.

Такі матеріали повинні задовольняти наступним технологічним вимогам:

- мати високу адгезійну здатність до матеріалу заготовки і пристосування;
- не викликати пружної деформації заготовок при зміні свого агрегатного стану;
- не вносити похибок;
- не вступати у хімічну взаємодію з матеріалом заготовок;
- легко відставати від поверхні заготовок і пристосування;
- не вимагати їх очищення за допомогою токсичних і вогнебезпечних розчинників.

Зазначеним вимогам відповідають сплави термопластичних речовин (наклеювані смоли, парафіни, віск, шелак). Також сублімує речовини і гіпс, водні розчини якого переходять у твердий стан [13].

Наклеювані смоли – це суміші ряду речовин, взятих у певних вагових співвідношеннях. Основним компонентом є каніфоль соснова – залишковий продукт переробки природної смоли (живиці) сосни. Температура розм'якшення 65 – 80 °С, добре розчиняється в спирті, ацетоні, ефірі, гірше в бензині. Має високу клейкість і входить до наклеювальних смол всіх марок в кількості 25 – 90 %. Зі збільшенням вмісту каніфолі твердість і температура розм'якшення смоли підвищуються.

Пек сосновий – залишковий продукт переробки дьогтю, одержуваний шляхом термічної обробки деревини з великим вмістом смоли. Температура розм'якшення 45 – 60 °С, добре розчиняється в бензині і ацетоні, гірше в спирті. Є компонентом наклеювальних смол більшості марок, де виконує роль пластифікатора, зменшуючи в'язкість смоли, надаючи еластичність і підвищуючи клейкість.

Парафін нафтовий – це суміш твердих вуглеців, одержуваних з парафінової нафти. Температура плавлення дорівнює 38 – 65°С. Стійкий до дії лугів і кислот. Виглядає як біла кристалічна маса.

Бітум - продукт з важких нафтових залишків, багатих на асфальтосмолисті речовини. Його основні складові - асфальтени, смоли і нафтові масла. Перші обумовлюють твердість, другі – еластичність, треті розріджують смоли і асфальтени. Температура розм'якшення твердого бітуму 60 – 90 °С. До складу смол вводять бітум у кількості до 2% для підвищення пружних властивостей.

Бджолиний віск – продукт плавлення вощини. Має кристалічну будову і являє собою з'єднання складних ефірів, спиртів і кислот. Віск добре розчинний в ацетоні і бензині, погано в спирті. Стійкий до дії кислот. До складу смол деяких марок вводять віск у кількості від 3 до 25% для підвищення пластичності.

Шеллак – це природна смола, являє собою продукт біологічної діяльності тропічних комах. Температура плавлення 35 – 40 °С, розчинний у лугах і спирті, майже не розчинний в ефірі і ацетоні. До складу смол деяких марок його вводять у кількості 40 - 50% для підвищення механічної міцності.

Наклеювальні воски – являють собою сплави каніфолі з воском. Кількість каніфолі в сплавах 80 – 90 %, а воску 10 – 20 %. Наклеювальні воски застосовують для склеювання заготовок між собою і фіксації їх положення на технологічних пристосуваннях. Через високу в'язкість товщина шару, що клеїть, повинна бути 0,2 - 0,3 мм.

Сублімаційні клеї – на основі алкільвмісних фреонів. Мають малу в'язкість, що дозволяє отримувати товщину шару, що клеїть, від 0,002 до 0,003 мм. При цьому міцність з'єднання заготовок з пристосуванням у 2-3 рази вище, ніж приклеєних смолою. Також клеї відрізняються тим, що при нагріванні вони випаровуються, не викликаючи забруднення на поверхні заготовок і пристосування. Недоліки: необхідність попереднього нагрівання заготовок до 60 – 70°C при їх з'єднанні і до 120 – 130°C при розбиранні.

Сплави металів з низькою температурою плавлення в межах 60 – 90°C за деякими технологічними властивостями мають переваги перед смолами: блок може бути розібраний зануренням у теплу воду, що виключає потребу у складних установках, скорочується витрата органічних розчинників, малі втрати сплаву, багаторазове використання.

Гіпс – дрібнозернистий порошок, що отримується відпалом природного двоховдного гіпсу до його перетворення в напівводний. Розчин гіпсу у воді через деякий час твердне і утримує заготовки дією сил тертя і зчеплення. Збільшення обсягу затверділого розчину гіпсу характеризують його питомою розширенням, яке нейтралізують, додаючи в гіпс цемент (6 – 8 % від маси гіпсу), який при затвердінні зменшується в об'ємі. Зі збільшенням вмісту цементу тривалість затвердіння розчину скорочується, але ускладнюється розбирання блоку і відділення заготовок. Тривалість робочого стану розчину (час від засипки гіпсу у воду до заливки блоку) становить не більше 3 хв, а час затвердіння суміші від 4 до 6 хв.

6.2.3. Промивні, захисні і поліруючі матеріали

Рідини для промивання заготовок і чищення деталей повинні швидко і надійно видаляти забруднення, розчиняти захисні лаки, смоли для наклеювання та інші речовини, не містити зважених часток та розчинених домішок, які можуть забруднювати оптичні поверхні, не спричиняти

руйнівної дії на поліровані поверхні, не бути токсичними і пожежонебезпечними [1, 2, 13].

Основними промивальними рідинами, які використовуються на початковій стадії і в кінці процесу механічної обробки заготовок, є:

1) Чиста вода кімнатної температури для видалення шліфувальних і поліруючих абразивів з поверхонь оброблених деталей.

2) Водні розчини лугів для видалення наклеювальних смол зі шліфованих поверхонь. Для цього застосовують 5 – 10 % водні розчини NaOH і KOH, які розчиняють віск, парафін, наклеювальні смоли і захисні лаки зі шліфованих поверхонь оброблюваних деталей. Поліровані поверхні цими розчинами не промивають, оскільки вони викликають їх руйнування.

3) Органічні розчинники і їх суміші для розчинення наклеювальних смол і захисних лаків на полірованих поверхнях. Бензин добре розчиняє сосновий пек, віск, жирові забруднення. Ацетон розчиняє каніфоль, захисні лаки на основі нітроемалі, жири, каучук. Етиловий спирт розчиняє наклеювальні смоли, спиртові лаки, шелак.

4) Однопроцентний розчин двохлористого олова у концентрованій соляній кислоті застосовують для видалення слідів поліруючих абразивів по контуру і з фасок оброблюваних деталей.

6.2.4. Протиральні матеріали

Для очищення полірованих поверхонь перед нанесенням покриттів і при складанні використовують різні розчинники:

- петролейний ефір;
- ефір етиловий,
- спирт етиловий ректифікат,
- спирт ректифікат сухий,
- суміш петролейного ефіру зі спиртом тощо.

Промиті деталі витираються серветкою з м'яких білих тканин (фланель, батист, льняне полотно тощо). Жири і бруд з поверхонь тканин

видаляють знежиренним лугом. Для остаточного чищення полірованих поверхонь оброблюваних деталей використовують знежирену гігроскопічну вату, яка застосовується і в медичній практиці.

Якість матеріалів оцінюється за продуктивністю процесу, здатності утворювати чисту, без видимих дефектів, поліровану поверхню і за тривалістю збереження форми робочої поверхні, наданої при виготовленні.

Технічні вовняні тканини використовують для виготовлення полірувальників, що застосовуються у процесах, які протікають з великою інтенсивністю, і при виготовленні деталей з низькими вимогами до точності форми поверхні, але високими до чистоти. Забезпечує чистоту та еластичні властивості тканини, що визначають можливість нівелювання рівня зерен поліруючого абразиву. Тканина на корпус приклеюється смолою. Для міцності з'єднання наклеєний матеріал притискають до корпусу і формують додатково допоміжним інструментом (планшайбою, грибом, чашкою) під тиском на пресі [1, 2, 13, 16].

Полірувальні смоли являють собою сплави соснового пеку та соснової каніфолі з додаванням домішок бджолиного воску або каніфольного мила, виконуючі роль пластифікатора. Смоли застосовують для виготовлення полірувальників, що використовуються в процесах отримання точних поверхонь деталей з скла і багатьох оптичних кристалів. Марку смоли вибирають, враховуючи інтенсивність процесу і температуру в зоні обробки.

Наявність у смол пластичних властивостей і здатність текти під дією навантаження обмежують температурний інтервал їх застосування і можливість інтенсифікації процесу. Для розширення температурного інтервалу і підвищення стабільності форми поверхні полірувальника у процесі його експлуатації в пеко-каніфольні смоли додають наповнювачі: деревна тирса дуба, вільхи, сосни, нафтовий бітум, полістирол та ін.

Синтетичні речовини мають мікропористу структуру. У їх склад вводять поліруючий абразив (оксид церію), зерна якого, насичуючи робочу

поверхню інструменту, підвищують інтенсивність процесу полірування. Відмітна особливість синтетичних речовин - висока зносостійкість, водо - і теплостійкість, значний опір розтягуючим зусиллям. Застосовують їх в процесах з підвищеними швидкостями і робочим тиском для полірування деталей зі скла і оптичних кристалів.

З корпусом синтетичні речовини з'єднують водостійким клеєм, температура плавлення якого нижче температури плавлення приклеєного матеріалу. З підвищенням вимог до точності форми полірованої поверхні товщину матеріалу зменшують. Відповідно підвищуються вимоги до точності форми поверхні корпусу полірувальника.

Чітко сформульованих вимог до фізико-механічних властивостей матеріалів полірувальників поки немає. Однак відомо, що максимальну швидкість полірування мають речовини, модуль пружності яких лежить в межах $(9 - 29) \cdot 10^2$ Па. Нижня межа відповідає величині пружності, необхідної для передачі склу зусиль різання від закріплених абразивних зерен. Верхня межа характеризує пружність, допускає нівелювання на процес різних рівнів висоти абразивних зерен інструменту в процесі обробки.

6.2.5. Захисні лаки

Лаки застосовують для захисту полірованих поверхонь від пошкоджень в процесі їх механічної обробки. Лаки повинні мати хорошу адгезію до наклеювальних смол і скла (оптичних кристалів), легко відділятися від скла, не вимагаючи для цього великої кількості розчинника. Лаки не мають вступати в хімічну взаємодію зі склом (оптичними кристалами), при висиханні повинні утворювати гладку однорідну плівку.

Марку лаку вибирають в залежності від виду виконуваної операції, способу з'єднання заготовок з технологічними пристосуваннями, матеріалу заготовки. Зокрема, поліровані поверхні, що з'єднуються з пристосуванням через смоляні подушки, або просоченими смолою прокладками з тканини,

захищають нітроемаллю НЦ-25 (це розчин нітробавовни, смоли і фарбувального пігменту в суміші летких розчинників). Нітроемаль НЦ-25 використовується і для захисту швів з'єднання заготовок з контактними пристроями. З цією метою застосовують цапонлак (розчин нітробавовни в летких органічних розчинниках з додаванням пластифікаторів – з'єднань, що прискорюють затвердіння).

Поліровані поверхні хімічно нестійкого скла (СТК-скла), водорозчинних і гігроскопічних кристалів, захищають фтоорганічним лаком Ф32Л. Для зменшення світлорозсіювання та усунення відблисків, створюваних неробочими поверхнями і фасками, поверхні фарбують у чорний колір матовою емаллю ХС-1107 або ПФ-163.

Для збільшення адгезії наклеєної смоли до скла і поліпшення умов спостереження дефектів (подряпин і точок) на полірованій поверхні на шліфовану поверхню заготовок до їх з'єднання зі смоляними подушками додатково наносять шар бітумного лаку.

6.2.6. Матеріали полірувальників

У якості матеріалів для робочих поверхонь полірувальників використовують:

- 1) технічні вовняні тканини (сукно, фетр);
- 2) полірувальні смоли;
- 3) синтетичні речовини (поліуретан, синтепол, пілон).

6.3. Інструмент, який використовується для виготовлення оптичних деталей

6.3.1. Алмазний технологічний інструмент

Елементи конструкції інструменту.

Алмазний інструмент будь-якого типу являє собою металевий корпус, з яким міцно з'єднаний алмазоносний шар – робоча частина інструменту. Алмазні технологічні інструменти характеризують за:

- 1) формою і розмірами;
- 2) розмірами алмазоносного шару;
- 3) маркою, зернистістю та концентрацією алмазного порошку;
- 4) маркою зв'язуючої речовини.

Ці параметри визначають ефективність роботи інструменту, питому витрату алмазів і, відповідно, ціну обробки. Їх оптимальний вибір має істотне значення у виробництві.

Форму і розміри інструментів обирають залежно від форми, розміру і матеріалу оброблюваної деталі (конструкції) та потужності верстата. Перевагу віддають інструменту з максимально допустимими за умовами обробки розмірами алмазоносного шару. Це зменшує витрати на інструмент, тому що вартість його виготовлення знижується з підвищенням кількості алмазного порошку в алмазоносному шарі.

Марку алмазного порошку вибирають, виходячи з умов роботи інструменту. Порошки із зернами малої міцності АСО ефективні в роботі з малими навантаженнями (кругле шліфування лінз), а порошки із зернами високої міцності (АСВ, АСК, АСС) дозволяють досягти високої продуктивності при роботі з великими навантаженнями (розпилювання, грубе шліфування, свердління отворів).

Зернистість алмазного порошку обирають залежно від вимог до шорсткості оброблюваної поверхні і розміру інструменту. З пониженням зернистості, а разом з тим і шорсткості, знижується продуктивність і підвищується вартість обробки. З іншого боку, з підвищенням зернистості підвищується продуктивність, але одночасно підвищуються шорсткість поверхні, глибина порушеного шару і припуски на них.

Концентрація алмазного порошку визначає його вміст (по масі) в одному сантиметрі кубічному алмазоносного шару. За концентрацію 100%

прийнято 4,4 карата (1 карат = 0,2 грама). Концентрація алмазного порошку впливає на термін служби інструменту, продуктивність обробки і глибину порушеного шару. Обирають її в залежності від розміру робочої поверхні інструменту, зернистості алмазного порошку, зносостійкості зв'язки.

Чим менший контакт інструмента з деталлю, тим вищий знос алмазоносного шару. Для зниження зносу концентрацію підвищують (вона знаходиться в прямій залежності від зернистості порошку). З підвищенням зернистості при постійній концентрації порошку число зерен на одиницю площі робочої поверхні інструменту знижується, продуктивність процесу зменшується, а велике навантаження на кожне зерно прискорює зношування алмазного шару. З пониженням зернистості при постійної концентрації, число одночасно працюючих зерен підвищується, але простір, в якому повинні знаходитися продукти зносу інструменту і оброблюваної деталі, зменшується. Продуктивність знижується, режим самозаточування інструменту порушується. Враховуючи це, концентрацію алмазного порошку з підвищенням зернистості підвищують, а з пониженням - знижують.

Марку зв'язки обирають, враховуючи марку порошку, властивості оброблюваного матеріалу, вид і режим обробки. Зв'язка впливає на продуктивність процесу, стійкість інструменту, глибину порушеного шару. Для обробки оптичних матеріалів використовують багатокomпонентні металеві зв'язки, основними компонентами яких є мідь, залізо, алюміній, а добавками служать олово, свинець, цинк тощо.

Існує два способи отримання алмазного шару: порошкова металургія або електрохімічне осадження алмазного шару. Суть першого полягає в тому, що з алмазовмісної шихти у прес-формі з встановленим у ній проміжним кільцем (або безпосередньо корпусом інструменту) при кімнатній температурі під тиском 3 10⁻² Па формують брикет. Для надання брикету високої міцності, зносостійкості, точної геометричної форми та

розміру його спікають при температурі, нижчій за температуру плавлення компонентів зв'язки, а потім ущільнюють під тиском $(0,6-1,5) \cdot 10^{-2}$ Па в нагрітому стані і охолоджують. Пластична деформація компонентів зв'язки, нагрітих при спіканні вище за температуру рекристалізації, забезпечує міцне закріплення зерен алмаза, рівномірне розподілення їх по всьому об'єму алмазозносного шару. Алмазозносний шар, спечений з проміжним металевим кільцем, з'єднують з корпусом інструменту дифузійним спіканням, паянням твердим низькотемпературним припоєм.

Способами порошкової металургії виготовляють інструмент для шліфування плоских і сферичних поверхонь, круглого шліфування, нанесення пазів і скосів, розпилювання скла, свердління отворів.

Електрохімічним осадженням виготовляють інструмент, у якого ширина ріжучої кромки мала в порівнянні з рештою розмірів. Використовують два різновиди цього способу:

- гальваностегія – отримання тонкого алмазовмісного покриття, міцно сполученого з корпусом під час осадження;
- гальванопластика – отримання алмазовмістких опадів, відокремлюваних від катода.

Гальваностегією виготовляють, зокрема, алмазні відрізні круги з внутрішньою ріжучою кромкою, гальванопластикою – деякі типи свердел.

Типи алмазних інструментів

Інструмент для грубого шліфування сферичних і плоских поверхонь стандартизований у вигляді алмазних кільцевих кругів форми АК, кругів алмазних чашкових АЧК та інших видів кругів в таблиці 18.1. У інструменті використовують алмазний порошок марок АСВ, АСК, АСС. Концентрація порошку підвищується від 25% до 100% зі збільшенням його зернистості і діаметра інструменту. У одиничному виробництві грубе шліфування плоских поверхонь, зняття фасок роблять алмазними кругами

форми АПК у вигляді планшайб. Марки порошків алмазу і їх зернистість аналогічні АЧК і АК, концентрація алмазів 50 – 100 %.

