

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА**

**ТЕХНОЛОГІЯ**  
**СВІТЛОТЕХНІЧНОГО**  
**ВИРОБНИЦТВА**

**НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК**

**Харків**  
**ХНУМГ ім. О. М. Бекетова**  
**2019**

УДК 628.95:628.955](075.8)

Т38

**Автори:**

**Петченко Гліб Олександрович**, доктор фізико-математичних наук, професор Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова;

**Литвиненко Анатолій Савелійович**, кандидат технічних наук, доцент Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова;

**Ляшенко Олена Миколаївна**, старший викладач Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова;

**Діденко Олена Михайлівна**, кандидат технічних наук, старший викладач Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова

**Рецензенти:**

**Карась Вячеслав Ігнатович**, доктор фізико-математичних наук, професор, керівник теоретичної лабораторії Національного наукового центру Харківського фізико-технічного інституту НАН України;

**Тимофєєв Євген Петрович**, доктор технічних наук, професор, провідний науковий співробітник Національного наукового центру «Інститут Метрології»

*Рекомендовано до друку Вченою радою ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, протокол № 9 від 29.03.2019.*

**Технологія** світлотехнічного виробництва : навч. посібник / Т38 Г. О. Петченко, А. С. Литвиненко, О. М. Ляшенко, О. М. Діденко ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. – 147 с.

ISBN 978-966-695-499-5

У книзі розглянуто головні питання технології світлотехнічного виробництва. Наведено характеристики технологічного обладнання, яке застосовують під час виробництва джерел світла, світлових приладів та інших елементів світлотехнічних систем. Надано типові технологічні схеми виробництва основних деталей світлотехнічного обладнання.

Навчальний посібник призначений для студентів технічних спеціальностей.

УДК 628.95:628.955](075.8)

ISBN 978-966-695-499-5

© Г. О. Петченко, А. С. Литвиненко,  
О. М. Ляшенко, О. М. Діденко, 2019

© ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019

## З М І С Т

ВСТУП .....	5
1 ОРГАНІЗАЦІЯ СВІЛОТЕХНІЧНОГО ВИРОБНИЦТВА.....	6
2 ХОЛОДНЕ ШТАМПУВАННЯ. ЗАГОТІВЕЛЬНІ ОПЕРАЦІЇ.....	9
3 ВИРУБКА Й ПРОБИТТЯ.....	13
4 ЗГИНАННЯ Й ВИТЯГНЕННЯ.....	18
5 ДАВИЛЬНІ РОБОТИ. МЕХАНІЧНА ОБРОБКА.....	22
6 ШЛІФУВАННЯ ТА ПОЛІРУВАННЯ ПОВЕРХОНЬ. МЕТАЛУРГІЙНЕ ВИРОБНИЦТВО.....	27
7 ЛИТТЯ В РАЗОВІ ТА СТАЛІ ФОРМИ.....	30
8 СПЕЦИФІЧНІ ПРОЦЕСИ ЛИТТЯ. ВИРОБНИЦТВО ДЕТАЛЕЙ СВІТЛОВОГО ПРИЛАДУ З ПОЛІМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ.....	35
9 ФОРМОУТВОРЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ІЗ ПЛАСТМАС.....	38
10 ФОРМУВАННЯ ЛИСТОВИХ МАТЕРІАЛІВ. З'ЄДНАННЯ ВИРОБІВ ІЗ ПЛАСТМАС. ДЕКОРАТИВНІ ПЛАСТМАСИ.....	42
11 СВІЛОТЕХНІЧНЕ СКЛО. ВИГОТОВЛЕННЯ СКЛОВИРОБІВ.....	46
12 ДЕКОРУВАННЯ СКЛОВИРОБІВ. СВІЛОТЕХНІЧНІ ТА ЗАХИСНІ ПОКРИТТЯ.....	51
13 МЕТОДИ Й ОБЛАДНАННЯ НАНЕСЕННЯ ЛАКОФАРБОВОГО ПОКРИТТЯ.....	55
14 СУШІННЯ ЛАКОФАРБОВОГО ПОКРИТТЯ. ГАЛЬВАНІЧНІ ПОКРИТТЯ.....	60
15 ВИГОТОВЛЕННЯ ВІДБИВАЧІВ СВІТИЛЬНИКІВ.....	64
16 ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ВАКУУМНОЇ МЕТАЛІЗАЦІЇ. ГАРЯЧЕ ЕМАЛЮВАННЯ.....	68
17 СКЛАДАННЯ СВІТИЛЬНИКІВ. КОНВЕЄРНЕ СКЛАДАННЯ СВІТЛОВИХ ПРИЛАДІВ.....	73
18 КОНТРОЛЬ СВІТЛОВОГО ПРИЛАДУ. ПАКУВАЛЬНІ ОПЕРАЦІЇ.....	78
19 ЕЛЕКТРОЛАМПОВЕ СКЛО: ВИМОГИ Й ТИПОВІ ДЕФЕКТИ.....	85
20 ЕЛЕКТРОЛАМПОВЕ СКЛО: ВНУТРІШНІ НАПРУЖЕННЯ ТА ВІДПАЛЕННЯ.....	90

21 ЕЛЕКТРОЛАМПОВЕ СКЛО: ВИГОТОВЛЕННЯ ТА КОНТРОЛЬ СКЛЯНИХ ДРОТІВ І ДЕТАЛЕЙ ЛАМП ІЗ НИХ.....	94
22 ЕЛЕКТРОЛАМПОВЕ СКЛО: ВНУТРІШНЄ ПОКРИТТЯ КОЛЬ.....	99
23 ВОЛЬФРАМОВИЙ ДРІТ: ВИМОГИ ДО ТІЛА РОЗЖАРЮВАННЯ.....	101
24 ВОЛЬФРАМОВИЙ ДРІТ: ПРОЦЕС ВИГОТОВЛЕННЯ НА ВИРОБНИЦТВІ.....	103
25 ВОЛЬФРАМОВИЙ ДРІТ: ПРОЦЕС ВИГОТОВЛЕННЯ ВОЛОЧИЛЬНИХ ОТВОРІВ.....	107
26 ВОЛЬФРАМОВИЙ ДРІТ: ВИГОТОВЛЕННЯ ТА КОНТРОЛЬ СПРАЛЕЙ.....	110
27 ВИГОТОВЛЕННЯ ЕЛЕКТРОДІВ.....	115
28 ВИРОБНИЦТВО ГАЗІВ НА СВІЛОТЕХНІЧНИХ ПІДПРИЄМСТВАХ.....	119
29 ПРОМИВАННЯ ТА ВІДКАЧУВАННЯ ЛАМП.....	122
30 ГАЗОПОГЛИНАЧІ ТА СПОСОБИ ЇХ НАНЕСЕННЯ. ВИГОТОВЛЕННЯ ЦОКОЛІВ ЛАМП.....	125
31 ПРАКТИЧНІ ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ.....	131
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	142

## ВСТУП

Одним із напрямів підготовки фахівців-світлотехніків на кафедрі світлотехніки і джерел світла ХНУМГ ім. О. М. Бекетова є вивчення методик розрахунку, основ конструювання та виготовлення світлових приладів (далі – СП). В Україні існують підприємства, які спеціалізуються на випуску світильників різного призначення та різної номенклатури, наприклад, ВАТ «Ватра» (м. Тернопіль), що потребують кваліфікованих інженерів та проектувальників. Динамічне розширення ринку світлотехнічної продукції є очевидним, доказом чому є зростання кількості магазинів і салонів, що пропонують світильники будь-якого призначення та дизайну.

Аналіз результатів проведеного на кафедрі СДС дипломного проектування свідчить про значний відсоток (не менше 25 %) дипломних проектів із розробки СП у загальній кількості робіт. Отже, напрям розробки СП є досить значущим як для нашої кафедри, так і для країни загалом. Щодо курсу з технології світлотехнічного виробництва, то він є важливим складником вказаного напрямку підготовки фахівців, а розробка технологічних процесів виготовлення СП є обов'язковою під час складання пояснювальних записок дипломних проектів.

Список використаної літератури охоплює як основні, так і допоміжні літературні джерела, що окреслюють коло професійних кафедральних інтересів і безпосередньо стосується фундаментальних досліджень твердотільної фізики, фізики плазми та прикладної оптики та практичного застосування результатів цих досліджень у галузях, передбачених паспортом спеціальності 05.09.07 – Світлотехніка та джерела світла, і, зокрема, під час розроблення й конструювання світлових приладів і систем на їх основі, а також під час планування технологічних процесів на стадіях розробки й виготовлення нових номенклатурних одиниць світлотехнічної продукції.

## 1 ОРГАНІЗАЦІЯ СВІЛОТЕХНІЧНОГО ВИРОБНИЦТВА

Виробничий процес випуску продукції для будь-якого підприємства складається з низки організаційних заходів, таких як активізація ресурсів підприємства, організація обслуговування робочих місць, одержання матеріалів і напівфабрикатів та вирішення питань їх оптимального використання та зберігання, усі етапи виготовлення елементів конструкцій, їх збирання, питання, пов'язані з транспортуванням матеріалів, напівфабрикатів і готової продукції, здійснення технічного контролю як продукції, так і обладнання, упакування виробленої продукції тощо. Виробничі процеси розділяють на поточні й непоточні. Поточному виробництву, на відміну від непоточного, властивий незмінний такт випуску (інтервал часу, за який виробляються деталі певної номенклатури). Окремим складником є технологічний процес. Під час технологічного процесу деталь набуває необхідної форми й притаманні їй властивості. Технологічний процес містить у собі й побічні заходи (контроль якості деталей і їх транспортування з ділянки на ділянку, очищення деталей від бруду й мастил тощо). Технологічні процеси розрізняють за типами виробництва (наприклад, фарбування чи металізація виробів, штампування, лиття тощо), тобто за ознакою застосованого методу виготовлення виробу. Технологічний процес виконують на робочому місці (ділянці виробничої площі), на якій розміщено обладнання, інструмент, підйомно-транспортні засоби, стелажі для зберігання деталей тощо. Технологічний процес складається з операцій, тобто завершених частин процесу, що виконані на одному робочому місці. Саме за переліком операцій визначають кількість працівників, що залучаються до роботи, найменування та кількість обладнання й необхідність у виробничому просторі. Технологічний процес має головну характеристику – трудомісткість. Зниження її за умов збереження якості й собівартості продукції є важливим напрямом енергозбереження у світлотехнічному виробництві. Таке зменшення трудомісткості можливе насамперед унаслідок упровадження у виробництво передових технологій і сучасних матеріалів.

Світлотехнічне виробництво, як і будь-яке інше, розподіляють на такі типи: одиничне, серійне й масове. Одиничне виробництво – це широка номенклатура виробів при малому обсязі випуску. Приклад – декоративні світильники для освітлення станцій метрополітену (ексклюзив). Серійне –

номенклатура дещо вужча, обсяг випуску збільшений. Приклад – світильники для адміністративних приміщень (тобто більш типові дизайнерські рішення). Масове – звужена номенклатура, великий обсяг. Приклад – промислові світильники.

Існує таке поняття, як технологічна підготовка (далі – ТП) підприємства. Фактично, ТП є сукупність взаємозв'язаних заходів, що забезпечують технологічну готовність підприємств до випуску виробів певної якості при встановлених термінах, обсязі й витратах. ТП виконують відповідні інженерні підрозділи під керівництвом головного інженера підприємства. ТП складається з таких етапів: розробки технологічних процесів, розрахунку виробничої потужності, вибору рішень щодо планування та монтажу обладнання, вибору стандартного обладнання, проектування та виготовлення нестандартного обладнання, проектування й виготовлення інструменту, розрахунку рівня потреб у матеріальних і трудових ресурсах.

Залежно від того, для якої кількості виробів розроблюють технологічні процеси, їх розподіляють на одиничні (одна деталь) й уніфіковані (група деталей). У першому випадку вся інформація про вироб міститься в маршрутній карті (далі – МК) або карті технологічного процесу (далі – КТП), хоча окремі операції можуть бути деталізовані операційними картами (далі – ОК). Зазвичай при одиничних операційних процесах уся інформація, необхідна для виконання операцій, міститься в ОК, а в МК чи КТП використовується для визначення послідовності операцій із прив'язкою кожної операції до позначення на відповідній ОК. Зазначені процеси поширені здебільшого при крупносерійному й масовому виробництві.

Уніфіковані технологічні процеси розподіляють на типові й групові. Типовий процес стосується групи виробів, які об'єднані спільними конструктивними й технологічними ознаками. Типові маршрутні процеси розробляють на найскладнішу деталь групи та використовують як основу для розробки технологічних процесів виготовлення інших деталей. Вказані процеси є зручними при крупносерійному виробництві за умови постійної необхідності модернізації поточних ліній. При дрібносерійному й середньосерійному виробництві такі процеси не виправдані. Групові процеси призначені для одночасного виготовлення групи виробів різної конфігурації в конкретних умовах виробництва на спеціалізованих робочих місцях. Комплект технологічних документів на групову

технологічну операцію містить усю інформацію щодо обробки кожної деталі групи, яка виконується на фіксованому робочому місці.

Для оцінки світлотехнічного виробництва використовують поняття виробничої потужності, що вимірюється у коштовних чи натуральних показниках.

Розрізняють вхідну (на початок планового розрахункового періоду), вихідну (на кінець планового розрахункового періоду) і середньорічну (виробничі можливості структурної одиниці в середньому за плановий період) потужності. Вихідна потужність поточного розрахункового року є одночасно вхідною потужністю наступного року.

Виробничу потужність зазвичай розраховують окремо по кожній ділянці чи цеху, що дає можливість порівняльного аналізу їхньої діяльності наприкінці планового періоду. Наприклад, для гальванічного цеху підраховується сумарна площа покриття деталей, для пластмасового цеху – кількість виготовленої продукції в тоннах.

Потужність підприємства загалом аналізується у відділі головного технолога під керівництвом головного інженера чи його заступника.

Метою цього аналізу є виявлення слабких ділянок і визначення заходів щодо усунення їх наявності в майбутньому. Найзручнішою формою графоаналітичного порівняння потужності структурних одиниць підприємства є стовпчикова діаграма.

Ефективність функціонування світлотехнічного підприємства залежить від планування обладнання, тобто від схеми його розміщення та взаємоув'язання з інженерними комунікаціями й транспортними засобами.

Планування обладнання здійснюють за його видами, за поточним чи предметним принципами. Перший тип найзручніший для підприємств із дрібносерійним чи одиничним виробництвом при постійній зміні номенклатури виробів. Головний його недолік – потребує добре розвинутий парк підйомно-транспортного обладнання. Другий тип планування обладнання визначається послідовністю операцій, яка передбачена технологічним процесом, що зручно при виготовленні виробів постійної номенклатури. Головний його недолік – при переході підприємства на випуск нової продукції ця схема може набути принципів змін. Другий тип визначається шляхом створення окремих ділянок для виготовлення на них декількох однотипних виробів. Приклад – одночасно з випуском СП вуличного освітлення проводиться випуск СП побутового призначення. Це зручно для випуску продукції широкої і



змінної номенклатури, але є істотний недолік – завантаженість обладнання дуже низька, що пояснюється його недостатньою сконцентрованою та скорельованістю на ділянках.

Під час будь-якого планування обладнання виробництво з небезпечними й шкідливими умовами праці відокремлюється. Приклад – ливарні, фарбувальні, гальванічні й пластмасові цехи, ділянки, призначені для емалізації та дзеркалізації відбивачів СП. Планування обладнання має здійснюватись з огляду на багаторічну стратегію підприємства на розширення випуску продукції.

Розробка технологічних процесів дає змогу визначити норми витрат (перелік) матеріалів, необхідних для випуску продукції певної номенклатури та якості. Для визначення норм витрат враховують планові завдання щодо їх зниження, номенклатуру виробів, обсяг виробництва.

Норми витрат визначають дослідним (на підставі аналізу витрат матеріалів при випуску продукції за певний період) чи розрахунковим (на підставі обліку кожного елемента питомої витрати матеріалу) методом. Перший метод зручний до застосування тільки для підприємств з незмінною номенклатурою, другий дуже повільний у реалізації. Норми витрат лакофарбових покриттів, наприклад, складають за методичними інструкціями щодо нормування цих матеріалів. Норми витрат листових і сортових матеріалів (листова сталь, прокат, профілі тощо), складають за картами розкрою, про які йдеться у подальшому.

### **Контрольні питання**

1. Види технологічного процесу.
2. Технологічна підготовка підприємства.
3. Планування світлотехнічного обладнання.
4. Нормування витрат матеріалів.
5. Виробнича потужність світлотехнічного підприємства.

## **2 ХОЛОДНЕ ШТАМПУВАННЯ. ЗАГОТІВЕЛЬНІ ОПЕРАЦІЇ**

Холодним штампуванням називають технологічний процес одержання деталей чи готових виробів із листового матеріалу шляхом їхньої вирубки або пробиття з вихідної заготовки, а також подальші зміни їх форми внаслідок витягнення чи згинання. За допомогою холодного

штампування виготовляють корпуси й відбивачі СП різних модифікацій, ущільнювачі, затискачі, монтажні плати, кронштейни тощо.

Розрізняють такі види холодного штампування:

- вирубка (із заготовки деталі вирізають виріб заданої форми);
- пробиття (у заготовці здійснюють вирубку отвору необхідної форми);
- згинання (зміна форми деталі чи заготовки в одній чи кількох площинах);
- витягнення (виготовлення порожнистої деталі з листової заготовки);
- карбування (нанесення на поверхню деталі рельєфного рисунка);
- формовка (засіб надання конструкції додаткової жорсткості).

Холодне штампування належить до найрозповсюдженіших методів обробки металів у виробництві СП. У штампувальному виробництві технологічний процес виготовлення деталей визначається інструментом. Після кожного робочого ходу пресу виходить деталь чи заготовка. Тому за умови правильно розробленого процесу, відповідного виготовлення штампів і фіксованого матеріалу стає можливим виготовлення ідентичних деталей необхідної точності, що не залежить від кваліфікації працівника, який обслуговує штамп. Отже, перестає бути необхідним контроль деталей, при цьому достатньо вибіркового чи статистичного контролю для спостереження за станом штампувального інструмента. Холодне штампування надає технологічні можливості одержати з досить тонких матеріалів достатньо жорсткі деталі складної конфігурації. Використання тонких матеріалів має істотне значення для світлотехнічних приладів, бо одночасно зменшується вага приладу та зменшується витрати матеріалу – основного й допоміжного (наприклад, травника). Велике значення за умов масового виробництва має висока продуктивність, що одержується завдяки механізації та автоматизації штампувальних робіт.

За характером деформацій штампування можна розподілити на деформації з місцевим роз'єднанням матеріалу шляхом зрізання та пластичні деформації, через які форма заготовок набуває об'ємних змін.

Методом холодного штампування з прокату чорних металів (наприклад, сталь чи чавун), алюмінію чи латуні виготовляють більшість елементів СП. Операції розрізання широких заготовок на заготовки, з яких безпосередньо виготовляють деталі, називаються заготівельними. При цьому зазвичай використовують рулонний матеріал завтовшки 0,5–1,5 мм

(завширшки до 1,5 м), різання якого здійснюють на дискових ножицях. Схема їх наведена на рисунку 2.1.

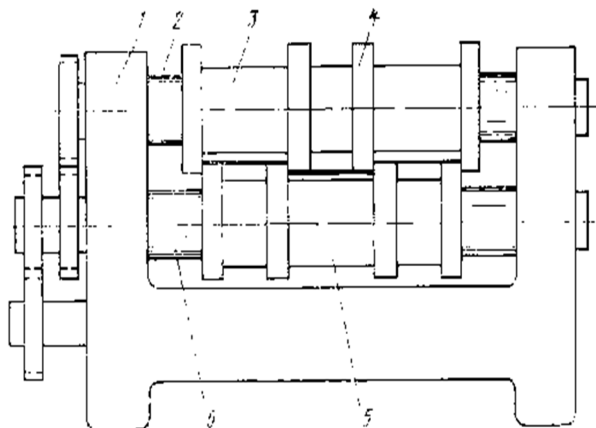


Рисунок 2.1 – Дискові ножиці

Згідно з рисунком 2.1, до станини (1) умонтовано рухомі вали (2). Між дисковими ножами (4) закріплено розпірні втулки (3), довжина яких визначає розмір заготовки. Якщо вказану схему модернізувати гумовими ущільнювачами, розміщеними додатково на втулках, що призначені для строгої фіксації заготовки, то можна одержати досить прецизійний інструмент з точністю зрізу до 0,05 мм. Кутова швидкість дискових ножиць досягає 1,5 м/с, завдяки чому продуктивність їхньої роботи є високою. Верстат із ножицями нерідко оснащений спеціальним пристроєм, що перемотує вже розрізаний матеріал на секційні котушки й запускає у виробництво.