Інструмент для тонкого шліфування сферичних поверхонь способом примусового формоутворення аналогічний кругам АК і АЧК, при цьому марка алмазного порошку АСН, зернистість порошку від 28/20 до 14/10.

Алмазний інструмент для тонкого шліфування сферичних і плоских поверхонь способом притиру має форму грибів, чашок і планшайб. Робочу поверхню інструменту утворюють алмазовмісні елементи 1 у вигляді таблеток, закріплених на корпусі 2 (алмазний порошок типу АСН, концентрація від 10 до 25 %).

Інструмент для свердління отворів виготовляють трубчастої форми. У ньому використовують алмазний порошок марок АСК і АСС. Зернистість від 125/100 до 315/250, підвищується з підвищенням діаметру інструменту, концентрація від 50 до 100 %.

Інструмент для розпилювання скла стандартизований у вигляді алмазних відрізних кругів (АВК), кругів з внутрішньою ріжучою кромкою (АКВР), кругів з міжсегментними пазами (АПС). Алмазний відрізний круг АВК використовується для розпилювання силікатного і кварцового скла, ситалів, оптичної кераміки і кристалів. Основою круга є диск з листової холоднокатаної сталі. Алмазна суміш виготовляється гальванічним методом. У інструменті застосовують алмазний порошок марки АСК, АСС, зернистість від 630/500 до 125/100, концентрація 25 – 100 % (підвищується з підвищенням зернистості алмазу і розміру круга).

Алмазний круг з внутрішньою ріжучою кромкою АКВР застосовують для розпилювання напівпровідникових кристалів. Алмазний порошок марки АН, АСН закріплений на корпусі методом гальваностегії.

Алмазні круги з міжсегментними пазами застосовують для розпилювання великогабаритних заготовок, відливків зі скла. Їх ріжуча кромка складається з окремих сегментів, число яких (16-155) залежить від

діаметра круга. Зернистість алмазного порошку 500 / 400 – 250 / 200, концентрація 50 – 100 %

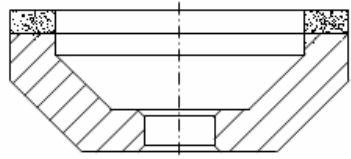
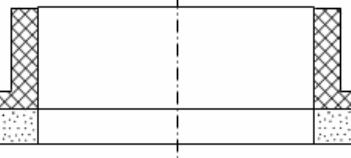
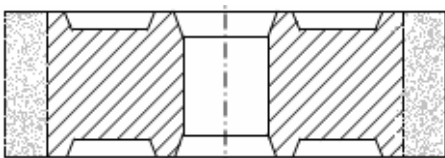
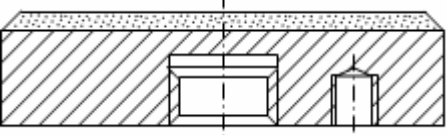
Інструмент для круглого шліфування пластин і лінз – алмазні круги плоского профілю – АПП.

У інструменті для центрування лінз методом кругового шліфування застосовують алмазний порошок марки АСО, АСВ зернистістю 160 / 125 - 50 / 40 при концентрації 100%.

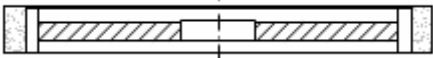
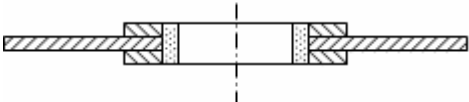
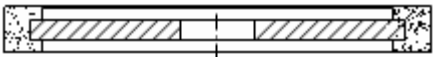
Деякі типи та галузі застосування алмазного інструменту наведено у таблиці 6.5.

Таблиця 6.5

Деякі типи та галузі застосування алмазного інструменту

Назва інструменту	Профіль інструменту	Галузь застосування
1	2	3
Алмазні чашкові круги форми АЧК (ГОСТ 16172-70)		Грубе і тонке шліфування плоских сферичних поверхонь
Алмазні кільцеві круги форми АК (ГОСТ 17006-71)		
Алмазні круги плоскі прямого профілю форми АПП (ГОСТ 16167-70)		Кругле шліфування пластин, центрування лінз
Алмазні плоскі круги форми АПК (ГОСТ 17007-71)		Грубе і тонке шліфування плоских поверхонь в одиночному виробництві, нанесення фасок

Продовження таблиці 6.5

1	2	3
Алмазні відрізні круги форми АОК (ГОСТ 10110-71)		Розпилювання скла і кристалів
Алмазні відрізні круги із внутрішньою ріжучою кромкою форми АКВР		Розпилювання напівпровідникових кристалів
Алмазні відрізні сегментні круги (ГОСТ 16115-70, ГОСТ 16117-70)		Розпилювання великогабаритних заготовок скла

6.4. Пристосування для виготовлення оптичних деталей

У оптичній технології застосовують верстатні пристосування загального машино- і приладобудівного призначення. Специфічні оптичні верстатні пристосування застосовують лише для наклейки чи затиску заготовок. Використовуючи верстатні пристосування, намагаються:

- 1) усунути вивірку положення заготовок;
- 2) підвищити точність і швидкість обробки;
- 3) розширити технологічні можливості обладнання;
- 4) зменшити допоміжний час на встановлення та закріплення заготовок.

Уніфікація пристроїв дозволяє підвищити економічну ефективність виробництва. Її проводять за трьома напрямками:

1. створення універсальних пристроїв (забезпечує обробку груп деталей);
2. створення стандарту на деталі пристроїв і їх окремі елементи;
3. створення універсально-налагоджувальних пристроїв.

Вибір схеми пристроїв базується на об'єднанні деталей у групи за

видам обробки, габаритними розмірами, схемами базування і закріплення. Базуючі поверхні повинні забезпечувати заготовці незмінність положення у процесі обробки, мінімальні похибки установки, жорсткість і стійкість під дією скріплюючих зусиль, робочого тиску інструменту та нагрівання, швидке встановлення та зняття з пристроїв.

За ступенем універсальності пристрої поділяють на:

- спеціальні (використовуються для виконання однієї операції чи обробки групи конструктивно та технологічно однакових заготовок);
- непереналагоджувані універсальні (застосовують для обробки різних заготовок за допомогою підналагодження допустимих конструкцій пристосування);
- переналагоджувані багатопредметні пристрої (дозволяють обробляти різні заготовки за рахунок своєї універсальної збірно-розбірної і агрегатованої конструкції).

Цілісний корпус пристосування об'єднує в єдине ціле окремі його елементи. Він сприймає зусилля, що виникають у процесі закріплення заготовки і її обробки, тому корпус повинен бути:

- 1) достатньо міцним і жорстким;
- 2) зручним для встановлення і зняття з верстату;
- 3) зручним для встановлення і зняття заготовок;
- 4) доступним для швидкої очистки пристосування від продуктів зносу інструмента і оброблювального матеріалу;
- 5) стійким до корозії;
- 6) жароміцним, кислото- та лугостійким при використанні у вологому чи хімічно агресивному середовищі.

6.4.1. Пристосування для плоского шліфування

Найбільш поширеним типом універсальних пристосувань є прямокутні плоско-паралельні металічні пластини із звичайної

конструктивної сталі 20, на які за допомогою воску чи парафіну наклеюють заготовки. Пристосування на столі станка закріплюють гвинтовими чи кулачковими затисками, або електромагнітним пристроєм. Основним недоліком таких пристосувань є тривалість операції встановлення і зняття заготовок на пристосування.

Робота більш досконалих пристосувань базується на використанні механічних упорів і поверхневого натягу рідкої плівки. Упори сприймають основні зусилля різання, а тонкий шар води між базовими поверхнями і поверхнями заготовок запобігає вібрації і мимовільному розтисненню заготовок.

Для обробки бічних поверхонь заготовок некруглої форми використовують багатомісні універсальні і спеціальні пристосування, показані на рис. 6.1.

Таке пристосування виконано у вигляді кутника 1 з базовим кутом. Змочені водою склеєні заготовки 2 укладають стовпчиком і затискають гвинтом через прокладку 3.

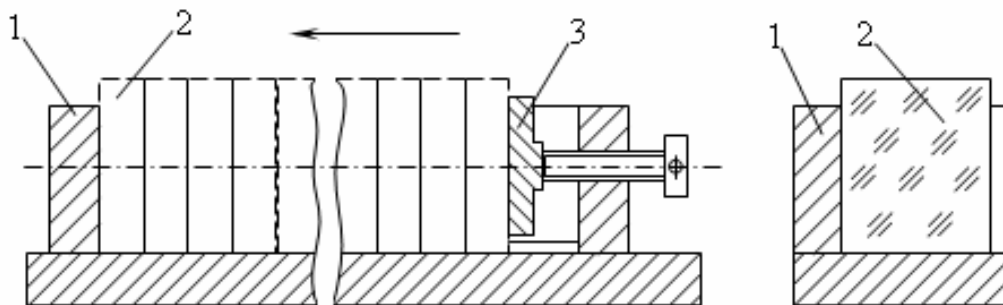


Рис. 6.1. Пристосування для обробки торців заготовок некруглої форми

Для грубого шліфування призм, зібраних у стовпчики, застосовують пристосування з відповідним розташуванням опорних поверхонь (рис. 6.2). Похибки виконання кутових і лінійних розмірів пристосувань повинні бути в 1,5 – 2 рази менші, ніж у заготовок, що обробляються. Похибка виконання кутових розмірів призм і клинів при використанні цього типу становить 2 – 5 хв, а пірамідальність стовпчиків 0,05 – 0,01 мм.

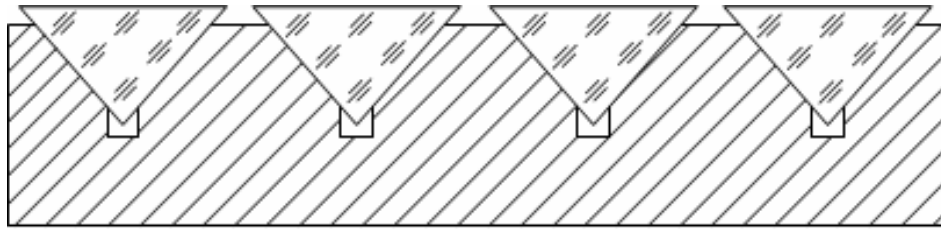


Рис. 6.2. Пристосування для обробки призм

Останнім часом знаходять широке поширення багатомісні багатопозиційні пристосування у вигляді ділильних пристроїв. Їх застосовують для установки оброблюваних заготовок, складених або склеєних в стовпчик, у різні положення.

6.4.2 Пристосування для сферошліфувальних і центрувальних операцій

При обробці сферичних і асферичних поверхонь одиничних осесиметричних заготовок і блоків використовують цангові та пневматичні пристосування, що виконують центруючі затискні функції. Схема цангового пристосування показана на рис. 6.3. Підставка цанги 1 має прорізи 2 і жорстко кріпиться на верхньому торці шпинделя верстата. Центрування і затиск заготовки здійснюється осьовим переміщенням штока 3, що має на верхньому кінці кільце 4 для затиску заготовки 5. Вертикальне переміщення штока може здійснюватися як механічним, так і пневматичним приводом.

Застосовують також вакуумні затискні патрони, схема яких показана на рис. 6.4. Корпус 1 такого пристосування жорстко закріплений на торці шпинделя верстата. При натисканні заготовка 2, долаючи опір пружини штовхача 3, притискається до опорної площини корпусу. Для забезпечення вакууму у корпусі є кільцева канавка, в яку вставлено гумове кільце 4. При впуску повітря в патрон пружина, розтискаючи, переміщає штовхач вгору і виштовхує заготовку.

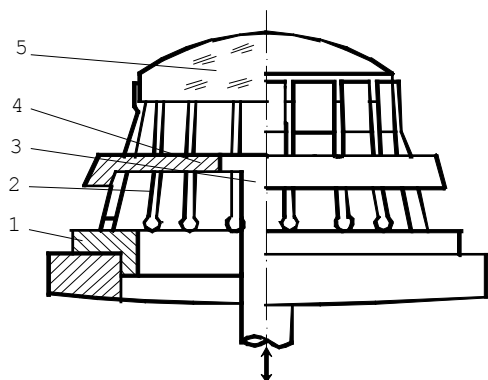


Рис. 6.3. Цангове пристосування

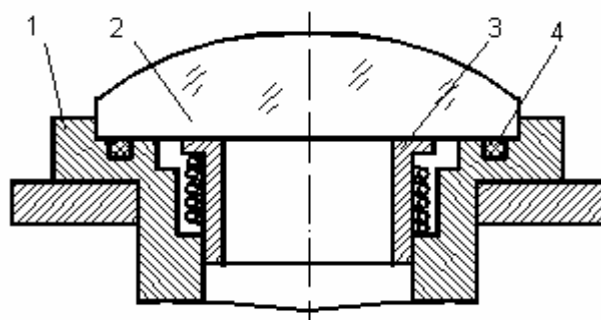


Рис. 6.4. Вакуумне пристосування

На центрувальних верстатах застосовують два види патронів. На верстатах, де оптичну вісь лінзи 3 суміщають з віссю обертання шпинделя, спостерігаючи за кутовим биттям зображення нитки розжарення лампи, відбитого від поверхні встановлюваної лінзи, застосовують патрони, схема яких показана на рис. 6.5. У такому патроні на хвостовик 1 зі сталі 50 напресовується гільза 2 з латуні ЛС59-1. Латунь цієї марки завдяки осипній стружці забезпечує гарну якість підрізання гострого краю і швидкий нагрів (охолодження) смоли 4 і гільзи 2 в процесі роботи.

На самоцентруючих верстатах застосовують сталеві центрувальні патрони з конічною базовою поверхнею (рис. 6.6). Такі патрони виготовляють з бромистих сталей з наступним загартуванням, що забезпечує найбільш низький коефіцієнт тертя по склу та зносостійкість.

Для нанесення фасок на лінзу з товстим краєм застосовують вакуумні затискні патрони. Хвостовик затискних патронів виконують зі сталі 50, а гільзу і кільце - з латуні ЛС 59-1.

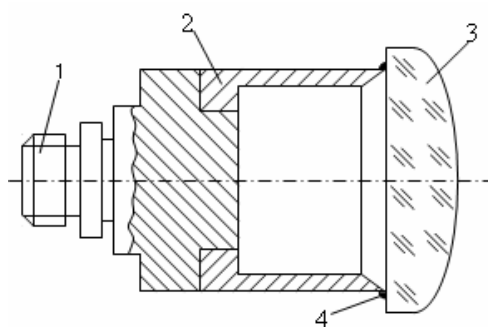


Рис. 6.5 Латунний
центрувальний патрон

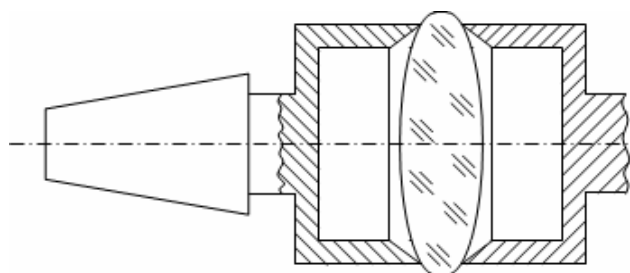


Рис. 6.6. Сталевий центрувальний
патрон

6.4.3. Шліфувально-полірувальні пристосування із наклеюванням заготовок

Хвостовики таких пристосувань погоджують з посадочними місцями шпинделів верстатів, що дозволяє закріплювати їх безпосередньо на шпинделі або через перехідні втулки. Конструктивні форми пристосувань для еластичного кріплення заготовок лінз в основному аналогічні конструкціям шліфувальників і полірувальників сферичної форми. Пристосування діаметром до 500 мм виготовляють з сірого чавуну СЧ 12-28 методом лиття з наступною проточкою посадочних місць. Пристосування великих розмірів виготовляють комбінованими: корпус зі сплаву АЛ2, а різбова втулка зі сталі 40.

Наклеювальні пристосування типу грибів і чашок для жорсткого кріплення заготовок виготовляють з чавуну литтям в кокіль і подальшим гострінням, пластмасові - литтям під тиском пластмаси АГ-4. Комбіновані пристосування, схема яких показана на рис. 6.7, мають корпус 1 зі сплаву типу АЛ2, у який запресовано хвостовик 2 зі сталі 40, або корпус з пластмаси АГ-4, армований латунною різбовою втулкою – хвостовиком. Іноді хвостовик з'єднують з корпусом через підшипник кочення.

Для кріплення деяких тонких заготовок, наприклад, ковпаків 3 застосовують вакуумні одномісні патрони, схема яких показана нижче на рис. 6.8. Вакуум створюється за допомогою еластичної діафрагми 2, виготовленої з гуми товщиною від 2 до 4 мм. Корпус 1 відливають із сплаву АЛ2, шток 4 та інші кріпильні деталі виготовляють з нержавіючої сталі.