Для розкרוю листових заготовок використовують гільйотинні ножиці. Їх конструкція загальновідома, тому наводити відповідний рисунок немає потреби. Достатньо нагадати, що вони складаються зі станини, на якій вмонтований нижній нерухомий ніж, і верхнього ножа, дещо відхиленого на незначний кут стосовно нижнього (для зменшення зусиль різання). Гільйотинні ножиці обмежені в плані товщини заготовки. Розрахунок максимальної товщини листа заготовки, що є допустимою для різання такими ножицями, здійснюють за емпіричною формулою:

$$S = S_{\max} \cdot \sqrt{\frac{\sigma_{cp}}{\sigma_{cp}}}, \quad (2.1)$$

де  $S$  – максимальна товщина матеріалу, що підлягає різанню, за паспортом гільйотинних ножиць;

$\sigma_{\text{ср}}$  – опір зрізу за паспортом ножиць;

$\sigma'_{\text{ср}}$  – опір зрізу для конкретного матеріалу.

Допустимі відхилення на ширину заготовок (що залежать від товщини листа й ширини заготовки) наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Допуски на ширину смуг заготовок

Товщина матеріалу, мм	Ширина смуги стрічки, мм				
	до 50	50–100	100–200	200–300	>300
<0,5	0,25	0,5	0,75	1	1
0,5–1	0,5	0,75	1	1	1
2	0,75	0,75	1	1,25	1,5
3	1	1	1,25	1,5	1,5
4	1	1,25	1,5	1,5	2
5	1	1,25	1,5	1,5	2

Порівнюючи гільйотинні й дискові ножиці, можна відзначити перевагу дискових (значна продуктивність, вища точність). Проте в них є і недоліки – невисока стійкість ножів і складна первинна наладка.

Розмір і конфігурація заготовок, що відрізаються ножицями, залежать від подальшої технології виготовлення деталі. Зазвичай такі заготовки призначені для подальшого холодного штампування. Перед штампуванням складають карти розкрою матеріалу. При цьому застосовують графічне моделювання – із щільного паперу вирізають макети деталей, намагаючись розташувати їх на смузі матеріалу найраціональніше, мінімізуючи витрати матеріалу. Є кілька правил раціонального розкрою. По-перше, деталі на смузі потрібно розташовувати у такий спосіб, щоб ширина смуги була максимальною, а відстань між деталями мінімальною. По-друге, ширина смуги має бути рівною чи кратною ширині листа, з якого вона вирізається. Іноді, коли форма деталі не зручна для щільного впорядкування (наприклад, сферична), деталі групують на карті розкрою у кілька рядків на смузі. На рисунку 2.2 наведено різні варіанти розкрою матеріалу. Як можна побачити, варіанти а) і б) демонструють вплив складної конфігурації деталі на зменшення ефективності розкрою, варіант в) показує максимальне зменшення витрат матеріалу внаслідок вибору простої форми заготовки.

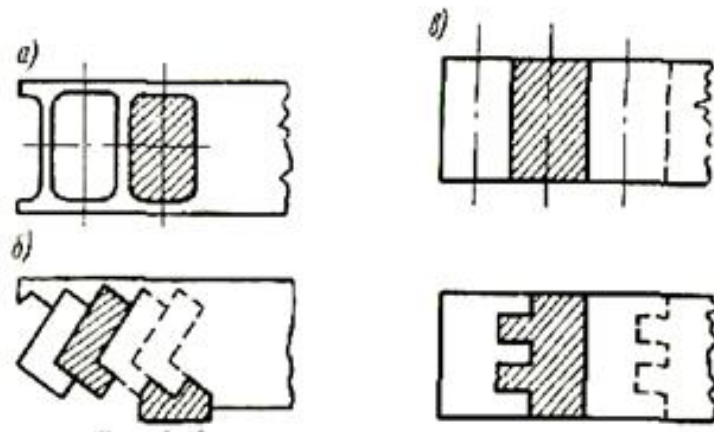


Рисунок 2.2 – Розкрій матеріалу

Для визначення якості розкрою зручно застосовувати так званий коефіцієнт використання матеріалу:

$$F = (m \cdot n) / M, \quad (2.2)$$

де  $m$  – маса деталі, що вирізається;

$n$  – число деталей у смузі;

$M$  – маса смуги.

Ознакою доброго розкрою є близькість вказаного коефіцієнта до одиниці.

### Контрольні питання

1. Види холодного штампування.
2. Переваги холодноштампувальних методів.
3. Заготівельні операції.
4. Переваги й недоліки дискових і гільйотинних ножиць.
5. Обмеження за товщиною матеріалу для дискових ножиць.
6. Карти розкрою.

### 3 ВИРУБКА Й ПРОБИТТЯ

Вирубкою називається вирізання матеріалу за замкнутим контуром на пресах із застосуванням штампів у разі одержання зовнішнього контуру деталі, а пробиття – у разі одержання внутрішнього контуру деталі. Преси,

що застосовуються при вказаних операціях, за способом своєї дії розподіляються на механічні, електромагнітні, пневматичні й гідравлічні, а за режимом роботи – звичайної, подвійної та потрійної дії. Преси звичайної дії призначені для вирубки, пробиття, згинання та неглибокого витягнення. Преси подвійної та потрійної дії оснащені відповідно двома та трьома повзунами замість одного й використовуються при глибоких витяжних та давильних роботах. Головною характеристикою преса є його номінальне зусилля.

Для здійснення операцій вирубки та пробиття використовуються вирубні штампи, різні за класифікацією. Схема одного з варіантів промислового штампа (блочного штампа) наведена на рисунку 3.1.

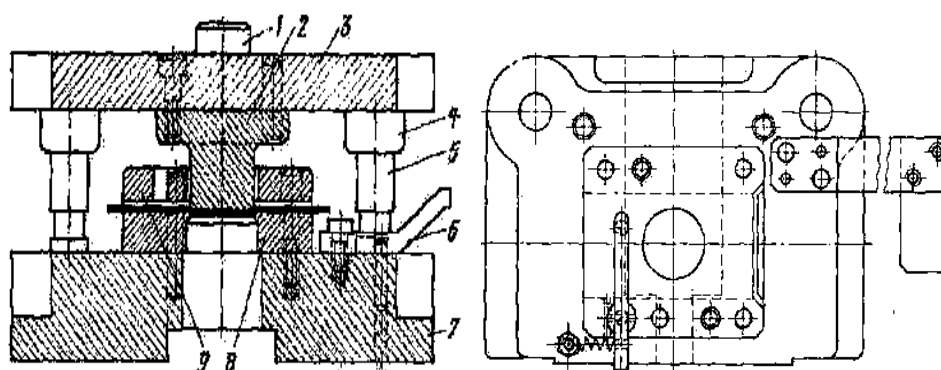


Рисунок 3.1 – Вирубний штамп

Деформуюче зусилля штампа здійснюється пуансоном, який кріпиться за допомогою гвинтами до рухомої плити (3), що утримується на повзуні преса за допомогою фіксатора (1). На нижній плиті (7) міститься матриця (8). Заготовка притискається до матриці за допомогою притискача (9). Для обмеження ступенів свободи ходу пуансона у верхню плиту запресовані втулки (4), що вільно переміщуються вздовж спрямовувальних колонок (5). При ході повзуна преса вниз матеріал протискається за допомогою пуансона у матрицю. Процеси вирубки та пробиття складаються з чотирьох головних моментів (рис. 3.2): пружним стисненням, стисненням із вигинанням і видовженням, появою сколів та відокремлення деталі від оброблюваного матеріалу. Якість зрізання, потрібне зусилля вирубки та стійкість основних елементів (пуансона й матриці) значною мірою залежать від величини зазору між пуансоном і матрицею.

Зусилля, необхідне для вирубкы чи пробиття для деталі будь якої конфігурації можна визначити за формулою:

$$P = L \cdot S \cdot \sigma_{зр}, \quad (3.1)$$

де  $L$  – периметр деталі, що вирубается;

$S$  – товщина деталі;

$\sigma_{зр}$  – опір зрізу.

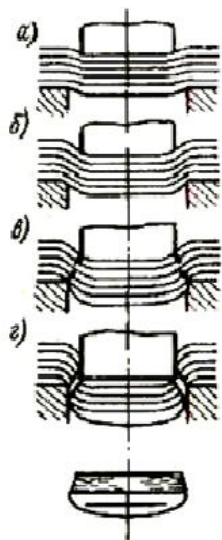


Рисунок 3.2 – Головні етапи вирубкы та пробиття

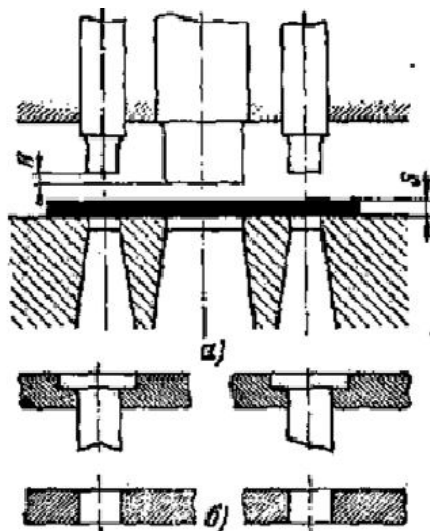


Рисунок 3.3 – Нестандартні пуансони

Видно, що чим м'якіша й тонша заготовка, тим вона потребує менших зусиль для обробкы. Після того, як визначено зусилля вирубкы, можна за емпіричною формулою визначити необхідне зусилля преса:

$$P_{преса} = 1,3 \cdot P. \quad (3.2)$$

Отже, воно береться із «запасом». Це пояснюється необхідністю урахування зусиль на просунення деталі крізь матрицю (фактично, подолання сили тертя).

На практиці трапляються випадки, коли номінальна максимальна потужність існуючих у наявності штампів недостатня для вирубкы чи пробиття. У такому разі доцільно використовувати нестандартні пуансони (рис. 3.3), які дещо зменшують величину розривного зусилля. Щоправда,

на використання таких пуансонів існує обмеження:  $R \geq 5 \cdot S$ , де  $R$  – розмір отвору, що вирізається.

За технологічною ознакою штампи розподіляють на прості (виконується лише одна операція) і комбіновані (декілька операцій). Прикладом простого штампу є зображений на рисунку 3.1. Комбіновані штампи розподіляють на сумісні (або компаундні) і послідовні. Сумісними штампами називають такі, в яких на одній робочій позиції об'єднані різні технологічні операції та за один хід преса виробляється готова деталь чи напівфабрикат. Прикладом може бути штамп, у якому одночасно здійснюється вирубка, витяжка та пробивка деталі.

Розміри деталі визначаються розмірами робочих інструментів штампу й не залежать від точності подання стрічки. Послідовні штампи становлять собою сукупність різних операційних штампів, об'єднаних у спільному блоці, у межах якого заготовка пересувається з позиції на позицію разом зі стрічкою. Відокремлення виробу здійснюється на останній операції. Тут варто зауважити, що штампи вказаного типу є найзручнішими у виготовленні цоколів ламп. Таке пересування заготовок із позиції на позицію вигідно відрізняється, скажімо, від грейферного, яке обмежується кінематикою грейферного механізму. Це питання докладніше розглядається у частині «Технологія виробництва джерел світла». Розміри деталі, вироблені на послідовному штампі, визначаються не тільки станом інструмента, але й точністю подання матеріалу до робочої зони. Тому у разі послідовного штампування деталей рекомендується передбачати у штампах додаткову фіксацію стрічки. Послідовне штампування дає змогу застосовувати високошвидкісні преси (250–400 ходів за хвилину), що забезпечує їй високу продуктивність. Такої переваги позбавлене компаундне штампування (швидкість руху преса не перевищує 70 ходів за хвилину). Уважають, що компаундні штампи гірші, ніж послідовні (крім низької продуктивності, вони мають меншу ударостійкість і завдають зайвих труднощів при поточному й капітальному ремонті). У серійному світлотехнічному виробництві впроваджено УЗШ (універсальні збірні штампи), що за необхідності можуть модернізуватись у штамп будь-якого типу.

За конструктивною ознакою штампи можуть бути відкритого або закритого типу. Відкриті штампи використовують тільки в дослідному виробництві. Вони найпростіші за конструкцією, але це їхня єдина перевага порівняно з іншими. Хід пуансона в таких штампах ніщо не



спрямовує, отже точність вирубки деталей у них мізерна, крім того, робочі елементи швидко псуються. До того ж ці штампи небезпечні для робочого персоналу. Закриті штампи тому й називаються закритими, що рухома плита не має зайвих ступенів свободи. Тут висока точність роботи та знижене спрацювання обладнання. Ці штампи розрізняють на блочні (рух пуансона обмежується спрямовувальними колонками) і пакетні (обмеження площиною, поперечною до матриці).

Штампи розрізняють і за експлуатаційною ознакою. Наприклад, це штампи з ручним і автоматичним поданням матеріалу в робочу зону. Серед автоматизованих штамтів найрозповсюдженішими є штампи з валковим поданням матеріалу (який згорнутий у рулон). При робочому ході пуансона (вниз) валки (дві пари зверху листа заготовки та дві пари знизу) не обертаються й працюють на фіксацію заготовки. При зворотному ході спрацьовує система передач, і валки починають обертатися. Їхній рух просуває рулонний матеріал на певну (відрегульовану) відстань. Ця схема набула особливого застосування під час штампування деталей із металічної стрічки. Валкове штампування також зручне у плані нанесення мастила на робочі елементи преса (що зменшує їх спрацювання). Для цього достатньо пропускати стрічку через посудину з мастилом (нижні валки мають бути занурені в мастило, а верхні – ні). Під час перемотування рулону мастило постійно наноситься на матрицю з пуансоном.

Існує таке поняття, як стійкість штампа. Розрізняють повну стійкість штампа (кількість деталей, що виробляються на штампі до його повного спрацювання) і стійкість між двома переточуваннями робочих частин. Стійкість штампа зумовлюється технологічними та конструктивними чинниками. Технологічні чинники – це клас точності штампа (робочі частини працюють у раціональному режимі), умови установки заготовки на штампі й чистота її поверхні, своєчасність профілактичного ремонту. Конструктивні чинники – це власне конструктивні недоліки та переваги штампа (наприклад, спрямовуючі колонки істотно впливають на підвищення стійкості штампа) і матеріал, із якого виготовлені робочі елементи. Наприклад, леговані сталі (тобто сталі, в які введено домішки, що обмежують рухливість дислокацій у разі навантаження матеріалу й через це зміцнюють матеріал) є добрим матеріалом для виготовлення елементів штампа. Зміна стійкості штампа залежно від товщини оброблюваного матеріалу наведена в таблиці 3.1.

Стійкість твердосплавних штампів у 50 разів перевищує стійкість легованих штампів і сягає мільйонів деталей до повного спрацювання. Однак такі штампи доцільно впроваджувати тільки у масовому виробництві СП. Річ у тому, що на їх виготовлення потрібно багато часу й коштів для придбання алмазно-заточного обладнання. Тому в одиничному та серійному виробництві СП дешевшою є налагодження та експлуатація штампів із легованих сталей.

Таблиця 3.1 – Повна стійкість штампів

Тип штампа	Товщина матеріалу, мм	Стійкість	
		Вуглецева сталь марок У8А, У10А	Легована сталь марок Х12М, Х12Ф1
Вирубний	0,2–0,5	800–1 000	1 200–1 500
	1,5	500–650	650–900
	3	350–500	500–650
	6	250–400	450–550
Пробивний	<4	250–350	450–650

### Контрольні питання

1. Вирубка та пробиття. Обладнання для виконання цих операцій.
2. Класифікація штампів, їхні різновиди.
3. Стійкість обладнання.

### 4 ЗГИНАННЯ Й ВИТЯГНЕННЯ

Ці операції є найрозповсюдженішими серед формозмінювальних операцій, що засновані на пластичному деформуванні матеріалу.

Під згинанням розуміють процес повороту частини заготовки відносно лінії згинання в одній чи кількох площинах (рис. 4.1).

Для згинання заготовок на певний кут потрібно враховувати пружну складову деформації, на яку зменшиться загальна деформація заготовки. Цей складник залежить від сорту та стану матеріалу, що деформується, а також від відношення  $r/t$ , де  $r$  – радіус згинання,  $t$  – товщина матеріалу. Під

час виготовлення деталей згинанням виконується розрахунок розмірів вихідної заготовки. Її довжина має дорівнювати довжині нейтрального прошарку  $N$  зігнутої деталі.

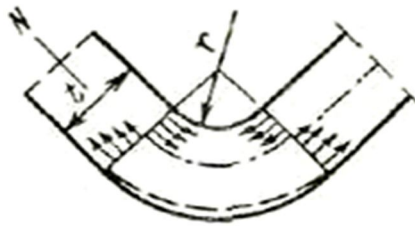


Рисунок 4.1 – Схема процесу згинання

Шляхом згинання виготовляють такі елементи СП, як різноманітні кронштейни, затвори, корпуси СП з ЛЛ тощо. У виробничому масштабі згинання автоматизоване й виконується на прес-автоматах. На рисунку 4.2 зображено послідовність виготовлення деталі непростої форми.

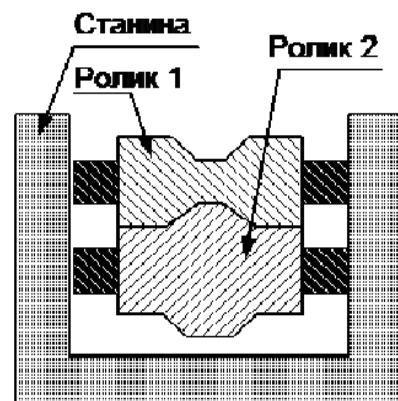
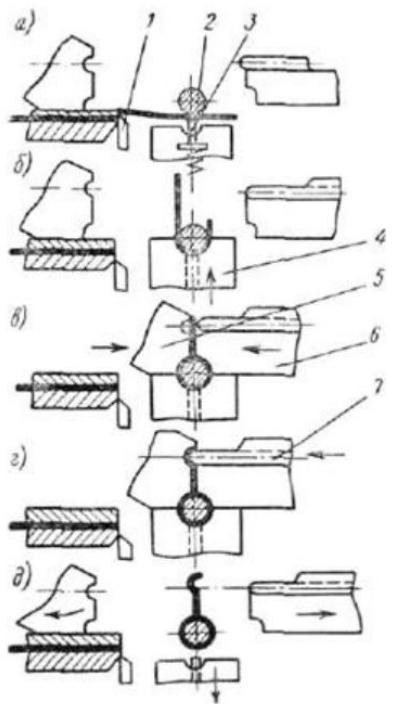


Рисунок 4.2 – Автоматизоване згинання      Рисунок 4.3 – Роликовий стан

Як видно з рисунка 4.2, головні етапи згинання деталі такі:

- а) виконується фіксація заготовки за допомогою притискувача (3) до нерухокої оправки (2) та її відріз ножем (1);
- б) перший згин заготовки рухомим повзуном (4);

- в) підведення інструментів (5) і (6);
- г) формування канавки пуансоном (7);
- д) відведення робочих елементів і одержання готової деталі.

Для виготовлення елементів СП коробчастої форми (корпуси, монтажні плати тощо) зручно використовувати роликові стани (рис. 4.3). Для їх заправки застосовується рулонний матеріал завтовшки до 2,5 і завширшки до 250 мм. З таких станів зручно збирати поточну лінію, надійність якої є високою.

За допомогою витяжки з плоскої заготовки виготовляють порожнисті деталі замкнутого контуру (рис. 4.4).