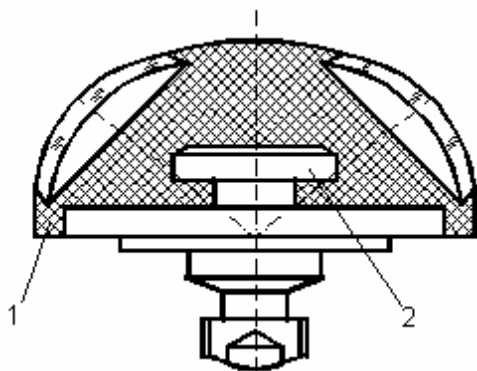


Рис. 6.7 Комбіноване
наклеювальне пристосування

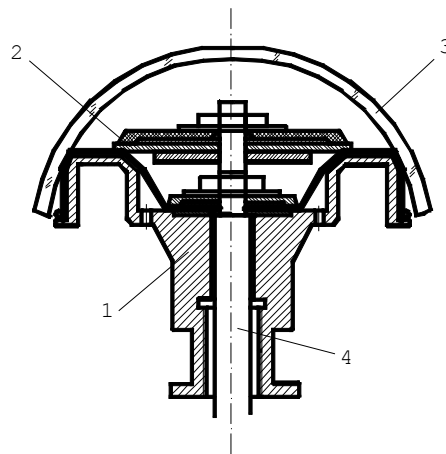


Рис. 6.8. Вакуумне сталеве
пристосування

6.5. Обладнання для виготовлення оптичних деталей

Верстат шліфувальний ШС-1600 призначений для обробки плоских, осесиметричних сферичних і асферичних поверхонь, а також циліндричних і конічних поверхонь оптичних деталей (ОД) з різних оптичних матеріалів (скло, ситалл, карбід кремнію, германій), закріплених у технологічних пристосуваннях або на планшайбі столу верстата.



Рис. 6.9. Верстат шліфувальний ШС-1600

На шліфувальному верстаті ШС-1600 ОД виконуються такі операції:

- круглення габариту;
- обробка багатогранника (шестигранника) по периметру;

- обробка прямокутних деталей по периметру;
- обробка фасонних, наприклад, еліптичних деталей зі співвідношенням розмірів більшої і малої осей до 1,4;
- попереднє шліфування робочих поверхонь ОД (плоских, сферичних, асферичних) кільцевим алмазним інструментом;
- висвердлювання і розшліфування центрального (наскрізного) отвору;
- висвердлювання і шліфування глухих отворів (допоміжні, полегшуючі, кріпильні) на тильній поверхні ОД;
- шліфування конічних кріпильних отворів спеціальним інструментом;
- нанесення конструктивних і технологічних фасок.

Управління роботою верстата можна здійснювати як в ручному, так і в автоматичному режимах.

Управління роботою верстата в автоматичному режимі здійснюється пристроєм числового програмного керування (ПЧПК) з виведенням на екран системи керування заданих показників.

Основні технічні характеристики верстата наведено у таблиці 6.6.

Таблиця 6.6

Технічні характеристики верстата шліфувального ШС-1600

Діаметр заготовки, мм	від 300 до 600
Товщина заготовки по краю, мм	від 80 до 350
Товщина заготовки по центру, мм	від 40 до 350
Радіус сфери оброблюваної заготовки, мкм	від ± 300 до ∞
Діаметр осевого оброблюваного отвору, мм	від 80 до 300
Діаметр кріпильних отворів, мм	від 40 до 60
Маса заготовки, кг, не більше	120
Кут встановлення нахилу шпинделя інструменту, градус	від +15 до -45
Шорсткість оброблюваної поверхні Ra , мкм	від 10 до 40
Споживана потужність, кВт, не більше	41
Габаритні розміри верстата, мм, не більше: Д $\times$ Ш $\times$ В	5700 $\times$ 3200 $\times$ 3000
Маса, кг	15 000

Верстат шліфувальний РШС-100 використовується для розрізання брусків, пластин, циліндричних заготовок із традиційних і нетрадиційних оптичних матеріалів (кварц, скло тощо) набором стрічкового інструменту (штрипсами) з подачею в зону різання абразивної суспензії. Управління процесом розпилювання здійснюється за допомогою системи управління на базі програмованого контролера.

На рисунку 6.10 наведено фотографію шліфувального верстата моделі РШС-100. У таблиці 6.7 наведено його технічні характеристики.



Рис. 6.10. Верстат шліфувальний РШС-100

Таблиця 6.7

Технічні характеристики верстата шліфувального РШС-100

Розміри заготовки, мм, не більше	
довжина	230
ширина	160
висота	65
Маса заготовки, кг, не більше	10
Ширина різу, мм, не більше	0,3
Найменша товщина одержуваних заготовок, мм	2
Точність розпилювання, мкм	0,1-0,5
Максимально можлива кількість встановлюваних ріжучих інструментів, шт.	25
Споживана потужність, кВт, не більше	5
Габаритні розміри верстата, мм, не більше: Д × Ш × В	1950×1000×1300
Маса верстата, кг	1500

Верстат шліфувальний РСД-100 призначено для розпилювання оптичних заготовок (брусків, штабиків, пластин, циліндричних заготовок, кускового скла) на мірні заготовки алмазними інструментами. Управління процесом розпилювання здійснюється за допомогою системи управління на основі програмованого контролера.

На рисунку 6.11 наведено фотографію шліфувального верстата моделі РСД-100. У таблиці 6.8 наведено його технічні характеристики.



Рис. 6.11. Верстат шліфувальний РСД-100

Таблица 6.8

Технічні характеристики верстата шліфувального РСД-100

Розміри заготовок, що розпилюються, мм:	
довжина, ширина	від 50 до 200
висота	від 10 до 70
діаметр	від 5 до 70
Діаметри алмазно-відрізних кругів по ГОСТ 10110-87, мм	від 125 до 250
Кількість алмазно-відрізних кругів, шт.	від 1 до 5
Ширина різку, мм	від 0,7 до 2,0
Переміщення столу, мм	
поздовжнє	від 0 до 320
поперечне	від 0 до 200
Частота обертання шпинделя інструменту с^{-1} (об / хв)	від 25 до 50 (від 1500 до 3000)
Споживана потужність, кВт	5,5
Габаритні розміри верстата, мм: Д × Ш × В	1450×1350×1600
Маса верстата, кг	1200

Для круглення заготовок оптичних деталей діаметром від 3 до 35 мм з кристалічних, аморфних та інших оптичних матеріалів використовують верстат шліфувальний КШС-35. Управління процесом круглення здійснюється за допомогою системи управління на базі програмованого контролера.

На рисунку 6.12 наведено фотографію шліфувального верстата моделі КШС-35. У таблиці 6.9 наведено його технічні характеристики.



Рис. 6.12. Верстат шліфувальний КШС-35

Таблиця 6.9

Технічні характеристики верстата шліфувального КШС-35

Розміри оброблюваних заготовок, мм,	
сторона квадрата заготовки	від 10 до 35
довжина стовпчика заготовки	від 100 до 200
Вимоги до обробленої заготовки:	
точність обробки діаметру, мм	від 0,05 до 0,5
Частота обертання шпинделя виробу, об / хв	від 50 до 400
Частота обертання шпинделя інструменту, об / хв, не більше	4500
Діаметр круга алмазного шліфувального чашкового конічного ГОСТ 16172-90, мм	100
Споживана потужність, кВт	3,8
Габаритні розміри, мм: Д × Ш × В	1100×900×1465
Маса, кг	800

Для отримання круглих заготовок оптичних деталей з прямокутних заготовок з квадратним перетином та інших профілів з кристалічних, аморфних та інших оптичних матеріалів алмазним інструментом використовують верстат шліфувальний КШС-100. Управління процесом обробки здійснюється за допомогою системи управління на базі програмованого контролера.

На рисунку 6.13 наведено фотографію шліфувального верстата моделі КШС-100. У таблиці 6.10 наведено його технічні характеристики.



Рис. 6.13. Верстат шліфувальний КШС-100

Таблиця 6.10

Технічні характеристики верстата шліфувального КШС-100

Розміри оброблюваних заготовок, мм,	
сторона квадрата заготовки	від 35 до 100
довжина стовпчика заготовки	від 100 до 200
Вимоги до обробленої заготовки:	
точність обробки діаметру, мм	від 0,05 до 0,5
шорсткість, Ra по ГОСТ 2789-73, мкм	3,2
Діаметр круга алмазного шліфувального чашкового конічного ГОСТ 16172-90, мм	100
Споживана потужність, кВт, не більше	5
Габаритні розміри: Д × Ш × В	800×850×1950
Маса, кг	1000

Верстат обдирний ОС-320М призначений для обдирання та шліфування плоских і сферичних поверхонь заготовок оптичних деталей або блоків діаметром до 320 мм.

На рисунку 6.14 наведено фотографію верстату обдирного ОС-320 М. У таблиці 6.11 наведено його технічні характеристики.



Рис. 6.14. Верстат обдирний ОС-320 М

Таблиця 6.11

Технічні характеристики верстата обдирного ОС-320 М

Діаметр оброблюваних заготовок, мм, не більше	320
Частота обертання шпинделя (регулюється безступінчато) у діапазоні, об / хв	від 30 до 600
Допуск радіального биття центруючої поверхні шпинделя, мм	0,05
Допуск биття опорного торця шпинделя, мм	0,05
Встановлена потужність, кВт	30
Габаритні розміри верстата, мм, не більше: Д × Ш × В	910×900×1230
Маса, кг, не більше	350

Верстат АЗК-100 (модернізація верстата КШС-100) призначений для отримання круглих заготовок оптичних деталей із прямокутних заготовок з квадратним перетином та інших профілів із кристалічних, аморфних та інших оптичних матеріалів алмазним інструментом. Управління процесом

обробки здійснюється за допомогою пристрою числового програмного керування (ПЧПК).

Верстат призначений для застосування в багатомноменклатурному оптичному виробництві.

На рисунку 6.15 наведено фотографію верстату АЗК-100 (модернізація верстата КШС-100). У таблиці 6.12 наведено його технічні характеристики.



Рис. 6.15. Верстат шліфувальний АЗК-100

Таблиця 6.12

Технічні характеристики верстата шліфувального АЗК-100

Розміри оброблюваних заготовок, мм:	
діагональ квадратної заготовки	від 35 до 140
довжина стовпчика заготовки	від 100 до 200
Вимоги до обробленої заготовки:	
точність обробки діаметру, мм	до 0,05
шорсткість, Ra за ГОСТ 2789-73, мкм	3,2
Діаметр круга алмазного шліфувального чашкового конічного ГОСТ 16172-90, мм	100
Споживана потужність, кВт, не більше	5
Габаритні розміри, мм, не більше: Д × Ш × В	950×1050×1990
Маса, кг, не більше	1200

Верстат укомплектований джерелом живлення СОЖ і установкою відсмоктування і очищення аерозолів "Вихрь-2".

Верстат АЗР-100 (модернізація верстата РСД-100) використовується для розпилювання оптичних заготовок (брусків, штабиків, пластин, циліндричних заготовок, кускового скла) на мірні заготовки алмазними інструментами. Управління процесом розпилювання здійснюється за допомогою системи управління на базі програмованого контролера.

Верстат призначений для застосування в багатомономенклатурному і дрібносерійному оптичному виробництві.

На рисунку 6.16 наведено фотографію верстату АЗР-100 (модернізація верстата РСД-100). У таблиці 6.13 наведено його технічні характеристики.

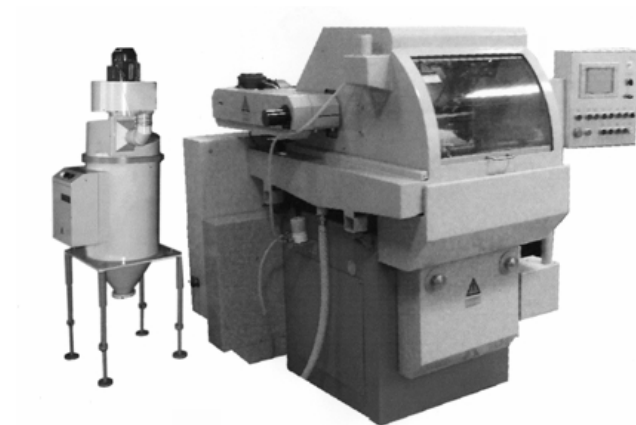


Рис. 6.16. Верстат шліфувальний АЗР-100

Таблиця 6.13

Технічні характеристики верстата шліфувального АЗР-100

Розміри заготовок, що розпилюються, мм	
довжина, ширина	від 50 до 200
висота	від 10 до 70
діаметр	від 5 до 70
Діаметри алмазних відрізних кругів ГОСТ 10110-87, мм	від 125 до 250
Кількість алмазних відрізних кругів, шт.	від 1 до 5
Ширина різу, мм	від 0,7 до 2,0

Переміщення столу, мм	
поздовжнє	від 0 до 320
поперечне	від 0 до 200
Частота обертання шпинделя інструменту с^{-1} (об/хв)	від 25 до 50 (від 1500 до 3000)
Споживана потужність, кВт, не більше	5,5
Габаритні розміри верстата, мм, не більше: Д × Ш × В	1455×1200×1600
Маса верстата, кг, не більше	1030

Верстат укомплектований джерелом живлення СОЖ і установкою відсмоктування і очищення аерозолів "Вихрь-2".

6.6. Обладнання для тонкого алмазного шліфування

Верстат шліфувальний ША-10 призначений для тонкого алмазного шліфування сферичних поверхонь оптичних деталей кільцевим або сферичним алмазним інструментом. Управління інструментом верстата можна здійснювати як в ручному, так і в автоматичному режимах. Управління інструментом верстата в автоматичному режимі здійснюється за допомогою системи управління (СУ) на базі програмованого контролера з виведенням на екран СУ заданих показників.



Рис. 6.17. Верстат шліфувальний ША-10

Технічні характеристики верстата шліфувального ША-10

Діаметр заготовки, мм	Від 3 до 11
Граничне відхилення прогину обробленої поверхні на діаметрі 5 мм, мм	$\pm 0,001$
Товщина заготовки, мм, не більше	10
Граничне відхилення товщини обробленої деталі після операції тонкого алмазного шліфування, мм	$\pm 0,01$
Кут нахилу шліфувальної бабки, кут. од.	Від 0 до 45°
Величина зсуву шпинделя від розташування заготовки, мм	Від 0 до ± 10
Кількість керованих осей координат виконавчих двигунів, шт.	4
Частота обертання шпинделя, об / хв	Від 4000 до 48000
Частота обертання шпинделя виробу, об / хв	Від 100 до 1000
Встановлена потужність, кВт, не більше	3,5
Габаритні розміри верстата з електрошафою, мм, не більше: Д $\times$ Ш $\times$ В	1800 $\times$ 1180 $\times$ 1600
Маса, кг, не більше	1250
Маса електрошафи, кг, не більше	170

Для проведення технологічних операцій обробки сферичних і плоских поверхонь оптичних деталей (обробка по висоті і діаметру, сферошліфування, тонке алмазне шліфування (ТАШ) кільцевим алмазним або сферичним алмазним інструментом, обробка конструкційних і технологічних фасок) використовують верстат алмазно-шліфувальний АШС-10.

Управління роботою верстата можна здійснювати як в ручному, так і в автоматичному режимах. Управління роботою верстата в автоматичному режимі здійснюється за керуючою програмою системи управління (СУ) на базі програмованого контролера з виведенням на екран СУ заданих показників.



Рис. 6.18. Верстат шліфувальний АПС-10

Таблиця 6.15

Технічні характеристики верстата шліфувального АПС-10

Діаметр заготовки, мм	від 3 до 11
Граничне відхилення діаметра після обробки деталі, квалітет по ГОСТ 25347-82	7
Радіус сфери оброблюваної деталі, мм	від 2 до ∞
Товщина заготовки по краю, мм, не більше	5
Товщина заготовки по центру, мм, не більше	10
Граничне відхилення товщини обробленої деталі після операції сферошліфування і ТАШ, мм, не більше	$\pm 0,01$
Розмір фасок по катету, мм	від 0,1 до 0,5
Кут нахилу шліфувальної бабки, кут. од.	Від 0 до 45°
Зсув шліфувальної бабки від розташування шпинделів, мм	від 0 до ± 20
Кількість керованих осей координат виконавчих двигунів, шт.	10
Частота обертання шпинделя інструменту, об / хв	від 4000 до 48000
Частота обертання шпинделя виробу, об / хв	від 100 до 1000
Споживана потужність, кВт, не більше	7,5
Габаритні розміри верстата з електрошафами, мм, не більше: Д $\times$ Ш $\times$ В	1800 $\times$ 1350 $\times$ 1830
Маса, кг, не більше	1853

Для тонкого алмазного шліфування алмазним інструментом і поліровки сферичних і плоских поверхонь ОД або блоків діаметром від 15

до 50 мм в загальному випадку використовують верстат шліфувально-полірувальний ШП-50М.



Рис. 6.19. Верстат шліфувально-полірувальний ШП-50М

Таблиця 6.16

Технічні характеристики верстата шліфувально-полірувального ШП-50М

Діаметр оброблюваних ОД або блоків, мм	від 15 до 50
Кількість шпинделів, шт.	3
Тривалість циклу, с	від 10 до 100
Максимальна споживана потужність, кВт	2,8
Габаритні розміри, мм: Д × Ш × В	850 × 920 × 1440
Маса, кг	400

Верстат шліфувально-полірувальний 3ШП-350М призначений для тонкого шліфування і полірування плоских і сферичних поверхонь заготовок оптичних деталей або блоків методом притиру із застосуванням вільного абразиву.

На рисунку 6.20 наведено фотографію верстату шліфувально-полірувального 3ШП-350М. Його технічні характеристики наведено у таблиці 6.17.