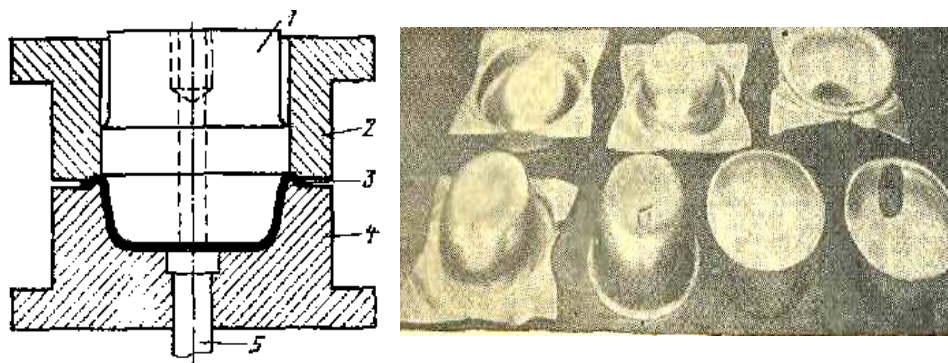


Рисунок 4.4 – Схема витяжки й деталі, отримані за допомогою витяжки

Плоска заготовка (3) притискується за допомогою притискного кільця (2) до матриці (4). Надання заготовці форми матриці здійснюється пуансоном (1). Виштовхувач (5) звільняє готову деталь. Зусилля притискного кільця має регулюватись так, щоб не було ковзання заготовки, що призведе до згорток на деталі (надто слабкий притиск) і не було розриву матеріалу заготовки (надто жорсткий притиск). Якщо ввести позначення:  $d$  – максимальний розмір (діаметр) заготовки, а  $h$  – глибина її пластичного деформування пуансоном, то відношення  $d/h$  визначатиме ступінь витяжки. При  $d/h < 0,5$  витяжна називається глибокою. Найзручнішою реалізацією витяжки є виготовлення деталей простої форми – порожнистих циліндрів (корпуси СП), пустотілих напівсферичних деталей (відбивачі СП). Якщо форма деталі складна й технологічний процес витяжки не є тривіальним, його спрощують, тобто розділяють на окремі елементарні складники, унаслідок чого витяжка стає поетапною. У такий спосіб виготовляють і прості деталі з великою глибиною витяжки. Останнє потрібно пояснити окремо. Річ у тому, що якщо глибоку витяжку

здійснювати за один підхід, метал заготовки, з великою імовірністю, розірветься. Деформація, що виникає у разі активного навантаження матеріалу, є функцією часу. Відомо, що границя плину для одного й того самого матеріалу може збільшуватись чи зменшуватись залежно від швидкості зовнішнього навантаження. Усе це нагадує про релаксаційні процеси в твердому тілі, що тривають одночасно з його деформуванням. Не вдаючись у нюанси дислокаційної фізики, відзначимо, що збільшення кількості етапів витяжки надає матеріалу можливість «скинути» значнішу частину внутрішнього напруження, що сприятиме збереженню його міцності. Аналогічного ефекту можна досягнути й при двох етапах витяжки, але з високотемпературним відпалом матеріалу в проміжку між навантаженням. Вважається, що для якісного відпалу необхідне нагрівання матеріалу до температури  $T \approx 0,8T_{пл}$  де  $T_{пл}$  – температура плавлення матеріалу й уповільнене охолодження (темп зниження температури приблизно 10–15 °С/год). Такий відпал бажано виконувати у вакуумній печі (для запобігання окисленню) або у звичайній печі з подальшим травленням матеріалу – до зникнення окалини.

Іноді є необхідність у виготовленні деталей, поперечний розмір (максимальний) яких менше горловини (зрізана куля). Звичайний пуансон тут не підійде та його роль має виконувати, образно кажучи, «еластичний» пуансон, наприклад, рідина, що подається під значним тиском. Таку витяжку називають гідравлічною.

Повертаючись до звичайної витяжки, варто відзначити, що працездатність пари «пуансон – матриця» зростає за умови відповідного догляду за ними, зокрема у разі їх періодичному змащуванні. Для витяжних робіт застосовують такі мастила – графіт, тальк чи крейду.

### **Контрольні питання**

1. Згинання, його особливості.
2. Промислові схеми згинання.
3. Витяжка, критерій її глибини, гідравлічна витяжка.
4. Чому є необхідним відпалення деталей?

## 5 ДАВИЛЬНІ РОБОТИ. МЕХАНІЧНА ОБРОБКА

В одиничному та серійному світлотехнічному виробництві часто виникає потреба у виготовленні деталей осесиметричної форми (наприклад, відбивачі СП промислового освітлення, прожектори). Крім витяжного обладнання, для такої роботи підходять і давильні стани. Схема їх наведена на рисунку 5.1.

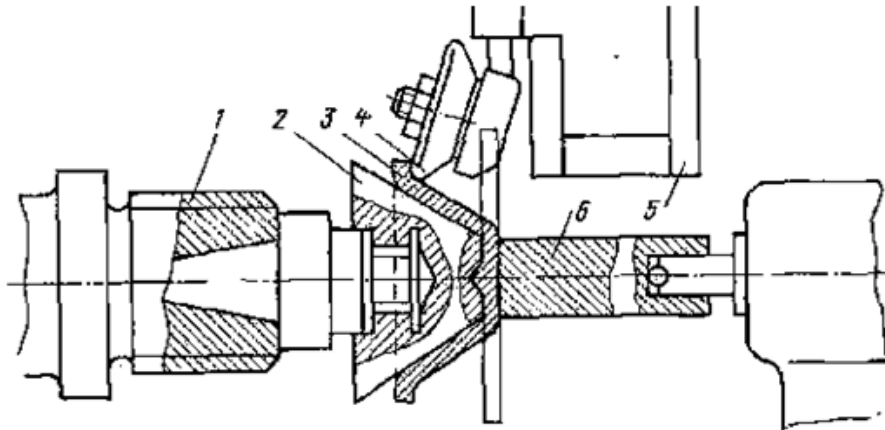


Рисунок 5.1 – Стан із давильною оправкою

На шпиндель (1) насаджено давильну оправку (2), профіль якої відповідає необхідній формі майбутньої деталі. Плоска кругла заготовка (3), отримана на вирубному стані, притискується до оправки за допомогою притискного гвинта (6). Під час обертання шпинделя давильний ролик (4), переміщення якого у площі креслення керується приводом (5), заготовка згинається, набуваючи форми оправки. Ця схема може бути оснащена додатковим (4) роликом, функція якого полягає в обрізці верхньої кромки заготовки.

Оправка виготовляється з дерева при експериментальному виробництві, або з металів (алюміній, сталь) чи сплавів (чавун) при поточному виробництві.

У ротаційному способі виготовлення деталей СП осесиметричної форми, який широко використовується у світлотехнічному виробництві, принцип роботи той самий, із тією тільки відмінністю, що обертається не оправка навколо заготовки, а навпаки.

Якщо форма заготовки ускладнена, технологічний процес розподіляється на кілька простих операцій, що називаються переходами (на одному й тому ж самому давильному стані використовують різні

оправки). Кількість таких переходів для деталей різної форми при різній глибині давильних робіт наведена у таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Кількість переходів для давильних робіт

h/d	Форма деталі		
	Циліндрична	Сферична	Конічна
< 1	1	1	1
1,1–1,5	1–2	1	1
1,6–2,5	2–3	1–2	1–2
2,6–3,5	3–4	2–3	2–3
3,6–4,5	4–5	3	3–4
4,6–6,0	5–6	4	4

Видно, що при давильних роботах, як і при витяжних виконується один і той самий критерій глибини: якщо  $h/d > 2$  ( $d/h < 0,5$ ) тиснення є глибоким (більше одного переходу).

Деталь, одержана на давильному стані, потребує подальшої обробки.

Річ у тому, що на її зовнішній поверхні залишаються концентричні сліди від давильного ролика. Їх можна позбутися під час обробки деталі шабером (за шабер – це пластинка, загострена з одного кінця, що використовується для скобління металів), або наждаковим папером.

Механічна обробка є процесом руйнації матеріалу заготовки, наслідком якого є готова деталь. Найрозповсюдженішим інструментом при цьому є різець (рис. 5.2).

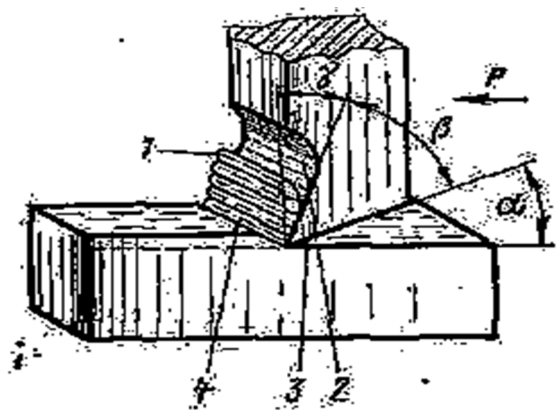


Рисунок 5.2 – Різець

Робоча частина різця (1) складається з передньої поверхні (2) (якою сходиться стружка) задньої поверхні (3) і ріжучої кромки (4) (лінія перетину двох вказаних поверхонь).

Результивна сила, під дією якої знімається стружка, визначається як  $F = P/\sin \beta$ , де  $P$  – сила, прикладена до різця.

Різці мають бути виконані з красностійкого матеріалу, тобто такого, що витримує теплове навантаження. Це навантаження є наявним унаслідок того, що 99,5 % механічної роботи йде на виділення тепла, і тільки 0,5 % переходить у потенційну енергію ґратки деформівного матеріалу. Виділене тепло частково (60 %) уноситься стружкою, частково поглинається деталлю й інструментом. Отже, температура на різці може досягати близько 1 500 °С. Пам'ятаючи про те, що високотемпературна деформація в будь-якому матеріалі починається від температур, близьких до  $0,5 T_{пл}$  (звільнення дислокацій від домішкової атмосфери Котрелла та їх активне пересування), потрібно обирати тугоплавкий матеріал для різця.

Розповсюдженими механічними операціями у світлотехнічному виробництві є токарні, фрезерні та свердлильні. Токарні застосовують для обробки деталей з формою тіла обертання (вали, втулки, диски). Свердлильні операції використовуються для обробки корпусних деталей СП і забезпечують 6 клас шорсткості ( $Ra = 2,5$ ) поверхні й точність обробки за діаметром 0,05–0,08 мм. Різновидами свердлильних операцій є розсвердлювання, розгортання, зенкерування та цекування. Фрезерні операції застосовуються для проточування деталей СП. На світлотехнічних підприємствах широко використовуються високопродуктивні фрезерні верстати з ЧПУ (числовим програмним управлінням). У таких верстатів уся інформація, необхідна для виконання обробки деталі задається у числовому вигляді та вводиться у керувальний орган.

Для економії часу, на промислових станах ці операції часто реалізовані у паралельному виконанні (рис. 5.3, а). Того самого ефекту можна досягти й шляхом зменшення розрахункової довжини оброблювальної заготовки (рис. 5.3, б).



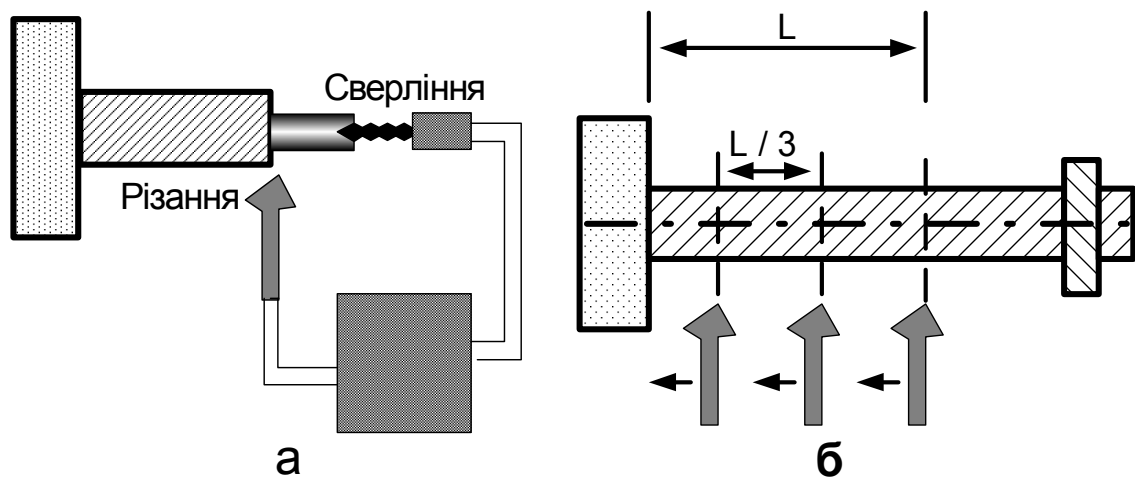


Рисунок 5.3 – Схеми підвищення ефективності механічної обробки

Завершуючи розгляд грубих методів механічної обробки, звернемо увагу на електрофізичний спосіб різання. Цей метод часто використовується у допоміжному світлотехнічному виробництві – для виготовлення штампів і ливарних форм. Схематично цей метод наведено на рисунку 5.4.

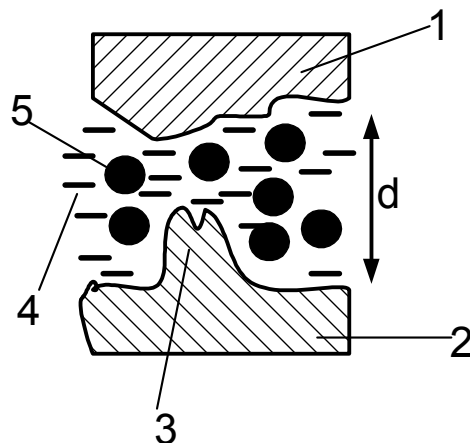


Рисунок 5.4 – Електрофізичний спосіб різання

Сутність цього методу полягає в такому. При підведенні напруги до електродів, одним із яких є інструмент (форма) (2), а другим – власне деталь (1), у міжелектродному проміжку середньою шириною  $d$  виникає електричне поле. Це поле є неоднорідним, воно збільшується на ділянках із меншою міжелектродною відстанню (тобто там, де є виступи на деталі чи формі). При певному значенні напруження та ширині  $d$  величина цього поля стає достатньою для максимального прискорення електронів, що емітуються металом (катодом). Якщо кінетична енергія вільних носіїв струму досягає рівня енергії іонізації атомів робочої рідини (4), яка розділяє електроди, виникає дуговий розряд. Як наслідок цих процесів,

стрімко зростає кількість вільних носіїв заряду, тобто збільшується струм. За законом Джоуля – Ленца ( $Q \sim I^2$ , де  $Q$ ,  $I$  – кількість тепла, що виділяється на провіднику, і струм відповідно), у розрядній області швидко зростає температура. Через це температура поблизу мікрровиступів (3) заготовки досягає вражаючих значень ( $5 \cdot 10^3$  °C –  $4 \cdot 10^4$  °C) і перебільшує температуру плавлення будь-якого металу чи сплаву. Розряд триває, досі є причини, що його підтримують (потужне електричне поле поблизу мікрровиступів). Після виплавлення «зайвого» матеріалу (5) заготовки в цій області розряд «перекидається» на інші «зайві» ділянки. Тобто електрод – форма фактично здійснює самоконтроль процесів розрядної обробки матеріалу. Міжелектродна відстань у цій схемі становить сотні мікрон, що дає можливість користування порівняно низькою напругою (до 250 В). Перевірено, що використання повітря замість робочої рідини (зазвичай керосину, солярки, дизпалива) не є доцільним через завищену електричну міцність повітря.

Варто окремо обговорити як переваги, так і недоліки описаного методу.

Переваги:

1) можливість обробки матеріалу будь-якої міцності чи в'язкості без створення спеціального інструменту;

2) можливість копіювання деталлю форми інструмента при простому поступальному рухові останнього (що досягається незначними механічними зусиллями);

3) можливість одержання в деталі складних внутрішніх отворів, які не можна отримати звичайними способами механічної обробки;

4) можливість автоматизації цієї схеми.

Недоліки:

1) унеможливлення обробки матеріалів, що не проводять струм;

2) значна тривалість процесу;

3) необхідність постійного контролю та заміни робочої рідини, що швидко забруднюється викидами виплавленого матеріалу.

### **Контрольні питання**

1. Робота стану з давильною оправкою.
2. Операції механічної обробки матеріалу.
3. Електрофізичний спосіб різання.

## **6 ШЛІФУВАННЯ ТА ПОЛІРУВАННЯ ПОВЕРХОНЬ. МЕТАЛУРГІЙНЕ ВИРОБНИЦТВО**

Ці операції є операціями тонкої високопрецизійної обробки деталей. Необхідність у них виникає у зв'язку з потребою у точних розмірах, плоскопаралельності та відповідному зовнішньому вигляді деталей. Шліфування забезпечує 9–11 класи точності ( $Ra = 0,2-0,05$ ), а полірування 11–13 класи точності ( $Ra = 0,01-0,08$ ). Дані операції пов'язані із впливом на оброблювальний матеріал абразивного інструменту, в основу якого покладено використання в абразивних пастах (для полірування) та шліфувальних кругах дрібнодисперсних зерен надтвердого матеріалу різної форми.

При шліфуванні на кругах поверхня деталей покривається безліччю порізів однакової глибини, але різної орієнтації (що пояснюється довільним орієнтуванням рівновеликих зерен абразиву в крузі). Ці порізи зливаються у ціле й поверхня набуває гладкості. З часом зерна стираються, але на їхнє місце виходять нові з глибини круга. Круги маркуються за ознаками, що стосуються абразиву (матеріал, величина та кількість зерен, їхня геометрія та міцність), та, власне, круга (рекомендована кутова швидкість його обертання).

Абразивні матеріали розподіляють на природні (алмаз, корунд, оксид хрому) і штучні (синтетичний алмаз, електрокорунд, карбід кремнію). Критерієм твердості абразиву є шкала Мооса, за якою алмаз займає перше місце (10 балів). Жорсткі (великі тверді зерна) круги застосовуються для грубого шліфування – так званої обдирки, м'які (невеликі зерна з більш механічно податливого матеріалу) – для чистової обробки. Абразивні пасти використовуються для тонших робіт і мають загальну назву пасти ГОИ (рос. – «Государственный оптический институт»). Абразивний порошок у пасті замішаний на кислоті (зазвичай, олеїновій чи стеариновій). Кислота необхідна, по-перше, для сполучення окремих зерен, і, по-друге, для утворення на оброблюваній поверхні плівки окислу, яка легко видаляється зернами. Унаслідок обробки абразивною пастою поверхня стає «дзеркальною». Така обробка використовується у цехах, відповідальних за виготовлення відбивачів СП. Коефіцієнт відбиття поверхні після такої обробки є високим, і становить 0,54–0,95. Щоправда, така поверхня швидко окислюється і тьмяніє. Для запобігання цим ефектам її зазвичай захищають лаковим чи плівковим додатковим

покриттям. Шліфування й полірування невеликих деталей СП здійснюють в обертальних барабанах, у які деталі завантажують разом з абразивним матеріалом – дробленими кругами, сталевими кульками та обрізками шкіри. Для пришвидшення перебігу процесів механічної обробки в барабани заливають гас чи бензин.

Завершуючи розгляд операцій механічної обробки, відзначимо, що інформація про шорсткість поверхонь, що забезпечується під час їх обробки різним інструментом і обладнанням.

Металургійні процеси у світлотехнічному виробництві є процесами приготування розплаву необхідної консистенції та його заливки у спеціальні форми. Ливарні процеси використовують у тих випадках, коли інші способи виготовлення металічних деталей не є придатними чи недоцільними.

Прикладом литих деталей є корпуси промислових світильників типу ЖСП, ГСП і РСП.

Технологічний процес лиття починається з приготування сплаву. Сукупність усіх наявних хімічних компонент, необхідних для набуття розплавом потрібних експлуатаційних властивостей, називається шихтою. У шихту вводять не тільки хімічно чисті компоненти, а й попередньо сплавлені – так звані лігатури. Розплав, що містить значний відсоток лігатур (~20 %), потребує меншого нагріву й через це з нього менше випаровується легколетких компонент. Узагалі, такі компоненти рекомендовано додавати в шихту в той момент, коли інші, тугоплавкіші матеріали, вже розплавилась. У світлотехнічному виробництві найпоширенішими сплавами є алюміній-магній (АЛ 8) і алюміній – кремній (АЛ 2). При роботі з такими сплавами є певні особливості. Нагрітий алюміній окислюється ще в процесі варіння, тому розплав треба готувати під захисною плівкою – флюсом. Прикладом останнього є суміш 45 % NaCl + 55 % KCl. Вона, по-перше, відокремлює (фізично) розплав від повітря, і, по-друге, вилучає з розплаву існуючі окисли (хімічно). На відміну від сплавів АЛ8 і АЛ2, існують інші АЛ4В і АЛ9В тощо. Вони відрізняються тим, що виготовлені з відходів виробництва (відходи ливарних, механічних і штампувальних цехів). У разі вживання таких матеріалів звертають увагу на їхню чистоту. Великі фрагменти вторинних матеріалів практично не відчищають від бруду, менші – переплавляють, висушують та брикетують перед використанням. Крім алюмінієвих сплавів, у світлотехнічному виробництві є розповсюдженими та сплави на

основі міді. Їх використовують для виробництва арматури декоративних світильників (люстр) та елементів морських СП (які виготовляють з матеріалів, що мають істотний супротив корозійному впливу агресивного середовища – морського повітря).

Для виплавляння розплаву використовують три основних види плавильних печей: тигельна індукційна, тигельна опору та тигельна газополум'яна (рис. 6.1).