Рис. 6.20. Верстат шліфувально-полірувальний 3ШП-350М

Таблиця 6.17

Технічні характеристики верстата шліфувально-полірувального 3ШП-350М

Діаметр оброблюваних ОД або блоків, мм	від 200 до 350
Кількість шпинделів, шт.	3
Частота обертання шпинделя (регулюється безступінчато), об / хв	від 30 до 180
Число подвійних ходів повідця на хвилину (регулюється безступінчато), об / хв	від 28 до 110
Максимальна споживана потужність, кВт	7,55
Габаритні розміри, мм: Д × Ш × В	2280 × 1080 × 1660
Маса, кг, не більше	1300

Для тонкого шліфування і полірування вільним абразивом сферичних поверхонь ВІД, закріплених на одномісних або багатомісних клейових пристосуваннях при серійному виробництві використовують верстат шліфувально-полірувальний 6ШП-20 (рис. 6.21), технічні характеристики якого наведено у таблиці 6.18.



Рис. 6.21. Верстат шліфувально-полірувальний 6ШП-20

Таблиця 6.18

Технічні характеристики верстата шліфувально-полірувального 6ШП-20

Діаметр оброблюваних деталей, мм	от 5 до 20
Кількість шпинделів, шт.	6
Споживана потужність, кВт	1,02
Габаритні розміри, мм: Д × Ш × В	1000 × 900 × 1340
Маса, кг	320

6.7. Обладнання для полірування оптичних деталей

Верстат полірувальний П-10 призначений для полірування сферичних поверхонь оптичних деталей. Обробка ведеться методом притиру.

На рисунку 6.22 наведено фотографію верстату полірувального П-10. Його технічні характеристики наведено у таблиці 6.19.



Рис. 6.22. Верстат полірувальний П-10

Таблиця 6.19

Технічні характеристики верстата полірувального П-10

Діаметр оброблюваних деталей (блоків), мм	від 1 до 11
Кількість шпинделів, шт.	3
Діаметр клейового пристосування з ОД, мм, не більше	15
Частота обертання шпинделя, об / хв	від 250 до 2500
Частота коливання повідця, дв. хід / хв	від 20 до 100
Кут гойдання повідця, градус	від 0 до ± 45
Кут зміщення повідця, градус	від 0 до ± 45
Споживана потужність, кВт, не більше	2,0
Габаритні розміри, мм: Д $\times$ Ш $\times$ В	825 $\times$ 745 $\times$ 1250
Маса, кг, не більше	220

Верстат полірувальний ПД-500А призначений для тонкого шліфування, полірування і доведення сферичних і плоских поверхонь ОД або блоків методом притиру із застосуванням вільного абразиву (рис. 6.23). Технічні характеристики верстата полірувального ПД-500А наведено у таблиці 6.20.



Рис. 6.23. Верстат полірувальний ПД-500А

Таблиця 6.20

Технічні характеристики верстата полірувального ПД-500А

Діаметр оброблюваних ОД або блоків, мм	от 300 до 500
Параметр шорсткості Ra оброблюваної поверхні деталі, мкм	от 0,012 до 0,4
Продуктивність, шт. / год	от 0,2 до 5
Споживана потужність, кВт	2,27
Габаритні розміри, мм: Д × Ш × В	1400×1000×1500
Маса, кг	1100

Частота обертання шпинделя і частота гойдання повідця регулюються безступінчато.

На рисунку 6.24 наведено верстат полірувально-доводочний 6ПД-100М, який призначений для полірування і доведення плоских і сферичних поверхонь заготовок оптичних деталей або блоків методом притиру із застосуванням вільного абразиву. Технічні характеристики верстата полірувального 6ПД-100М представлені в таблиці 6.21.

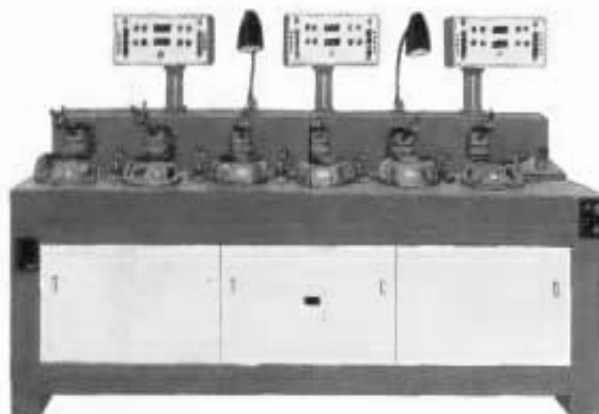


Рис. 6.24. Верстат полірувально-доводочний 6ПД-100М

Таблиця 6.21

Технічні характеристики верстата полірувального 6ПД-100М

Діаметр оброблюваних ОД або блоків, мм	від 25 до 100
Кількість шпинделів, шт.	6
Частота обертання шпинделя (регулюється безступінчато), об / хв	від 10 до 100

Продовження таблиці 6.21

Число подвійних ходів повідця на хвилину (регулюється безступінчато), об / хв	від 7 до 70
Зусилля натискання, Н	від 2,45 до 98
Довжина штриха, мм	від 0 до 130
Споживана потужність всіх двигунів приводів, кВт, не більше	4,0
Габаритні розміри, мм: Д × Ш × В	2650×900×1300
Маса, кг, не більше	1300

Верстат полірувальний МАП-300 (рис. 6.25.) призначений для супертонкого полірування плоских поверхонь оптичних деталей (ОД). Обробка проводиться ферроабразивним порошком (ФАП), що під дією магнітного поля формує пружний ріжучий інструмент з профілем, відповідним профілю полюсних наконечників. Технічні характеристики верстата полірувального МАП-300 наведено у табл. 6.22.



Рис. 6.25. Верстат полірувальний МАП-300

Таблиця 6.22

Технічні характеристики верстата полірувального МАП-300

Діаметр оброблюваних ОД, мм	від 25 до 300
Товщина оброблюваних ОД, мм	від 1 до 10
Матеріал оброблюваних ОД	скло оптичне, монокристали фторидів, кремній
Шорсткість R_z поверхні обробленої ОД, нм	від 5,0 до 1,0
Глибина дефектного (порушеного) шару обробленої поверхні, нм	від 3 до 0,5
Продуктивність верстата, циклів / год	3

На рисунку 6.26. представлено верстат доводочний Д-150 М, який використовується для доведення оптичних деталей діаметром не більше 150 мм. Технічні характеристики верстата доводочного Д-150 М наведено у табл. 6.23.



Рис. 6.26. Верстат доводочний Д-150 М

Таблиця 6.23

Технічні характеристики верстата доводочного Д-150 М

Діаметр оброблюваних деталей, мм	від 15 до 150
Діаметр таза, внутрішній, мм, не менше	265
Частота обертання шпинделя (регулюється безступінчато), об / хв	від 15 до 1500
Потужність електродвигуна шпинделя, кВт	0,55
Габаритні розміри, мм: Д × Ш × В	750×820×920
Маса, кг, не більше	150

6.8. Центрувальні верстати

Верстати-автомати призначені для центрування і фасетування ОД.

Верстати центрувальні АЦС-25 та АЦС-100 наведено на рисунках 6.27 та 6.28 відповідно. Технічні характеристики верстатів наведено у таблиці 6.24.



Рис. 6.27. Верстат
центрувальний АЦС-25



Рис. 6.28. Верстат
центрувальний АЦС-100

Таблиця 6.24

Технічні характеристики верстатів центрувальних АЦС-25 та АЦС-100

	АЦС-25	АЦС-100
1	2	3
Діаметр оброблюваної ОД, мм	від 3 до 25	від 20 до 100
Висота оброблюваної ОД, мм, не більше	10	25
Кут затиску лінз, град, не менше	17	17
Допустиме децентрування лінз, мм	від 0,003 до 0,005	від 0,005 до 0,01
Параметр шорсткості <i>Ra</i> обробленої поверхні деталі, мкм	від 1,6 до 0,8	від 1,6 до 0,8
Граничне відхилення діаметра оброблених деталей, квалітет за ГОСТ 25347-82	h6	h6
Продуктивність, шт. / год	від 70 до 120	від 10 до 120
Споживана потужність, кВт	1,2	3
Габаритні розміри, мм: Д × Ш × В	1400×1500×1820	1880×1635×1870
Маса, кг	530	1300

Верстат багатофункціональний ЦС-350 призначено для виконання наступних технологічних операцій обробки алмазним інструментом

сферичних і плоских поверхонь оптичних деталей, закріплених клейовими пристосуваннями:

- сферошліфування;
- тонке алмазне шліфування кільцевим алмазним інструментом;
- круглення габаритного розміру;
- фрезерування плоских поверхонь;
- свердління і розшліфовка отворів;
- центрування;
- виконання конструктивних і технологічних фасок.

Фотографію верстату багатфункціонального ЦС-350 наведено на рисунку 6.29. Його технічні характеристики верстату наведено у таблиці 6.25.



Рис. 6.29. Верстат багатфункціональний ЦС-350

Таблиця 6.25

Технічні характеристики верстата багатфункціонального ЦС-350

Діаметр оброблюваних ОД, мм	від 80 до 320
Граничне відхилення товщини обробленої деталі, мм	$\pm 0,01$
Параметр шорсткості Ra обробленої поверхні, мкм	від 2,5 до 0,25
Децентрування лінз, мм	від 0,01 до 0,05
Габаритні розміри, мм: Д $\times$ Ш $\times$ В	2900 $\times$ 1500 $\times$ 2300
Маса, кг	3500

6.9. Устаткування для промивання

Установка "Орфей" використовується для очищення деталей малих серій (рис. 6.30). У цій установці передбачено оснащення кожного модуля незалежними системами інтенсифікації технологічного процесу і управління. При цьому досягається можливість експлуатації модулів як порізно, так і в складі технологічних ліній. Технічні характеристики установки наведено у таблиці 6.26.



Рис. 6.30. Установка "Орфей"

Таблиця 6.26

Технічні характеристики установки "Орфей"

Діаметр деталей, що промиваються, мм	від 10 до 90
Продуктивність, шт. / год	380 – 2500
Робоча частота коливань випромінювачів ультразвуку, кГц	44
Споживана потужність, кВт	11
Габаритні розміри, мм: Д × Ш × В	3600×800×1200
Маса, кг	800

Установка для промивання друкованих валів УПВ-1М у водних розчинах поверхнево-активних речовин (ПАР) від друкарських фарб наведено на рисунку 6.31. Технічні характеристики установки наведено у таблиці 6.27.

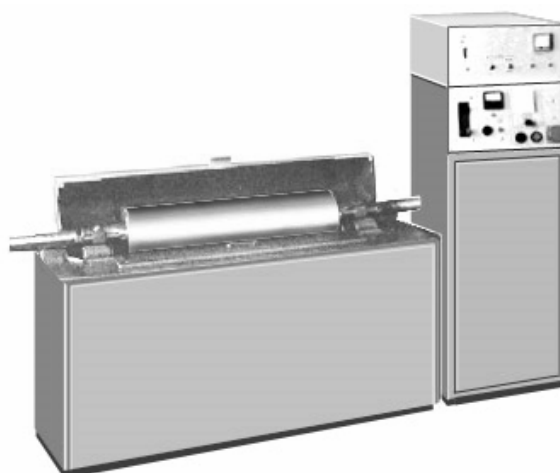


Рис. 6.31. Установка УПВ-1М

Таблиця 6.27

Технічні характеристики установки УПВ-1М

Розміри друкарських валів, мм:	
діаметр робочої поверхні	190-192
довжина робочої поверхні	660-740
діаметр опорних шийок	80-85
довжина по опорним шейкам	840-1500
загальна довжина валу	не обмежена
Час промивки одного валу, хв	від 4 до 30
Споживана потужність нагрівальних елементів, кВт, не більше	3,2
Габаритні розміри, мм, не більше:	
установки: Д × Ш × В	660 × 1350 × 810
електрошафи: Д × Ш × В	600 × 600 × 1600
Маса установки з електрошафами, кг	250

Установка РТКП-1 призначена для промивання ОД із силікатних марок скла в органічному розчиннику і у водних розчинах ПАР після операції полірування і центрування. Її фотографія наведена на рисунку 6.32. Технічні характеристики установки наведено у таблиці 6.28.

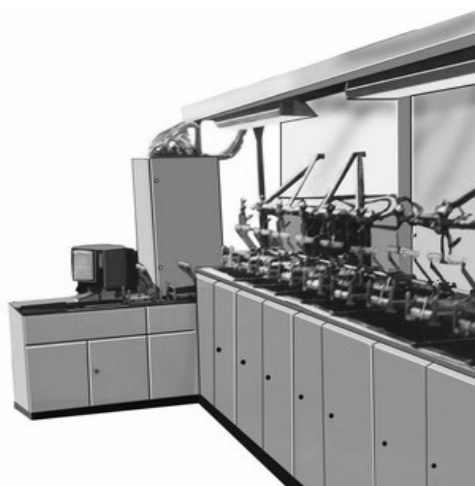


Рис. 6.32. Установка РТКП-1

Таблиця 6.28

Технічні характеристики установки УПВ-1М

Діаметр оптичних деталей, мм	від 10 до 90
Продуктивність, шт. / год	360 – 4500
Загальна кількість промивних ванн, шт.	11
У тому числі ультразвукових ванн, шт.	6
Робоча частота коливань випромінювачів ультразвуку, кГц	44
Встановлена потужність споживачів, кВт	80
Габаритні розміри, мм: Д × Ш × В	7700 × 5000 × 2600
Маса, кг	2800

Установка для промивання АКП-1 призначена для екологічно чистої безпроточної промивки оптичних деталей з різних марок скла після їх механічної обробки і перед нанесенням покриттів у вакуумі (рис. 6.33.). Комплекс може також використовуватися в інших галузях промисловості для промивання деталей з металу, пластмаси, скла. Керування роботою комплексу здійснюється за допомогою системи управління на базі програмованого контролера. Перенесення касет з деталями з ванни у ванну здійснюється за спеціальною програмою двома автооператорами. Комплекс складається з окремих модулів, які стикаються в лінію по бічних поверхнях. Промивання здійснюється у водних розчинах поверхнево-

активних речовин і в органічних розчинниках. Комплекс призначений для застосування в серійному і багатомономенклатурному виробництві.

Технічні характеристики установки наведено у таблиці 6.29.

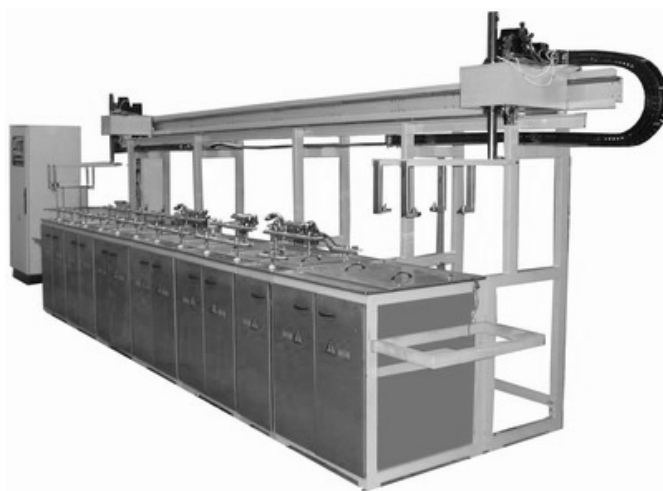


Рис. 6.33. Установка АКП-1

Таблиця 6.29

Технічні характеристики установки АКП-1

Діаметр очищуваних ОД, мм	від 5 до 90
Час виходу комплексу на робочий режим, хв, не більше	30
Загальна кількість промивних ванн, шт.	11
У тому числі ультразвукових ванн, шт.	7
Робоча частота коливань випромінювачів ультразвуку, кГц	44
Споживана потужність комплексу, кВт, не більше	20
Габаритні розміри ванни, мм: Д × Ш × В	250 × 300 × 250
Габаритні розміри базового комплексу, без електрошафи і стійки управління, мм Д × Ш × В	6400 × 1400 × 2050
Маса, кг	1500

6.10. Устаткування для нанесення вакуумних покриттів

Установка вакуумна ВУ-1А (рис.6.34.) призначена для нанесення покриттів на оптичні деталі методом резистивного та електронно-променевого випаровування діелектриків, напівпровідникових матеріалів і

металів з одночасним контролем товщини покриття. Технічні характеристики установки наведено у таблиці 6.30.



Рис. 6.34. Установка ВУ-1А

Таблиця 6.30

Технічні характеристики установки ВУ-1А

Робочий вакуум, Па	4×10^{-4}
Розмір робочої камери (Ø x Н), мм	700×700
Час досягнення робочого вакууму при нагріванні камери до 320 °С, хв	40
Кількість електронно-променевих випарників, шт.	1
Кількість резистивних випарників, шт.	2
Споживана потужність, кВт	20
Площа, яку займає установка, м. кв.	6
Маса, кг	2600

Установка вакуумна ВУ-2М призначена для нанесення покриттів на оптичні деталі методом резистивного та електронно-променевого випаровування діелектриків, напівпровідникових матеріалів і металів з одночасним контролем товщини покриття.

У цій установці передбачені: відкачування камери, іонне очищення та нагрівання деталей в автоматичному режимі; нанесення покриттів у ручному режимі.

Фотографію установки ВУ-2М наведено на рисунку 6.35. Її технічні характеристики× наведено у таблиці 6.31.



Рис. 6.35. Установка ВУ-2М

Таблиця 6.31

Технічні характеристики установки ВУ-2М

Робочий вакуум, Па	6×10^{-4}
Розмір робочої камери ($\varnothing \times H$), мм	700×770
Час досягнення робочого вакууму без прогріву об'єму камери, хв	30
Кількість електронно-променевих випарників, шт.	2
Кількість резистивних випарників, шт.	1
Споживана потужність, кВт	30
Площа, яку займає установка, м ²	6
Маса, кг	1970

Створена уніфікована гамма вакуумних установок для нанесення у вакуумі покриттів на оптичні деталі методом резистивного та електронно-променевого випаровування діелектриків, напівпровідників і металів з одночасним кварцовим і фотометричним контролем товщини покриття в автоматичному режимі відкачування і процесу напилення. Стабілізація технологічного процесу нанесення покриття та управління ним ведуться на базі вбудованої мікро-ЕОМ з кольоровим графічним дисплеєм.