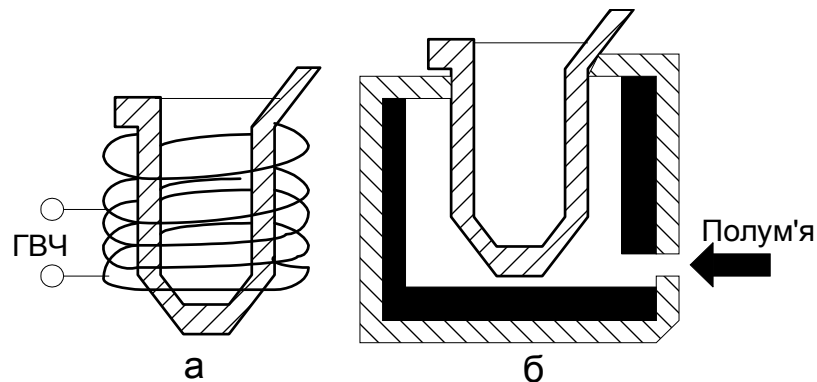


Рисунок 6.1 – Різні типи плавильних печей

Тигельна індукційна піч (рис. 6.1, а) працює у такий спосіб. По її обмотці пропускають значний струм, унаслідок чого виділяється багато тепла, яке розплавляє шихту. Вихрові струми, що виникають при цьому, спричиняють якісне перемішування розплаву. Тигельна газополум'яна (рис. 6.1, б) працює на згорянні газу. Найефективніша є індукційна піч. По-перше, розплав виходить монолітним (завдяки постійному перемішуванню), по-друге, температуру розплаву легко контролювати, пропускаючи по обмотці воду.

Тиглі, тобто ковші для варки розплаву, мають бути жаростійкими, і зазвичай виробляються з чавуну або кремнію. Використовують також чавунні ковші з графітовим покриттям. Найвідомішим мастилом на основі графіту є аквадаг, який широко застосовується в електроламповому виробництві під час волочіння вольфрамових і молібденових дротів. Перевагою аквадаги є стійкість до високих температур (вода з нього випаровується, а графітові зерна залишаються). У ливарному виробництві розповсюджені разові та сталі форми. Необхідність у тій чи іншій формі виникає під час конкретного промислового завдання. Так, при експериментальному виробництві зручніші разові, при поточному – сталі.

## Контрольні питання

1. Сутність шліфувальних та полірувальних операцій.
2. Етапи ливарного процесу.
3. Типи печей у ливарному виробництві.
4. Що таке шихта, як її приготувати?

## 7 ЛИТТЯ В РАЗОВІ ТА СТАЛІ ФОРМИ

Разові форми розподіляють на земляні й оболонкові. Процеси лиття у земляну форму зручно з'ясувати з рисунка 7.1.

Розплав заливають через канал (1) у порожнину (2) у формі (3). Сама форма (3) становить собою формувальну суміш, запресовану в опоці (4), у якій зроблено відбиток, форма якого задає форму порожнині й майбутній деталі. Головними складниками формувальної суміші є пісок і глина, в які додаються допоміжні речовини, що забезпечують належне сполучення компонент суміші. Ущільнення формувальної суміші зазвичай здійснюють уручну, хоча трапляються окремі випадки пневматичного ущільнення. Тривалість охолодження деталей у формах визначається товщиною форми та теплофізичними характеристиками розплаву та формовочної суміші. Деталі з бронзи вилучають з форми при температурах 300–500 °С, чавуну – 700–800 °С, алюмінію – 200–300 °С. На одержаних деталях є так звані ливники, наявність яких зумовлена тим, що канал 1 є своєрідним продовженням порожнини (2). Ці ливники треба обрубати, а місце обрубки зашліфувати, унаслідок чого технологічний процес дещо ускладнюється. Заготовки, одержані шляхом лиття у земляні форми найзручніше очищувати піскоструминною обробкою. При цьому висвітлюються поверхневі дефекти литва. Контроль деталей, одержаних у ливарний спосіб здійснюється візуально, або, за необхідності, за допомогою методів рентгенівської та ультразвукової дефектоскопії.

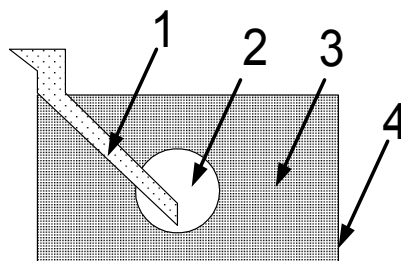


Рисунок 7.1 – Земляна форма

На відміну від земляної форми, яку зручно використовувати для одержання суцільних деталей, оболонкові форми призначені для одержання деталей складнішої форми – з порожнинами. Оболонкові форми виготовляються з суміші дрібнозернистого піску та синтетичної термореактивної смоли. Сполучення цих компонент здійснюється гарячим або холодним способом. У першому випадку нагрівають пісок ( $T \sim 100 \text{ }^\circ\text{C}$ ) і насипають на нього порошкоподібну смолу. Нагріваючись, смола склеює пісок. У другому випадку нагрівають смолу ( $T \sim 100 \text{ }^\circ\text{C}$ ) і, розчиняючи її спиртом чи ацетоном, змішують із піском. Формувальну суміш наносять на модель (форма, яка копіюється) зазвичай за допомогою пульверизатора. Затверділа й відпалена оболонкова форма є зовнішньою границею деталі. Внутрішньою границею часто є циліндричний стрижень, виготовлений із того самого матеріалу, що й форма. Розплав заливають у простір між стрижнем і оболонкою. Охолодження розплаву здійснюється шляхом відведення тепла через оболонку. Підвищення температури на оболонці сприяє випаровуванню смоли, внаслідок чого міцність оболонки знижується. Після повного охолодження деталі оболонкову форму легко зруйнувати.

Наведені вище ливарні методи є низькотехнологічними та в поточному світлотехнічному виробництві практично не використовуються. Сфера їх застосування обмежується допоміжним виробництвом.

Найрозповсюдженішими методами лиття у багаторазові (сталі) форми є виливання у кокіль і лиття під тиском.

Кокілем називають сталу форму (металічну), що заповнюється розплавом під дією його власної ваги. Форма вважається напівкокільною, коли деякі з її елементів виготовлені не з металу. Загальний вигляд кокілю наведено на рисунку 7.2.

Як можна бачити, форма кокілю визначає конфігурацію деталі. У цьому разі (рис. 7.2) виливається пустотілий циліндр з отворами по боках. Деталі подібної форми є основою при виготовленні корпусів низку світильників (РСП, ГСП, ЖСП тощо). Кокіль є роз'ємний. Половинки корпусу кокілю (1) і (2) можуть щільно з'єднуватись одна з одною. Металічний стрижень (4), форма якого визначає геометрію порожнини, є також роз'ємним (для зручності вилучення деталі з форми). Середню частину (5) стрижня називають клином. Призначення стрижнів (3) полягає у формуванні в деталі отворів необхідної форми й фіксації внутрішнього стрижня (4).

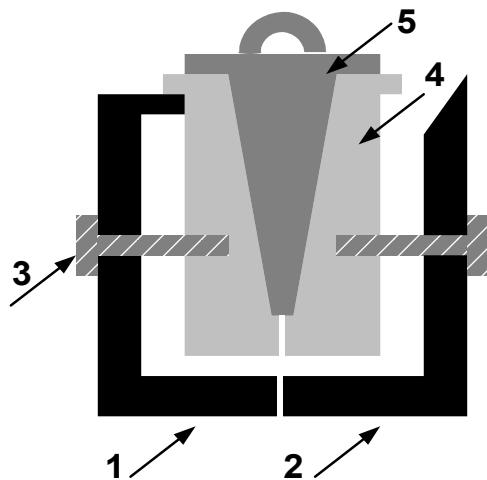


Рисунок 7.2 – Кокіль

Форма кокілю має бути простою та урахувати подальшу обробку деталі (якщо така планується, розміри кокілю, а отже, і литва, збільшують). Для контролю температури розплаву для кокілю може бути передбачена індукційна чи газополум'яна піч, а також змієвики для циркуляції води.

Лиття під тиском у світлотехнічному виробництві досить широко розповсюджене. Сутність цього методу добре продемонстровано на рисунку 7.3.

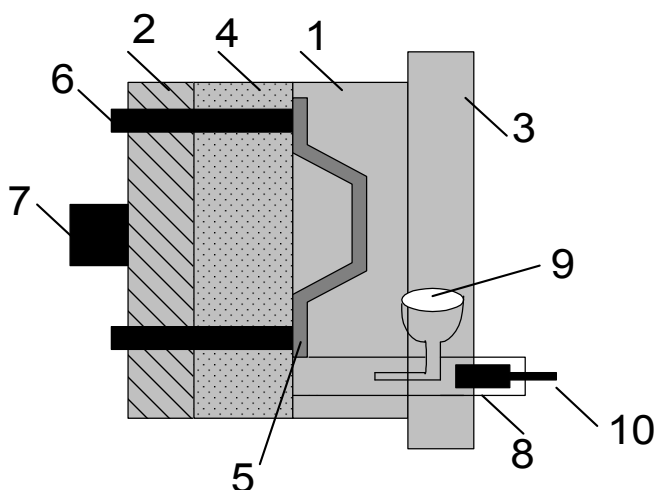


Рисунок 7.3 – Ливарна машина з горизонтальною камерою пресування

Прес-форма машини з холодною (без нагрівання) горизонтальною камерою пресування складається з нерухомої (1) і рухомої (4) напівформ, що прикріплені відповідно до нерухомої (3) і рухомої (2) плит. Порожнина (5) призначена для формоутворення литва. Для вилучення литва з форми передбачено два виштовхувачі (6). Ливарна машина діє у



такий спосіб. Запорний механізм (7) притискує рухому півформу до нерухомої, після чого у камеру пресування (8) через чашку (9) заливають дозу розплаву. Поршень (10) перекриває заливальний отвір і створює тиск, завдяки якому форма (5) заповнюється розплавом. Після охолодження розплаву півформи розмикають і вилучають деталь із форми (5). Перед тим, як відливати іншу деталь, прес-форму обдувають стиснутим повітрям і змашують.

Іноді використовують ливарну машину з холодною вертикальною камерою пресування. Через те, що ця машина відрізняється від наведеної на рисунку 7.3 тільки камерою та поршневою системою, на рисунку 7.4 зображено лише ці відміни.

Видно, що в цій конструкції немає чашки для розплаву та присутній другий поршень. Уважається, що продуктивність процесу лиття в такий спосіб нижче на 20 %, ніж той, що наведено на рисунку 7.3.

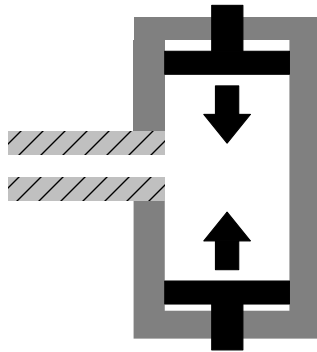


Рисунок 7.4 – Холодна вертикальна камера пресування

В обох конструкціях є спільний недолік – неможливість контролю за температурою розплаву. Урахування цього недоліку призвело до появи нової конструкції ливарної машини – з гарячою вертикальною камерою пресування.