Фотографію установки ВУ-800 наведено на рисунку 6.36. Технічні характеристики установок наведено у таблиці 6.32.



Рис. 6.36. Установка ВУ-800

Таблиця 6.32

Технічні характеристики установок ВУ-800

	ВУ-800М	ВУ-800В	ВУ-800И	ВУ-800У
Робочий вакуум, Па	5×10^{-4}	5×10^{-4}	5×10^{-4}	5×10^{-4}
Час досягнення робочого вакууму, хв	30	30	30	30
Кількість електронно-променевих випарників, шт.	-	2	2	2
Кількість резистивних випарників, шт	2	2	2	2
Діапазон фотометричного контролю, мкм	0,4÷0,8	0,25÷1,1	0,8÷2,6	0,25÷2,6
Споживана потужність, кВт, не більше	28	40	40	40
Площа, яку займає установкою, м ² , не більше	7,7	7,7	7,7	7,7
Маса, кг, не більше	2770	3000	3000	3180

6.11. Обладнання для виготовлення нестандартних оптичних деталей

Можливість шліфування як зовнішніх, так і внутрішніх циліндричних, конічних і торцевих поверхонь, в центрах або патронах.

Універсальний круглошліфувальний напівавтомат 3У10 наведено на рисунку 6.37. Технічні характеристики напівавтомата наведено у таблиці 6.33.



Рис. 6.37. Універсальний круглошліфувальний напівавтомат 3У10

Таблиця 6.32

Технічні характеристики універсального круглошліфувального напівавтомату 3У10

Найбільший діаметр встановлюваної деталі, мм	100
Найбільша довжина встановлюваної деталі, мм	250
Рекомендований діапазон діаметрів шліфованих отворів, мм	3...40
Найбільші розміри шліфувального круга (діаметр x ширина), мм	250×25
Величина ходової поштовхової подачі, мм на Ø	0,001
Швидкість подачі, мм / хв на Ø (безступінчасте)	0,05...3
Швидкість різання, м / с	35
Частота обертання внутрішньошліфувального круга, об. / хв	40000...90000
Потужність електродвигуна приводу шліфувального круга, кВт	2,2

Продовження таблиці 6.32

Габаритні розміри, мм	1890×1640×1740
Маса, кг	205
Точність обробки	
Відхилення від крутості, мм:	
по центрах	0,0004
у патроні	0,0006
Сталість діаметра в поздовжньому перетині, мм	0,001
Шорсткість поверхні, <i>Ra</i> :	
зовнішньої	0,04
внутрішньої	0,08
торцевої	0,16

7. Технологічні процеси виготовлення типових деталей

7.1. Технологічні особливості виготовлення лінз

Залежно від серійності випуску продукції на заводі заготовки для виробництва лінз виготовляють пресуванням або обробкою шматка скла. Пресування застосовують у масовому і серійному виробництві, якщо лінзи випускають партіями більше 500 – 1000 шт. Шматки скла використовують при одиничному виробництві.

Залежно від номінальних розмірів, точності, величини партії, що випускається, устаткування, наявного на заводі, та інших умов, вибирають технологічний процес виготовлення конкретної лінзи. Приклад схеми технологічного процесу виготовлення в блоках лінз середньої точності і розмірів представлений на рис. 7.1.

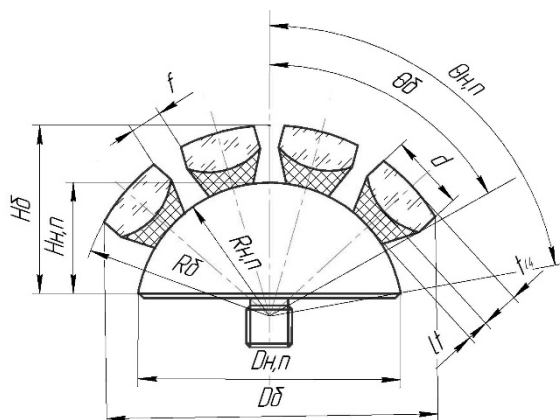


Рис. 7.1. Схема розміщення лінз на блоці

Якщо заготовками для лінз є шматки скла, то на заготівельній ділянці вони проходять операції обробки з урахуванням припуску на розміри та форми для заданої деталі. До таких операцій відносять розмітку, розпилювання, шліфування сторін, склеювання в стовпчик, округлення, розклеювання і промивку. Якщо лінзи виготовляють із пресовок, то ці операції не виконують.

Заготовки лінз обробляють поштучно або блоками. Якщо діаметр лінзи d не перевищує 80 мм, а стрілка прогину сферичної поверхні

становить не більше $0,5 d$, то в серійному виробництві такі лінзи шліфують і полірують блоками.

Розрахунок блоків

Блокування лінз – це допоміжна операція, яка полягає у з'єднанні групи однакових лінз на одному пристосуванні для подальшої їхньої спільної обробки. Блокування застосовують для підвищення продуктивності праці, а також підвищення точності обробки кожної лінзи.

Перш ніж зробити блокування, розраховують блок. Розрахунок блоку полягає у визначенні числа заготовок лінз у зонах і всього на блоці, а також основних розмірів блоку. Вихідними даними для розрахунку сферичного блоку є радіус R оброблюваної поверхні лінзи, діаметр D_6 і висота h_6 , діаметр лінзи d і відстань між ними f , попередньо обрані виходячи з умов обробки й типорозміру верстата. У більшості випадків висота блоків обмежується розміром $h_6 = 0,85 R_6$, щоб зменшити нерівномірність обробки крайових і центральних зон.

Кількість N заготовок на блоку (рис. 7.2) визначається схемою їх розташування та числом зон i . Діаметр D , що описує i -ту зону, для всіх схем розташування розраховується за формулами:

$$D_i(I) = 1.02D_3(2i - 1)$$

$$D_i(3) = 1.02D_3(0.2i + 2i)$$

$$D_i(4) = 1.02D_3(0.46 + 2i)$$

де D_3 - діаметр заготовки.

Для визначення кількості зон задають значення 1, 2, 3, 4, і порівнюють D_i з діаметром D_{NP} наклеювального пристосування. Розрахунок закінчують, коли різниця $D_{NP} - D_i < 2D_3$. Перебирання всіх схем дозволить за мінімальної позитивної різниці $D_{NP} - D_i$ виявити оптимальний варіант. Число N заготовок на блоці при $\frac{D_{NP}}{D_i} \leq 8$ визначають

за ГОСТ, а при $\frac{D_{NP}}{D_i} > 8$ - за формулою

$$N = Ent \left[0.704 \left(\frac{D_{NP}}{D_3} \right)^2 \right].$$

Для заготовок діаметром менше 250 мм діаметр D_{NP} визначають за виразом

$$D_{NP} = 500 - \frac{2800}{0.05D_3^2 + 5.6}$$

з наступним округленням значення D_{NP} в сторону розмірів, як є у виробництві.

Заготовки на блоці розміщують, починаючи від його центру, а потім розташовують концентричними зонами. Число заготовок у першій центральній зоні визначає кутові розміри наступних зон блоку. Для рівномірного заповнення поверхні блоку заготовками і кращого формоутворення їх оптичних поверхонь у першій зоні поміщають одну, три або чотири заготівки так само, як і для пластин (див. рис. 7.1).

Розрахунок блоку проводять для цих трьох випадків та вибирають варіант, при якому розміщується найбільше число лінз. Блоки розраховують тригонометрично, графічно або за номограмами.

На рисунку 7.2 наведено схему технологічного процесу виготовлення лінз середньої точності.

Перед блокуванням всі заготовки лінз обов'язково проходять операцію шліфування сферичних поверхонь.

Якщо заготовкою лінзи є пресування і її будуть закріплювати методом жорсткого блокування, то у такої лінзи шліфують тільки одну базову сферичну поверхню. Цією поверхнею лінзу приклеюють до наклеювального блоку. Шліфування сферичної поверхні виконують на сферошліфувальних верстатах типу "Алмаз-70" алмазним трубчастим інструментом поштучно з кріпленням заготівки в цанзі.

Якщо заготовки надалі блокуватимуть еластично, то вони проходять двостороннє шліфування сферичної поверхні на верстатах типу "Алмаз-70" з подальшим контролем товщини заготовки по центру і радіусів її

сферичних поверхонь R . Товщину вимірюють індикатором або мікрометром, а радіус – за допомогою притирочного інструменту. При потребі після цього на лінзи наносять технологічні фаски.

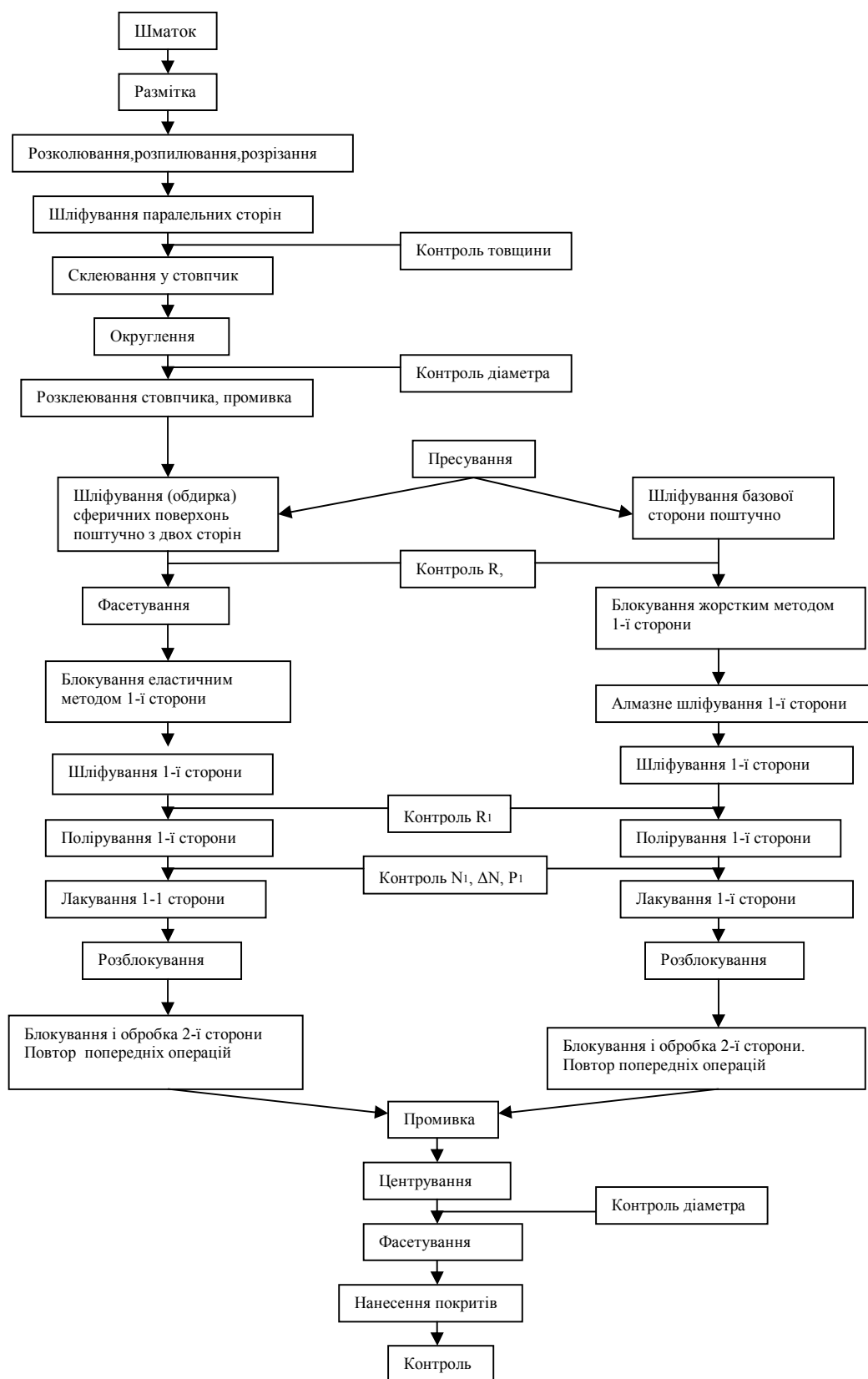


Рис. 7.2. Схема технологічного процесу виготовлення лінз середньої точності

Блокування. Блокування лінз виконують еластично або жорстко. Корпус наклеювального пристосування виготовляють з чавуну СЧ 12-28, сталі 20 і сплаву АЛ2.

Еластичне блокування застосовують для лінз з розмірами $t_y / d \geq 1 / 6$, з значеннями і допуском на товщину до 0,01 мм. При блокуванні заготовки приклеюють товстим шаром смоли на корпус наклеювального пристосування, що має форму гриба або чашки. Перед блокуванням виготовляють смоляні подушки у вигляді січеного конуса і приклеюють їх до заготовок.

Еластичне блокування – простий і універсальний метод. Його застосовують при обробці лінз з похибкою до одного кільця і допуском на товщину 0,01 мм. Проте цей метод має недоліки: по-перше, він не застосовується при обробці тонких лінз ($t_y / d \leq 1 / 6$), тому що більша маса смоли на смоляних подушках сильно деформує оптичну деталь при наклеюванні, по-друге, необхідно виконувати попереднє одианрне двостороннє шліфування лінз.

Тонкі лінзи, виготовлені серійно, блокують жорстко. При жорсткому блокуванні для кожного типорозміру лінз необхідно спеціальне наклеювальне пристосування, тому цей метод застосовують у серійному і великосерійному виробництві. Наклеювальні пристосування виготовляють з алюмінієвих сплавів або термостійкої пластмаси. Вони мають точно оброблені майданчики для кріплення лінз.

Разом із заготовкою на наклеювальне пристосування в центрі і на краю блоку наклеюють "маяки". "Маяками" називають лінзи, у яких на поверхні, що підлягає обробці, нанесені попередньо алмазним інструментом лунки діаметром 3-5 мм, необхідні для контролю товщини лінз під час обробки блоку. Глибина лунок витримана з похибкою до 0,05 мм і дорівнює товщині припуску, який необхідно видалити. При шліфуванні блоку робітник візуально стежить за станом цих лунок. Як тільки лунка зникне, то можна припиняти шліфування. Пристосування із

заготовками лінз після алмазного шліфування надходять на операцію тонкого шліфування вільним абразивом, яку виконують на шліфувально-полірувальних верстатах типу ШП.

Підготовка інструмента

Підготовка шліфувального інструмента полягає у доведенні радіуса кривизни робочих поверхонь грибів і чашок для кожного технологічного переходу. Готують весь комплект інструментів по переходах, необхідних для обробки лінз заданого радіуса. Розшліфування поверхні інструменту виконують: під пробне скло або під сферометр.

Розшліфування під пробне скло починають з інструменту, призначеного для шліфування найдрібнішим абразивом. Інструмент встановлюють у шпинделі верстата ШО або ШП і підганяють його робочу поверхню шпажкою або абразивним бруском вручну, притискаючи їх і переміщаючи від центру обертового інструменту до його краю, під шаблон заданого радіуса, після чого блокують на ньому блок лінз. Шліфують блок цим же інструментом, виконуючи останній перехід абразивом М7, відполіровують і контролюють поверхню лінз пробним склом. Операцію підгонки інструменту повторюють до отримання необхідних значень N і ΔN . Після виготовлення шліфувальника для дрібного абразиву виконують підгонку шліфувальника для попереднього абразиву. Виготовлений спочатку інструмент використовують для притирання та контролю на заготівельній ділянці. Блоки з радіусами кривизни, більшими 70 мм, мають притиратися до інструменту на $1/4$ частину свого діаметру від краю, а з радіусами кривизни менше 70 мм – на $1/6$ – $1/7$ діаметра. Так само налагоджують увесь комплект шліфувального інструменту.

Розшліфовка під сферометр зводиться до підгонки і розшліфовування інструментів по переходах і відносному контролю їх кривизни за допомогою сферометра, нульове показання якого встановлено за еталоном. У якості еталонів для сферометрів використовують пробне скло найближчого радіусу.

Шліфування

Одиночні лінзи і блоки шліфують на верстатах типу ШП у кілька переходів в залежності від розміру деталей і блоків. Тонке шліфування, як правило, роблять у два переходи - абразивами М20 і М10. Для одиночних деталей і блоків, близьких до півсфери, - у три переходи М28, М14, М7.

Абразивна суспензія для цих порошків складається з однієї частини абразиву і трьох частин води. Шліфування ведуть до повного зникнення слідів попередньої обробки з поверхні лінз. Режим роботи при шліфуванні вибирають залежно від діаметру блоку, зернистості абразиву, що використовується, методу подачі суспензії та інших технологічних факторів. Питомий тиск вибирають близько $0,3 - 1 \text{ Н/см}^2$. Кутова швидкість нижньої ланки від 0,6 для великих блоків, до 1 м/с для малих блоків.

Полірування

Сферичні поверхні полірують на шліфувально-полірувальних верстатах методом пробних проходів. Полірування проводять таким чином, щоб забезпечити всі вимоги, що пред'являються до оптичної деталі – N , ΔN , R .

Режими та умови обробки вибирають залежно від заданої точності деталі. Для деталей невисокої точності застосовують інтенсивні режими і інструменти з підкладкою з волокнистих матеріалів – сукна, фланелі, фетру. При цьому кутова швидкість досягає 3 м/с, а питомий тиск – $2,50 \text{ Н/см}^2$. При поліруванні смоляним полірувальником деталей середньої точності застосовують окружні швидкості 0,5 – 1 м/с і тиск $0,5 - 1,0 \text{ Н/см}^2$; для деталей високої точності – 0,2 – 0,3 м/с і $0,20 - 0,50 \text{ Н/см}^2$.

Інтенсивність знімання скла і формоутворення заданої оптичної поверхні регулюють налаштуванням верстата і підрізуванням смоли полірувальника, при цьому значення технологічних факторів (температури, в'язкості смоли, способу подачі полірованої суспензії тощо) намагаються стабілізувати.

Після полірування першої сторони лінз їх лакують у блоці, розблоковують і повторюють всі операції технологічного процесу для обробки другої сторони. Після остаточного розблокування і промивання лінзи надходять на операцію центрування.

Центрування лінз

Центрування лінз – це операція з суміщення геометричної та оптичної осей лінзи. Децентрування лінзи виникає як результат накопичення похибок на всіх попередніх механічних операціях виготовлення лінзи, закінчуючи її поліруванням. Операцію центрування лінз виконують у два переходи: суміщенням оптичної осі лінзи з віссю обертання шпинделя верстата; шліфуванням циліндричної поверхні лінзи до діаметра заданого розміру, при якому геометрична вісь лінзи, тобто вісь її симетрії, співпадає з віссю обертання шпинделя і, отже, з оптичною віссю лінзи.

Точність центрування залежить від способу установки та кріплення лінзи і точності шліфування її циліндричної поверхні. При центруванні лінзу встановлюють трьома способами: по відблиску; у самоцентруючий патрон; по приладу [1-4].

Установку лінзи по відблиску застосовують тільки в одиничному виробництві, коли треба центрувати лінзу з похибкою 0,04 – 0,1 мм. Установку виконують приклеюванням центрованої лінзи 3 смолою 2 до трубчастому латунному патрону 1, закріпленому в шпинделі центрувального верстата (рис. 7.3). Поки смола не застигла, лінзу переміщують по торцям патрона (на рис. 7.3 показано пунктиром), добиваючись співпадання її оптичної осі з віссю обертання шпинделя патрона 1.

Контроль за правильністю установки лінзи здійснюють спостереженням неозброєним оком за положенням відблиску від джерела світла S на поверхні лінзи. При повороті шпинделя вручну відблиск не повинен зміщуватися. Точність установки збільшується, якщо контроль

биття проводити за допомогою автоколімаційної трубки.

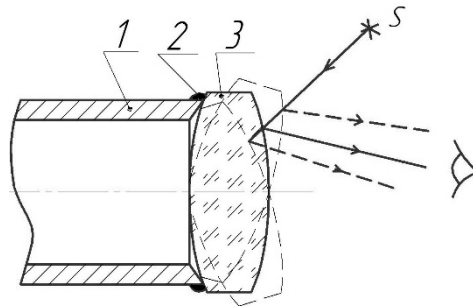


Рис. 7.3. Схема центрування по відблиску

Установку лінз у самоцентруючих патронах здійснюють безпосередньо на спеціальних centruвальних верстатах типу ЦС, що працюють з алмазним шліфувальним кругом у напівавтоматичному циклі. Лінзу 2, яку центрують, затискають в шпинделях верстата між лівим ведучим 1 і правим 3, який має осьове переміщення та за допомогою пружини притискає лінзу до лівого шпинделя (рис. 7.4).

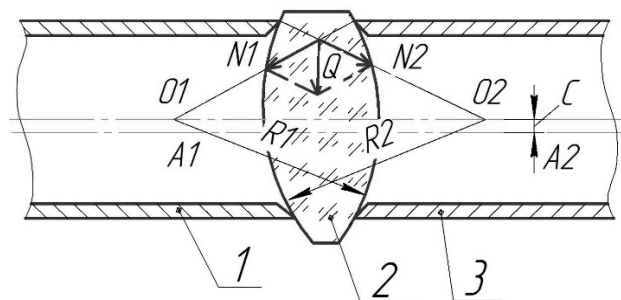


Рис. 7.4. Схема центрування в патроні

На шпинделях закріплені сталеві загартовані циліндричні патрони, які мають тонкі поліровані робочі кромки. У початковому положенні оптична вісь лінзи O_1O_2 (лінія, що з'єднує центри кривизни сферичних поверхонь) може бути зміщеною відносно геометричної осі лінзи A_1A_2 .

Проте при затискуванні лінзи між шпинделями на лінзу буде діяти сила Q , яка зсуває її до осі обертання шпинделів доти, доки лінза не торкнеться всієї кільцевої поверхні патронів. Це відбудеться автоматично в момент суміщення оптичної осі лінзи з віссю шпинделів. Величина зсуву

сили Q залежить від кривизни (R_1 і R_2) поверхонь лінзи, яка характеризується кутом між дотичними до сферичних поверхонь у точці їх контакту з патронами. Кут повинен бути не менше 20° .

Похибка центрування лінз описаним вище методом залежить від співвідношеності і точності виготовлення кільцевих кромek патронів, розмірів і кривизни сферичних поверхонь лінзи і складає 0,005 - 0,02 мм. Спосіб простий і високопродуктивний.

Установка для центрування лінз по приладу дозволяє центрувати лінзи з похибкою до 0,003 мм. При цьому необхідний набір спеціальних оправок для різних типорозмірів лінз. Схема такої установки показана на рис. 7.5. Світло від коліматора 6 з сітки 7 проходить через центральний отвір патрона 4, встановленого у конічний отвір стола 5. На патрон смолою 3 приклеюють лінзу 2. Підігріваючи смолу до розм'якшення, пересувають лінзу по кільцю оправки і домагаються такого її положення, коли в полі зору окуляра 1 зображення сітки 7 коліматора потрапить у поле допуску Δ . При обертанні оправки в гнізді стола 5 зображення сітки не може виходити за поле допуску Δ . Охолоджені оправки з лінзами знімають з приладу, поміщають у тару і передають на центрувальні верстати. Конус оправки 4 відповідає посадковому конусу центрувального верстата, що забезпечує суміщення оптичної осі лінзи з віссю оправки і верстата [1-4].

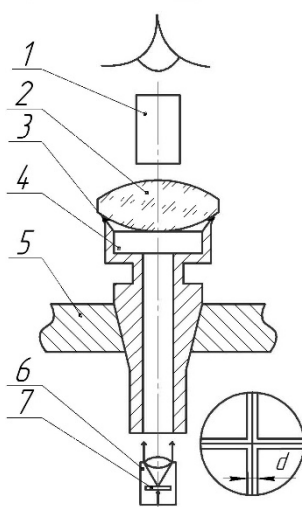


Рис. 7.5. Схема центрування по приладу

Шліфування циліндричної поверхні лінзи роблять після установки центрованої лінзи на верстаті типу ЦС-50. Шліфування здійснюють алмазними кругами ЛПП. Частота обертання круга 2800 об/хв, лінзи – 57-200 об/хв. Обробку ведуть на центрувальних верстатах, з автоматичним отриманням заданого розміру. При шліфуванні алмазним кругом відбувається автоматична поперечна подача на заготовку та осцилюючий рух вздовж осі обертання лінзи. Після обробки діаметр лінзи контролюють скобою.

Фасетування лінз

Фасетування лінз – це операція нанесення фасок в місцях перетину сферичних і циліндричних поверхонь лінзи.

Фаски на лінзах за своїм призначенням поділяють на технологічні і конструктивні. Технологічні призначені для захисту країв лінзи від виколів під час обробки лінзи на різних технологічних операціях. Розміри технологічних фасок на кресленні готової деталі не проставляють. Їх вказують тільки в технологічних картах. Конструктивні фаски обов'язково вказують на кресленні лінзи.

Розміри конструктивних фасок залежать від способу кріплення лінзи в оправі і діаметра самої лінзи. Якщо лінзу кріплять в оправі завальцюванням, то розміри фасок витримують від 0,1 +0,2 мм для лінз діаметром до 6 мм і до 1,0 +0,5 для лінз діаметром 50-80 мм. Якщо лінза в оправу не завальцюється, то наносять запобіжні фаски для запобігання виколів. Величина цих фасок менша і лежить в межах від 0,1 +0,1 мм для лінз діаметром до 6 мм і до 0,4 +0,5 мм для лінз діаметром 50-80 мм.

Фаски у лінз не роблять з боку випуклої поверхні, якщо відношення діаметра лінзи до радіуса кривизни дорівнює або більше 1,5.

Технологічні фаски наносять безпосередньо після грубого шліфування (обдирання) лінз на заготівельній ділянці (див. рис. 7.6).

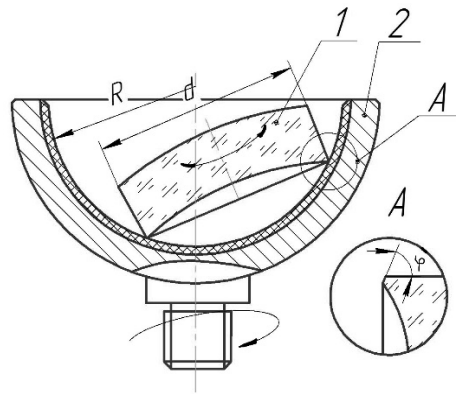


Рис. 7.6. Фасетування лінз

У процесі подальшого шліфування та полірування сферичних поверхонь ці фаски зменшують, а після операції центрування остаточно зрізають.

Усі види конструктивних фасок наносять після центрування лінзи. Фасетування виконують кількома способами. У дрібносерійному виробництві – вручну за допомогою алмазних фасетувальних чашок на верстатах типу ШД. Зернистість синтетичного алмазного порошку М10. У центрі фасетувальної чашки є отвір для подачі води. Оскільки сферична поверхня лінзи вже відполірована, то лінзи 1 тримають за допомогою вакуумної присоски і здійснюють вручну переміщення по поверхні фасетувальної чашки 2 (рис. 7.6).

Радіус R сферичної поверхні фасетувальної чашки для нанесення фаски під кутом до бічної поверхні визначають за співвідношенням

$$R = -\frac{d}{2 \cos \varphi}, \quad (7.1)$$

де d – діаметр лінзи.

Якщо кут фаски $\varphi = 45^\circ$, то $R = 0,7 d$.

У крупносерійному виробництві при знятті фасок розміром 0,1-0,3 мм обробку здійснюють на одношпindelних обдирних верстатах типу ОС-100 у спеціальному цанговому патроні, який нагвинчується на перехідник шпинделя верстата. Латунна цанга має посадочне місце під лінзу певного діаметру. Фасетувальну алмазну чашку робочий тримає

рукою, торкається чашкою до лінзи і злегка похитує.

У одиничному виробництві фасетування проводять у чавунних чашках вільним абразивом.

У крупносерійному і масовому виробництві лінз операцію фасетування суміщають з centruванням, яке виконують комбінованим алмазним кругом на centruвальному верстаті. Ріжуча кромка алмазного круга має циліндричну та конічну частини, а сам круг для зручності його виготовлення і правки роблять складаним.

Після нанесення фасок на лінзи наносять задані кресленням покриття (найчастіше просвітлюючі), якщо потрібно, передають на склейку і остаточний цеховий контроль.

7.2. Технологічний процес виготовлення призм

Орієнтовна узагальнена схема технологічного процесу виготовлення найбільш поширеної прямокутної призми типу AP-90⁰ з пресування вказана на рис. 7.7. Конкретний технологічний процес залежить від конструкції, заданої точності виконання кутів і граней призм. Для призм складної конструкції технологічні процеси дуже різні і складаються з декількох десятків операцій. Для серійного і масового виробництва призм заготовкою є пресування, а для одиничного – шматок скла. При виготовленні призми зі шматка скла технологічний процес буде включати додатково операції розмітки, розпилювання, підшліфовування сторін тощо.

Обробку призми з пресованої заготовки починають з операції шліфування допоміжних паралельних бічних поверхонь. Найчастіше її виконують на шліфувально-обдирних верстатах типу ОС-1000, ОС-1500 абразивами № 6 і М28, на станках типу СТШ-400, а також плоскошліфувальних верстатах типу ЗБ-756 за допомогою алмазного інструмента. Після шліфування паралельних сторін призм виконують контроль за допомогою скоб. Ці сторони у призм надалі не обробляють, їх приймають за бази.

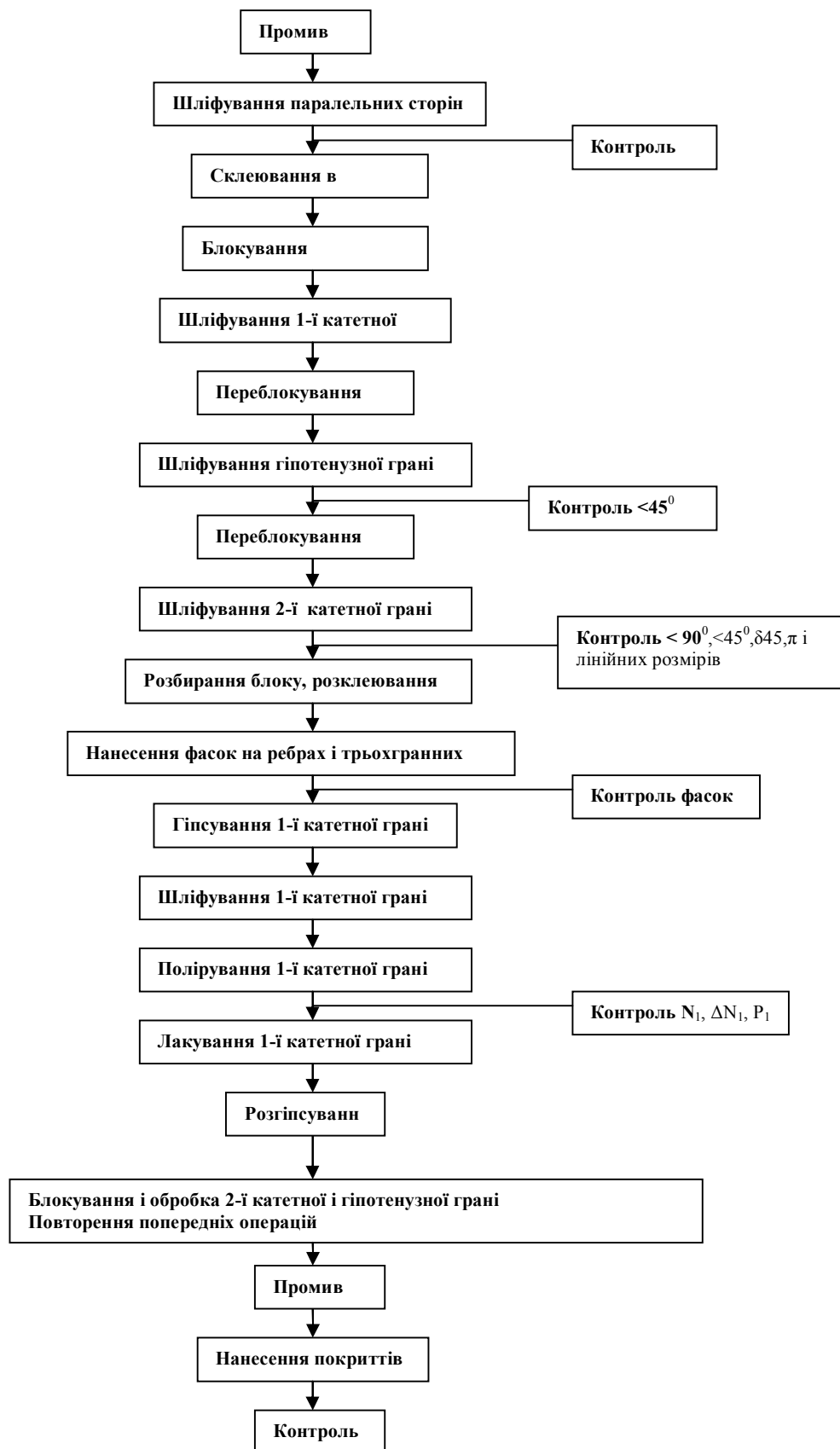


Рис. 7.7. Схема технологічного процесу виготовлення призми AP-90 в
серійному виробництві

Для обробки виконавчих поверхонь і підгонки кутів призм заготовки склеюють в стовпчик, довжина якого по відношенню до висоти призми становить 6:1. У одиничному виробництві обробляють призми одного типорозміру стовпчиками вручну, а у серійному - одночасно по кілька штук в металевих пристосуваннях.

Блокування призм в пристосуваннях здійснюють приклеюванням або затиском. Точність виконання кутових розмірів пазів у пристосуванні, за якими базують призми, повинна бути вище заданої точності виготовлення кутів самих призм.

На металевих пристосуваннях обробляють призми з похибкою кутів до 5-8'. Для отримання призм з похибкою кутів менше 1-2' застосовують пристосування із шліфованих скляних призматичних брусків, кути яких виконані з похибкою до 20".

Першу катетну грань стовпчиків, яка буде базовою при кріпленні їх у пристосуванні, зазвичай шліфують вручну, витримуючи необхідний перекис. Косина призм полягає в тому, що ребра призми залишаються паралельними одне одному, але не перпендикулярними ($\varepsilon \neq 90^\circ$) бічним поверхням (рис. 7.8, а). Контроль косини окремих стовпчиків призм виконують косинцем.

Після шліфування катетної межі виконують переблокування в іншому пристосуванні і шліфують гіпотенузну грань, після чого контролюють кут 45° за допомогою косинців. Після вторинного переблокування і шліфування останньої катетної грані виконують контроль π і різниці кутів $\delta 45$. Пірамідальність – це непаралельність ребер призми, яку оцінюють допуском π , або непаралельність ребра одного із кутів до зовнішніх виконавчих граней в одному з перерізів призми. Непаралельність відображає грані і протилежні їй ребра – оцінюють у стовпчику призм різницею розмірів a_1 і a_2 на кінцях стовпчика (рис. 7.8, б), $\Delta a = a_1 - a_2$. На блоці пірамідальність визначають як різницю розмірів H_1 і H_2 (на малюнку не показано), виміряних на двох кінцях стовпчика (рис. 7.8, в).

Величину $\delta 45$ визначають таким же чином, але вимір H_1 і H_3 виконують для стовпчиків, що знаходяться на протилежних сторонах пристосування.

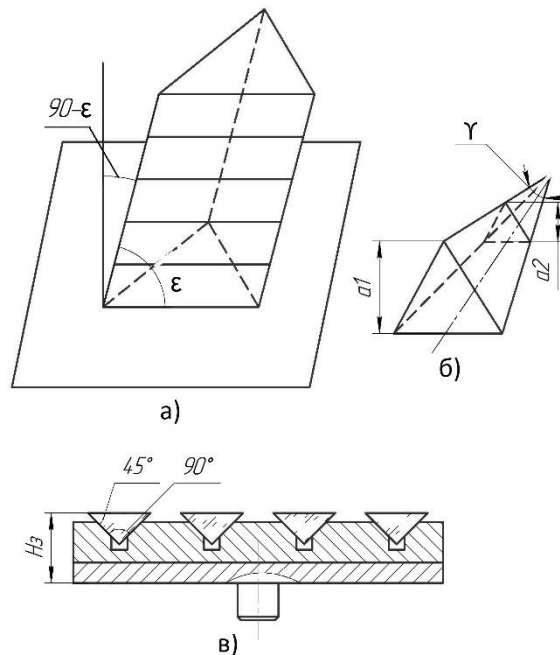


Рис. 7.8. Визначення косини і пірамідальності

Після обробки призм в стовпчиках наносять фаски на ребрах, контролюють кути 90° , 45° на приладі, розклеюють стовпчики і промивають призми. Потім наносять фаски на інших ребрах і тригранних кутах і, якщо потрібно за кресленням, виконують пази, заокруглення, скоси тощо. Останні обробляють алмазними інструментами у пристосуваннях з механічним затиском призм. Нанесення фасок (так зване гранування призм) здійснюють на алмазній або чавунній планшайбі вручну на шліфувально-обдирному верстаті [1, 3, 8].

На подальших операціях виконують шліфування та полірування виконавчих поверхонь призм. Для шліфування та полірування призм з похибкою кутових розмірів до 6-8' застосовують кріплення призм в блоці з допомогою тверднучого розчину гіпсу. Перевагами гіпсування є простота способу, можливість обробки різних за габаритними розмірами і конфігурації призм в одному пристосуванні, а також максимальне використання корисної площі блоку, що дає найбільший економічний

ефект при обробці. Недоліки гіпсування: тривалість процесу, недостатньо висока точність кутів призм після обробки і забрудненість виробничої ділянки відходами гіпсу. Невисока точність обробки пояснюється деформаціями і розворотом призм в застигаючому гіпсовому розчині.

Перед розбиранням блоку виконують контроль полірованих поверхонь призм на інтерферометрі або пробним склом, визначаючи N і ΔN . Контролюють клас чистоти P , після чого поліровані поверхні лакують, призми розблоковують. Для обробки двох інших граней призми послідовно повторюють операції технологічного процесу (див. рис. 7.7).

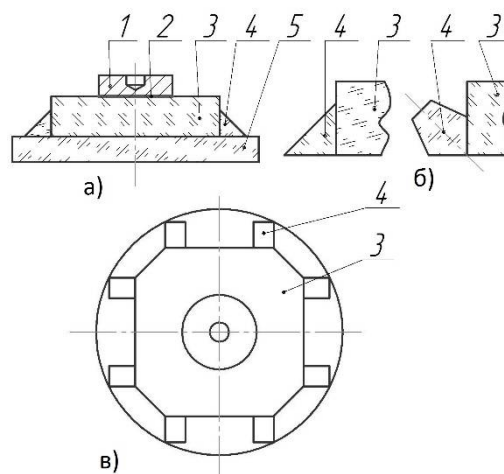


Рис. 7.9. Контактне пристосування

Промивання полірованих призм від захисного лаку здійснюють аналогічно промиванню лінз.

Для призм з неплоскостістю виконавчих поверхонь менш $N = 1$ і похибкою кутів до $2'$ застосовують операцію доведення призм в сепараторах, яку виконують аналогічно доведенню пластин. Для доведення точних призм (з похибкою кутів $3-5''$) застосовують спеціальні контактні пристосування.

Кути готових призм контролюють на гоніометрі або автоколіматорі.

8. Покриття поверхонь оптичних деталей

8.1. Типи покриттів і їх призначення

На поверхні деталей, що заломлюють та відбивають промені, наносять тонкі прозорі плівки різних речовин (металів, діелектриків, напівпровідників, органічних і кремнійорганічних полімерів та ін.). За їх допомогою змінюють оптичні, хімічні та електричні властивості деталей. За призначенням покриття розділені на кілька типів.

Покриття, що відбивають (дзеркальні): відбивають від поверхні падаючий на неї світловий потік; характеризуються коефіцієнтом відбиття ρ .

Світлоподільні (напівпрозорі) покриття поділяють падаючий на поверхню світловий потік на відбитий і той, що проходить; характеризуються відношенням коефіцієнтів відбиття і пропускання ρ/τ і коефіцієнтом поглинання світла деталлю.

Просвітлюючі покриття збільшують потік світла, що проходить, за рахунок зменшення відбиття на границі розділу середовищ з різними показниками заломлення; характеризуються залишковим коефіцієнтом відбиття ρ .

Фільтруючі інтерференційні і нейтральні покриття змінної щільності призначені для виділення з падаючого світлового потоку певної області спектра або його рівномірного ослаблення по всьому спектру. Ці покриття характеризуються коефіцієнтом пропускання τ_λ або відбиття ρ_λ при даній довжині хвилі, шириною спектрального інтервалу на половині максимуму пропускання $\delta_{\lambda 0,5}$.

Захисні покриття підвищують хімічну стійкість поверхонь деталі або покриттів інших типів, збільшують їх поверхневу міцність.

Струмопровідні покриття оберігають деталі від обмерзання, запотівання, знімають накопичені електростатичні заряди.

Поляризуючі покриття дозволяють отримати лінійно поляризоване світло у вузькій області спектра; характеризуються ступенем поляризації світлового потоку, що пройшов та відбився в певній ділянці спектра.

До числа властивостей, що характеризують покриття, крім оптичних, відносяться хімічна та корозійна стійкість, механічна і термічна міцність.

Кожен тип покриття має кілька різновидів, що відрізняються матеріалом плівки, способом її нанесення, захисту тощо. У залежності від цього плівки мають різні властивості. Тип і різновид покриття вибирають залежно від матеріалу деталі, пред'явлених вимог, умов експлуатації та ін.

Способи нанесення покриттів розділяють на хімічні і фізичні [9, 12].

Хімічні способи нанесення покриттів засновані на реакціях, які протікають у плівкоутворюючих речовинах на поверхні деталі або при їх взаємодії з останньою. До даних способів відносяться травлення (Т), осадження з розчинів плівкоутворювальних речовин (Р), обробка паром або газом (Г), електроліз (Е), нанесення розплаву (Н), нанесення пензлем або пульверизатором (П).

Фізичні способи нанесення покриттів засновані на випаровуванні та конденсації речовин у вакуумі, у тому числі випаровування (И), катодного розпилення (К), випаровування за допомогою електронного нагріву (ИЭ).

8.2. Позначення покриттів

Усім типам покриттів присвоєні умовні символи (таблиця 8.1), плівкоутворювальним матеріалам – умовні номери (таблиця 8.2), а способам нанесення – відповідні літерні знаки. На кресленнях оптичних деталей покриття позначають декількома послідовно записуваними знаками: символ типу покриття – скорочена назва – номер, присвоєний матеріалу плівки – спосіб її нанесення. При позначенні покриттів, що складаються з двох, трьох і більшого числа шарів, вказують матеріал і спосіб його нанесення послідовно для кожного шару.

Таблиця 8.1

Умовні позначення типів покриттів

Тип покриття	Скорочене найменування	Позначення на кресленні	Тип покриття	Скорочене найменування	Позначення на кресленні
Відбиваючі: Зовнішні	Дзеркальн.		Фільтри	Фільтр.	
Задні	Дзеркальн.		Захисні	Захис.	
Світлоподільні (напівпрозорі)	Світлпод.		Струмо- провідні (обігрівальні)	Струмо- пров. (або обігрів.)	
Просвітлюючі	Просвітл.		Поляризуючі	Поляриз.	

Таблиця 8.2

Умовні номери плівкоутворювальних покриттів

Матеріал	Умовне позначення	Спосіб нанесення і його умовне позначення	Матеріал	Умовне позначення	Спосіб нанесення і його умовне позначення
Алюміній	1	Випаровування у вакуумі (И)	Срібло	25	Осадження з розчинів, що гідролізуються (Р)
Золото	2		азотнокисле		
Нікель	4		Торій	30	
Паладій	5		азотнокислий		
Срібло	8		Кремнієвий ефір	43	
Хром	9		Титановий ефір	44	Електроліз (Е)
Титан	15		Суміш	45	
Стронцій	18		титанового і кремнієвого ефірів		
фтористий			Мідь	3	Травлення (Т)
Магній	24		Паладій	5	
фтористий	27		Фосфорнокислий амоній	21	
Сурма	29				
трисерніста		Нанесення розплаву (Н)	Азотна кислота	61	Пензлем, пульверизатором (П)
Цинк	31		Оцтова кислота	63	
серністий			Лак бакелітовий	72	
Моноокисел кремнію			Лак бутерально-бакелітовий із наповнювачем	75	
Парафін	84				
Віск	85				

8.3. Хімічні способи нанесення покриттів

Травлення – спосіб утворення плівки, заснований на хімічній взаємодії скла з водою або водними розчинами кислот. У результаті травлення з поверхневого шару витягуються всі розчинні компоненти і залишається тонка плівка кремнезему, показник заломлення якої $n_e = 1,44 \div 1,45$. Основну роль у процесі виконують рухливі іони водню. У воді концентрація іонів водню більше, відповідно, зростає і швидкість росту плівки. Час досягнення нею певної товщини залежить від хімічної стійкості скла та умов процесу, і може становити від декількох хвилин до сотень годин.

Показник заломлення плівки n_{nl} менший, ніж у всієї маси скла $n_{ск}$, тому плівка являє собою одношарове покриття, що просвітлює. Повністю усунути віддзеркалення світла даної довжини хвилі λ вона може за оптичної товщини $n_{nl}h_{nl} = \frac{1}{4}\lambda$ і показнику заломлення $n_{nl} = \sqrt{n_{ск}}$. Остання умова здійснима лише для скла з $n_e = 1,9 \div 2,0$, для решти - залежно від величини n_e відбиття може бути лише зменшено. Так, у скла з $n_e = 1,71 \div 1,75$ воно знижується до 15%, а у скла з $n_e = 1,51 \div 1,52$ до 50% від початкової величини. Технологія утворення покриття складається з підготовки поверхні, її травлення, сушіння та контролю. Рівномірність товщини і швидкість утворення плівки залежать від чистоти поверхні, тому попередньо її обробляють 0,5н розчином лугу (NaOH).

Травлення виконують у водних розчинах кислот, концентрація яких визначається хімічною стійкістю скла. Найчастіше використовують 0,1н розчин оцтової кислоти, яка, хоч і утворює плівку повільніше, ніж сірчана або азотна кислоти, але не така летюча і агресивна по відношенню до апаратури, менш шкідлива для виконавця. Після отримання плівки необхідної товщини деталь промивають і сушать. Товщину плівки контролюють або безпосередньо в процесі травлення (по зміні

інтерференційного забарвлення), або вимірюванням пропускання (відбиття) світла готовою деталлю. Товщина і показник заломлення таких плівок при зберіганні не змінюється. Після старіння вони мають найвищу (нульову) групу міцності, стійкі у воді, кислотах, органічних розчинниках.

Утворена у результаті травлення поверхнева плівка кремнезему поряд з ефектом просвітлення виконує захисну роль, утруднюючи дифузію парів води вглиб скла і тим самим оберігає його від подальшого руйнування. Ступінь захисту залежить від хімічної стійкості скла. У сортів скла, що містять у своєму складі мало SiO_2 і багато окислів таких, наприклад, як V_2O_5 , BaO , PbO , що утворюють легкорозчинні з'єднання і сполуки, що гідролізуються, плівка має великі пори і захисної дії практично не спричиняє.

До недоліків даного способу нанесення покриттів відносяться можливість відновлення подряпин, закритих продуктами зносу скла, великий час росту плівки на хімічно стійкому склі, необхідність зміни режиму травлення для скла різних марок та ін. Просвітлюючі плівки наносять травленням у тих випадках, коли не можна використовувати інші способи їх просвітлення (деталі великих розмірів або складної форми). На деталі, що мають бути склеєні, плівку наносять до їх з'єднання.

Плівкоутворювальні розчини являють собою розчини з'єднань, що гідролізуються. Утворення плівок – це процес поступової зміни хімічного складу вихідної речовини. Зміни відбуваються в розчині у стадії формування плівки на поверхні скла і при термообробці. Здатність утворювати стабільні плівки мають переважно вищі окисли елементів типу R_2O_3 , RO_2 , R_2O_5 . У якості плівкоутворюючих з'єднань використовують ефіри ортокислот, розчини деяких неорганічних сполук в спирто- і ацетоноводних сумішах, мономери і полімери кремнійорганічних сполук. Міцність зчеплення плівки з підкладкою залежить від природи матеріалу підкладки, речовини плівки, її товщини, структури поверхні підкладки, її температури під час нанесення плівки і при термообробці, відносної

вологості і температури повітря приміщення тощо. Найбільша адгезія плівки до поверхні скла має місце при наявності у складі плівкоутворюючих речовин функціональних груп OH , NH_2 , OC_2H_5 та інших, які забезпечують закріплення плівок за рахунок хімічних зв'язків.

Із розчинів з'єднань, що гідролізуються, утворюють плівки всіх типів товщиною від 5 до 5000 нм, а на матеріалах, що мають високу термічну стабільність, зокрема на кремнії, до 30000 нм. Технологія утворення плівок зводиться до наступного: деталь закріплюють на вертикальному шпинделі і приводять в обертання з частотою від 2000 до 20000 об / хв (залежно від розміру). Після підготовки поверхні (чистки, промивки) на її центр у суворо дозованій кількості подають розчин плівкоутворюючої речовини. Під дією відцентрової сили розчин розтікається рівномірним шаром. Товщину плівки регулюють кількістю розчину, його концентрацією, в'язкістю і вмістом води, швидкістю обертання деталі.

Піроліз полягає в обробці поверхні деталі парами солей, що розкладаються, при нагріванні металів, напівпровідників, кремнійорганічних сполук. Цим способом наносять струмопровідні і захисні покриття. Установка для нанесення струмопровідних плівок (рис. 8.1) являє собою шахтну електричну піч 1 з нагрівачем 2. У піч входить вал 3 з тримачем деталі 4. У нижній частині печі на відкидному кронштейні укріплена піч-випарник 5 із нагрівачем 6 і тиглем 7 для речовини, що випаровується 8. Для нанесення плівки деталь закріплюють у тримачі і нагрівають обидві печі. Після досягнення тиглем температури, що відповідає температурі розкладання солі, відкривають шибер 9, який відокремлює піч-випарник від печі-нагрівача, і пари речовини вступають у контакт з деталлю. Після того, як плівка отримає певний колір, який корелює з її електричним опором, шибер закривають. Товщина плівки залежить від часу обробки парами, а електропровідність - від температурного режиму печі. Процес нанесення плівки піролізом складається з послідовно виконуваних операцій: чистки поверхні деталі, її

закріплення, нагріву установки, нанесення плівки, контролю її опору, охолодження деталі та зняття з установки.

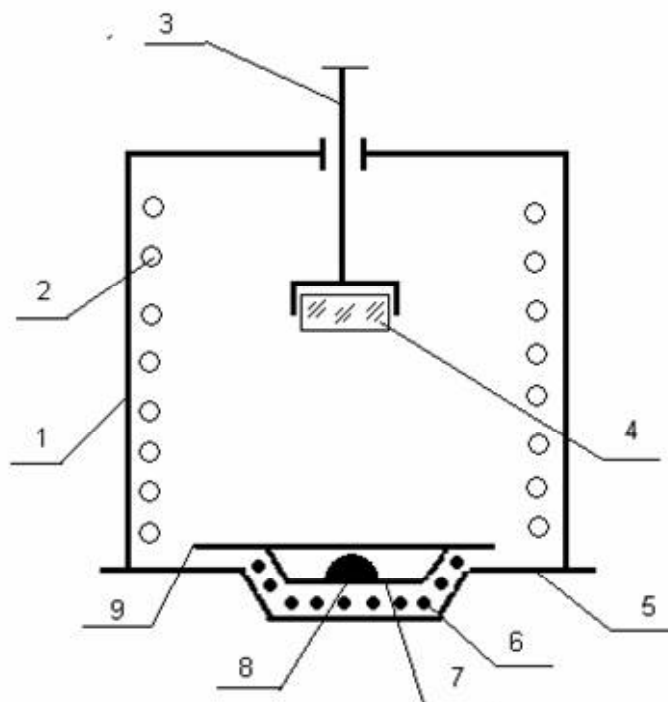


Рис. 8.1. Схема установки для нанесення плівок піролізом речовини:

1 – електрична піч, 2 – нагрівач, 3 – вал, 4 – тримач деталі, 5 – піч-випарник, 6 – нагрівач, 7 – тигель, 8 – речовина, що випаровується, 9 – шибер

8.4. Фізичні способи

Термічне випаровування полягає в тому, що плівкоутворювальну речовину 1 (рис. 8.2) разом з підкладками 2 поміщають у вакуумну камеру 3, з якої повітря відкачують через отвір 6 до $(1,3 - 0,6) \cdot 10^{-3}$ Па. Речовину нагрівають до температури випаровування. Конденсуючись, вона осідає на поверхні підкладок, утворюючи плівку. Товщину плівки контролюють у процесі випаровування за допомогою фотометричних пристроїв, вимірюючи пропускання та відбиття світла. Випарники 4 можуть бути встановлені у верхній, середній або нижній частинах камери в залежності від роду роботи. Їх число і розташування визначають, виходячи з вимог до рівномірності товщини плівки. Матеріал випарників – молібден або вольфрам, температура випаровування яких відповідно 2480 і 3230 °С.

Нагрівання випарників здійснюється електричним струмом великої сили, що надходить від блоку живлення 5.

Необхідне розрідження в камері створюють відкачуванням повітря послідовно двома насосами: форвакуумним (ротаційним) – приблизно до 1,3 Па і дифузійним (пароструменевим) – до необхідного ступеня розрідження.

Випаровуванням наносять плівки з речовин, які мають низьку температуру плавлення і високий тиск пари (лужних і лужноземельних металів, сульфідів, фторидів).

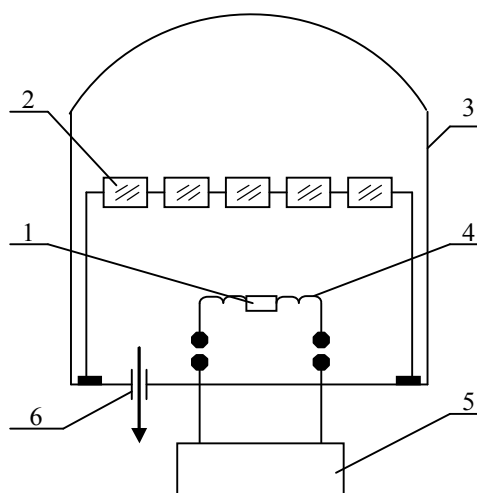


Рис. 8.2. Схема вакуумної установки для термічного випаровування речовини

Процес нанесення покриттів складається з ряду послідовно виконуваних операцій:

- підготовки підкладок (промивання, знежирення, чищення);
- підготовка вакуумної камери (промивання ковпака, підковпакової арматури, завантаження випарників плівкоутворювальною речовиною, установки підкладок та ін.);
- відкачування вакуумної камери форвакуумним насосом до розрідження $\approx 1,3$ Па;
- обробки підкладок тліючим розрядом;

- відкачування камери дифузійним насосом до розрядження ($1,3 - 0,6) \cdot 10^{-3}$ Па при одночасно працюючому форвакуумним насосі;
- прогріву речовини, що випаровується при екранування підкладок заслінкою для попередження нанесення зовнішнього забрудненого шару речовини;
- випаровування речовини на поверхню підкладок;
- розгерметизації вакуумної камери.

Спосіб термічного випаровування має ряд недоліків: змінюється вміст компонентів при випаровуванні складних речовин, плівка, що утворюється, нерівномірна по товщині при випаровуванні речовин з точкових джерел на поверхню значного розміру, утруднено випаровування тугоплавких речовин, мала міцність зчеплення плівки з підкладкою.

Катодне розпилення – процес, при якому відбувається перенесення речовини катода на підкладки, що знаходяться поблизу анода. При виникненні електричного розряду в газі катод під дією іонного бомбардування руйнується. Частина атомів осідає на підкладки, частина повертається назад в результаті зіткнення з молекулами газу.

Катодне розпилення може проводитися за допомогою постійного струму або змінного струму високої частоти. Використовуючи постійний струм, в атмосфері інертного газу можна наносити тільки металеві плівки, а в атмосфері активного газу отримують плівки окислів металів. Розпиленням за допомогою змінного струму в необхідному середовищі можна отримувати плівки будь-яких з'єднань. Спосіб нанесення плівок у присутності невеликих кількостей активного газу називають реактивним розпиленням.

Катодним розпиленням наносять просвітлюючі, світлоподільні, фільтруючі і захисні плівки з тугоплавких металів, діелектриків, напівпровідників. Основна перевага способу – відсутність фракційності і можливість отримання плівок, склад яких відповідає термічно і хімічно

стійким з'єднанням, що необхідно для деталей приладів, які працюють в умовах підвищеної вологості й високої температури. Адгезія плівок до поверхні скла і їх твердість вища, ніж у одержуваних термічним випаровуванням.

Для катодного випаровування використовують установки, які відрізняються від тих, що застосовуються при термічному випаровуванні, меншою висотою камери (через невелику відстань між електродами) і підковпачним пристроєм. У вакуумній камері 1 (рис. 8.3) розміщені анод 2, що виконує роль утримувача заготовок (підкладок) 3, і катод 4 з речовини, яка має бути нанесена. Процес ведуть при тиску в камері 0,13 Па. При подачі на катод і анод невеликої напруги від джерела живлення 5 поверхня підкладок бомбардується позитивними іонами і очищається від забруднень. Після подачі на катод негативного потенціалу в кілька сотень вольт починається його інтенсивне бомбардування позитивними іонами. Вибиті атоми катода осідають на поверхні підкладок. Для отримання плівки рівномірної товщини розмір катода повинен перевищувати розмір підкладки, а форма його поверхні відповідати формі поверхні підкладки. Технологічний процес нанесення покриттів катодним розпиленням близький до процесу термічного випаровування.

Також для отримання плівки використовують *випаровування речовин електронно-променевим нагрівом*. За допомогою електронних пучків отримують потік енергії великої концентрації потужності на порівняно малій поверхні випаровування (до $5 \cdot 10^8$ Вт/см²). Практично точкове фокусування електронного пучка дозволяє отримати високу температуру і велику швидкість випаровування тугоплавких речовин. Плівки відрізняються чистотою і однорідністю складу через можливість уникнення безпосереднього контакту гарячої зони речовини, що випаровується, з матеріалом випарника. Легко здійснюється регулювання температури нагріву і швидкості випаровування.

Установка (рис. 8.4) являє собою вакуумну камеру 1, усередині якої розміщені підкладки 2, мішень 3 із речовиною, що випаровується 4, анод 5, і катод 6. Живлення подається від джерела 7. Використовуються багатопозиційні електронно-променеві випарники. Таким способом наносять і багат шарові покриття.

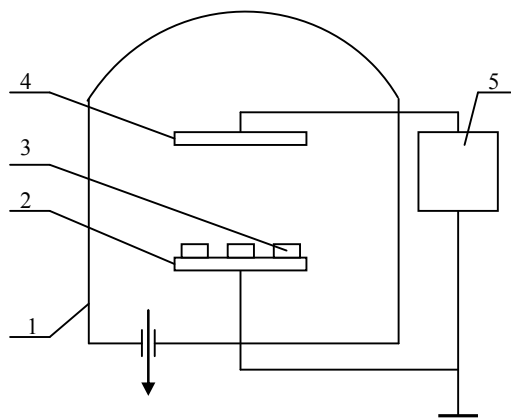


Рис. 8.3. Схема пристрою катодного розпилення речовини

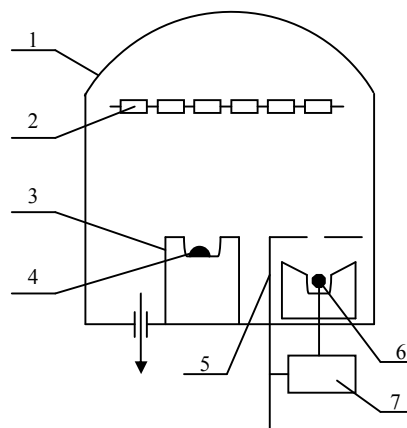


Рис. 8.4. Схема установки випаровування речовини електронно-променевим нагрівом

9. З'єднання оптичних деталей

9.1. З'єднання склеюванням

Склеювання – найбільш поширений спосіб з'єднання оптичних деталей у приладобудуванні. Склеювання лінз необхідно для точної фіксації їх взаємного розташування, зменшення кількості світла, відбитого вільними поверхнями.

Лінзи найчастіше з'єднують клеями бальзамін, ОК 72-ФТ, ОК-50 при кімнатній температурі (20-22 °С), які, перебуваючи в рідкому стані, не вимагають попереднього прогріву компонента для процесу полімеризації. Перед склеюванням проводять додатково операцію комплектування лінз за товщинами. Така комплектація дозволяє підсумувати похибку з'єднання лінз, що виключає зниження якості зображення, формованого

склеюванням. Крім того, вона створює певні зручності при збиранні приладу. Лінзи комплектують так, щоб алгебраїчна сума відхилень їх товщини приблизно дорівнювала (наближалася) нулю. У трьохлінзових компонентів відхилення товщини однієї з лінз повинно дорівнювати за абсолютною величиною і бути протилежним за знаком значенню сумарної товщини двох інших лінзових компонентів. Склеювання попередньо скомплектованого (наприклад, дволінзового компонента) складається з послідовно виконуваних технологічних операцій:

- 1) підготовка деталей і клею (поверхні промивають, чистять, накладають одну на іншу). При приготуванні клею слід брати до уваги тривалість його робочого стану (до затвердіння) і готувати відповідну кількість;

- 2) процес склеювання: знявши позитивну лінзу, на поверхню негативної наносять необхідну кількість клею. Знову встановивши позитивну лінзу і притискаючи її до нижньої (негативної) лінзи забезпечують товщину шару клею від 0,005 до 0,2 мм. Зі зменшенням товщини шару клею механічна міцність та морозостійкість з'єднання підвищуються;

- 3) центрування компонентів: до завершення полімеризації (затвердіння) клею суміщають оптичні осі деталей, що склеюються. Для цього використовують різні технологічні пристосування, які дозволяють виконувати центрування та контроль їх несоосності. Такі пристрої збирають з мікроскопів, коліматора, інтерферометрів тощо.

Нанесення на лінзи просвітлюючих плівкових покриттів фізичними способами має передувати їх склеюванню, оскільки при обробці деталей їх нагрівають до 200-300 °С, що викликає зміну властивостей клею.

Склеювання призм виконується так само, як і лінз. Істотно відрізняються лише конструкції контрольно-юстувальних пристосувань, які використовують при з'єднанні призм різних типів. Більшість призм із оптичних матеріалів, прозорих у видимій області спектра, склеюються

бальзаміном і клеєм ОК-72Ф. Призми з матеріалів, прозорих в ультрафіолетовому діапазоні, склеюють клеєм УФ-235, а з матеріалів, прозорих в інфрачервоному діапазоні, склеюють клеєм ТКС. Складні призми, що складаються з декількох деталей, склеюють у тій же послідовності, що і багатолінзові компоненти.

Напівпрозорі дзеркала склеюють бальзаміном, ОК-72Ф, ОК-50. Процес склеювання таких деталей такий самий, як і при склеюванні лінз.

9.2. Глибокий оптичний контакт

Глибокий оптичний контакт (ГОК) - це безклеєве з'єднання оптичних деталей, що полягає в наступному. На одну або обидві поверхні наносять тонку плівку кремнезему. Встановлюють ці поверхні на оптичний контакт, а потім піддають компоненти термічній обробці (прогрів при температурі 250 °С), тоді кисень і кремнезем утворюють хімічні зв'язки, міцність яких дорівнює міцності монолітного скла. Одержане з'єднання стає нероз'ємним. Глибокий оптичний контакт розширює сферу застосування оптичного контакту, замінює спікання і зварювання. Застосування його доцільно при створенні складних вузлів, що працюють у важких експлуатаційних умовах (різкі перепади температур, висока вологість, агресивність навколишніх середовищ виключають застосування клеїв), також для спрощення кріплення вузлів, підвищення їх механічної міцності. Зібрані таким способом вузли стійкі при роботі в умовах високих (до 500 °С для силікатного, до 1500 °С для кварцового скла) температур, в агресивних середовищах (кислоти, луги, органічні розчинники), при механічних впливах (вібрація, удар, прискорення, нейтронно- і γ -опроміненні).

9.3. З'єднання спіканням і зварюванням

Ці способи застосовуються при виготовленні деталей з підвищеними вимогами до механічної міцності та хімічної стійкості з'єднань. До таких,

зокрема, відносяться кювети зі скла, що заповнюються розчинами (органічні, лужні, кислотні), які виключають можливість з'єднання склеюванням, а метод ГОК трудомісткий. З'єднання таких деталей може бути виконано:

- зварюванням лазерним випромінюванням, яке фокусують в площину шва, що містить світлопоглинаючий прошарок (плівку, припій): пучок переміщують по периметру шва і він розплавляє припій;
- зварюванням у полум'ї киснево-водневого пальника забезпечує температуру нагрівання 2000 °С, що викликає деформацію з'єднувальних елементів і кристалізацію поверхневого розплавленого шару;
- спіканням при низькотемпературному нагріванні за допомогою легкоплавкого припою і при високотемпературному нагріванні у вакуумній печі (дифузійне зварювання), вакуум дозволяє видалити адсорбовані гази, сприяє активній поверхневій дифузії в площині з'єднання.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Основи технології оптичного приладобудування. Ч.1. Технічна підготовка виробництва та виготовлення оптичного скла: Навчальний посібник / Укл.: О.М.Козаков. – Чернівці: Рута, 2007 р. – 96 с.
2. Основи технології оптичного приладобудування. Ч.2. Основи технологічних процесів виготовлення оптичних деталей: Навчальний посібник / Укл.: О.М.Козаков. – Чернівці: Рута, 2008 р. – 118 с.
3. Проектування технологічних процесів виготовлення оптичних деталей приладів і систем [Текст] : навч. посіб. / О. М. Козаков ; М-во освіти і науки України, Чернів. нац. ун-т ім. Юрія Федьковича. - Чернівці : ЧНУ, 2014. - 86 с.
4. Основи конструювання приладів [Текст] : навч. посіб. / Л.А. Міхеєнко, М.С. Мамута. – К.: НТУУ "КПІ", 2015. – 202 с.
5. Гжиров Р. И. Краткий справочник конструктора: справочник / Р.И. Гжиров. – Л.: Машиностроение, 1983. – 464 с.
6. Справочник конструктора точного приборостроения / Г. А. Веркович [и др.]; под общ. ред. К. Н. Явленского, Б. П. Тимофеева, Е. Е. Чаадаевой – Л.: Машиностроение, 1989. – 792 с.
7. Милосердин Ю. В. Расчёт и конструирование механизмов приборов и установок: учеб. пособие для инж.-физ. и приборостр. спец. вузов / Ю. В. Милосердин, Б. Д. Семенов, Ю. А. Кречко. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1985. – 408 с.
8. Расчет и конструирование оптико-механических приборов / В. С. Плотников, Д. И. Варфоломеев, В. Е. Пустовалов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1983. – 256 с.
9. Оптическая технология / Под редакцией профессора, д.т.н. Э.С. Путилина / Учебное пособие. СПб: СПб ГУ ИТМО, 2006. 108 с.

10. Иванов А.Н. Проектирование узлов оптико-электронных приборов. Методические указания к выполнению курсового проекта. Учебное пособие – СПб: НИУ ИТМО, 2013. – 72 с.
11. ГОСТ 2.412-81. Единая система конструкторской документации. Правила выполнения чертежей и схем оптических изделий. – М.: Изд-во стандартов, 1981. - 12 с.
12. Основы формообразования оптических поверхностей: курс лекций / В.И. Каширин. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ – УПИ, 2006.
13. Технология оптических деталей : учебник для вузов / В. Г. Зубаков, М. Н. Семибратов, С. К. Штандель; Под ред. М. Н. Семибратова. — Москва: Машиностроение, 1985. — 368 с.: ил.. — Библиогр.: с. 360-365.
14. Технология оптического стекла: учебное пособие / А. Н. Бардин. — 3-е изд., перераб. и доп. — Москва: Высшая школа, 1963. — 519 с.: ил.. — Библиогр.: с. 511-512.
15. Основы технологии оптического стекла : учебное пособие / В. Д. Халилев; Ленинградский технологический институт им. Ленсовета (ЛТИ). — Ленинград: Изд-во ЛТИ, 1989. — 99 с.: ил.. — Библиогр. в конце кн. (5 назв.)
16. Справочник технолога-оптика / под ред. М. А. Окатова. — 2-е изд., испр. и доп.. — СПб.: Политехника, 2004. — 679 с.: ил. — Библиогр.: с. 656-675.. — ISBN 5-7325-0236-X.
17. Оптические материалы и технологии : учебное пособие / С. С. Вильчинская, В. М. Лисицын; Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ). — Томск: Изд-во ТПУ, 2011. — 108 с.: ил. — Библиогр.: с. 106.