Розплав (1) у баці (3) нагрівається за допомогою печі (3). У стаціонарному положенні поршень (4) перекриває отвори (5), через які розплав може потрапити в прес-камеру. Якщо його підняти, розплав почне заповнювати канал камери. При зворотному русі поршня в канал нагнітається стиснуте повітря, яке спрямовує розплав у робочу форму. На рисунку пронумеровані не всі елементи машини, оскільки на більшості з них вже було акцентовано увагу раніше (рис. 7.3). Перед початком лиття форму прогрівають до температур ( $T \sim 150 \text{ }^\circ\text{C}$ ). Температура розплаву має перевищувати температуру кристалізації литва на 15–20  $^\circ\text{C}$ .

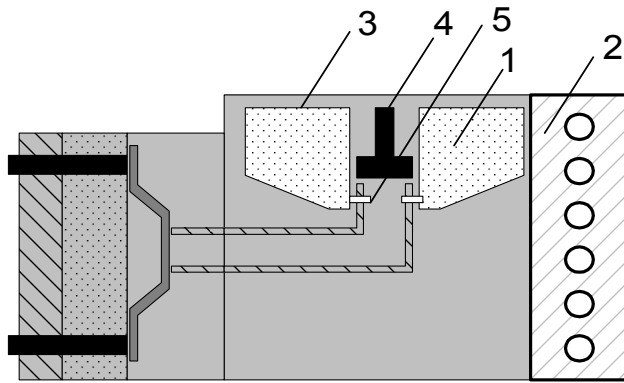


Рисунок 7.5 – Ливарна машина з гарячою вертикальною камерою пресування

Аналізуючи методи лиття під тиском, відзначимо такі їхні недоліки й переваги.

Недоліки:

- 1) висока вартість обладнання;
- 2) обмеження розмірів і маси литва, зумовлене потужністю ливарної машини;
- 3) проблематичність одержання деталей із внутрішніми порожнинами, пов'язана з незручністю використання стрижнів у формах;
- 4) поява в литві шпаруватості внаслідок використання стиснутого повітря;
- 5) температурні обмеження.

Переваги:

- 1) висока точність розмірів і висока чистота поверхні литва;
- 2) можливість одержання тонкостінного литва складної конфігурації;
- 3) можливість автоматизації процесу;
- 4) можливість використання сплавів зі зниженою рідкоплинністю (для методів лиття під тиском).

### Контрольні питання

1. Коли застосовують лиття в земляні й оболонкові форми? У чому полягає відміна цих методів?
2. Кокільне лиття.
3. Різновиди лиття під тиском.
4. Для чого прогривають форму ливарної машини?
5. Недоліки й переваги лиття під тиском.

## **8 СПЕЦИФІЧНІ ПРОЦЕСИ ЛИТТЯ. ВИРОБНИЦТВО ДЕТАЛЕЙ СВІТЛОВИХ ПРИЛАДІВ З ПОЛІМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ**

Для певних модифікацій СП розглянуті вище процеси лиття не завжди придатні. Тут використовуються специфічні процеси ливарного виробництва. По-перше, це штампування рідкого металу. Цей процес поєднує в собі елементи лиття під тиском і об'ємного штампування. За цим методом, на залитий у бак розплав діє зусилля пуансона, що створює умови для об'ємно-стиснутого стану металу та його спрямованої кристалізації. Як пуансон використовується металічний стрижень із циліндричною порожниною, в якому розміщено суцільний кооксиальний циліндр меншого діаметра. Рідкий метал витісняється у простір між циліндрами, унаслідок чого з'являється заготовка для деталі СП з покращеними експлуатаційними характеристиками. У такий спосіб виготовляють корпуси шахтних СП і світильників для підводних човнів (тобто передусім чергу там, де є необхідною міцність конструкції).

Іншим різновидом лиття під тиском є продування розплаву через щілину заданої конфігурації – філь'єра. Цей метод буде наведений нижче при описанні процесів виготовлення елементів СП із полімерних матеріалів. У цьому разі потрібно випадку треба тільки відзначити високий темп виробництва (50 м заготовки за хвилину) і його незалежність від складності виробу. Зазначеним методом зручно виготовляти металічні корпуси для люмінесцентних СП.

Починаючи розгляд процесів вироблення елементів СП із полімерних матеріалів, тобто пластмас, звернемо увагу на загальні особливості останніх. Порівняно з металічними матеріалами, у пластмас є низка істотних переваг:

1. Деталі з пластмас мають тверду та гладку поверхню, не потребують додаткової механічної обробки.
2. Пластмаси не потребують фарбування, оскільки їхній колір одержується шляхом додавання у вихідний матеріал фарбувальних речовин пігментів.
3. Деталі з полімерних матеріалів не піддаються корозії.
4. Вага пластмасових деталей незначна.
5. Для пластмас є високою енергоекономічність роботи.

Залежно від поведінки під час нагрівання пластмаси розподіляють на два класи – реактопласти та термопласти. Реактопласти набувають пластичності під час нагрівання, а після охолодження втрачають її назавжди, тобто їх подальша переробка неможлива. Термопласти під час нагрівання завжди набувають пластичності. Відходи деталей із термопластів широко використовуються як вторинні матеріали.

При виготовленні деталей із пластмас потрібно враховувати їх усадку й технологічні уклони. Під усадкою розуміють різницю між розмірами прес-форми й деталі при температурі 20 °С через 24 години після закінчення формування. Технологічні уклони (рис. 8.1, б) зменшують зусилля з вилучення готової деталі з прес-форми та сприяють полегшенню проникання пластичної маси у форму.

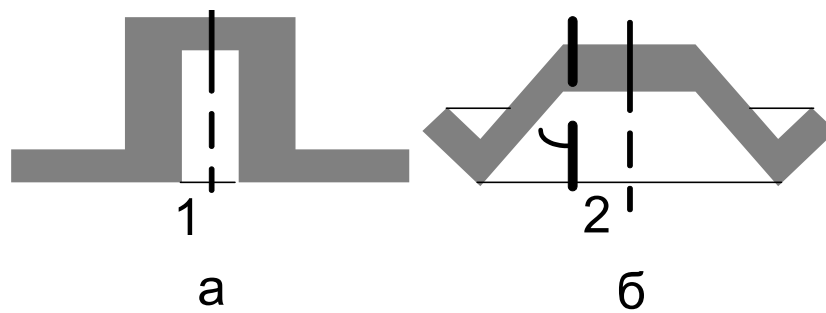


Рисунок 8.1:

- а – відсутність технологічного уклону (нераціонально);  
 б – наявність технологічного уклону (раціонально)

Дослідним шляхом встановлено оптимальні значення технологічних уклонів для виробів із пластмас різної висоти. Узагальнена інформація про таку кореляцію наведена в таблиці 8.1

Таблиця 8.1 – Мінімальні значення технологічних уклонів

Висота деталі, мм	Зовнішня поверхня	Внутрішня поверхня
до 10	1:100	1,5:100
10–50	0,8:100	1,2:100
50–100	0,6:100	1:100
100–200	0,5:100	0,8:100
200	0,3:100	0,6:100

Товщина стінок пресованих деталей із пластмас зазвичай становить 1,5–4 мм, а формованих методом виливання під тиском 0,6–3 мм. Вибір оптимальної товщини деталі є важливим промисловим завданням. При недостатній товщині програє міцність деталі загалом, при надмірній – збільшується час технологічного процесу, оскільки деталі остигають надто повільно. Для термопластів використовують емпіричну формулу, яка дозволяє визначити мінімальну товщину  $S_{\min}$  деталі заданої висоти:

$$S_{\min} = 0,8 \cdot (\sqrt[3]{h} - 2,1) \quad (8.1)$$

Важливим є також вибір радіуса  $r$  закруглення під час сполучення поверхонь. Наявність цих радіусів покращує зовнішній вигляд деталей і знижує їх вибракування. Уважається оптимальним таке закруглення:  $r \approx 2h$ .

Важливим складником технологічного процесу переробки пластмас є підготовка прес-матеріалу – таблетування та попереднє підігрівання таблеток. Таблетування є процесом перетворення прес-матеріалу в таблетки заданої форми й маси. Використання таблеток є зручним, оскільки при цьому спрощується дозування матеріалу, скорочення часу на його нагрівання і формування, підвищується якість матеріалу та заготовки. Як вихідний для таблетування використовують порошкоподібний полімерний матеріал і домішки, які ретельно перемішують шляхом багаторазового пропускання суміші через систему двох валків.

Зваження порцій прес-матеріалу виконують високотехнологічним способом об'ємного дозування (рис. 8.2).

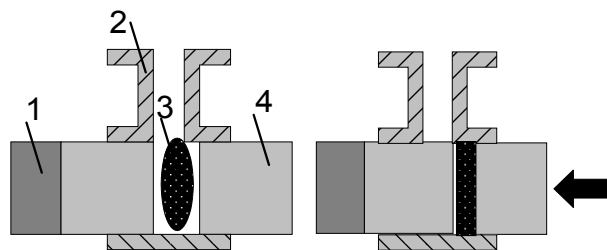


Рисунок 8.2 – Таблетування пластмас

Як можна бачити з рисунка, бункер (2) може відкривати чи закривати отвір для подання пластичної маси (3). Пуансон (1) є нерухомим і відіграє роль упора. Пресування матеріалу виконують пуансоном (4). Якщо бункер відвести ліворуч, пуансон (4) звільниться й готову таблетку

можна виштовхнути пуансоном (1). Прес-матеріал потрібно подавати в бункер нагрітим. Перебуваючи у формі декілька секунд, він не встигає втратити свої властивості, а лише пом'якшується. Вплив попереднього нагрівання на тривалість обробки прес-матеріалу зображено у таблиці 8.2.

Таблиця 8.2 – Тривалість обробки пластмас при різних режимах нагрівання

Температура нагрівання, °С	Тривалість нагрівання, хв	Скорочення тривалості витримки матеріалу у прес-формі, %
80	15–16	10–30
100	13–15	20–40
120	8–10	25–50
160	6–9	30–60
180	5–8	40–80

### Контрольні питання

1. Специфічні процеси лиття.
2. Характеристики пластмас і виробів з них.
3. Особливості раціонального виготовлення виробів з пластмас.
4. Процес таблетування.

## 9 ФОРМОУТВОРЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ІЗ ПЛАСТМАС

1. Компресорне пресування. За цим методом таблетований і нагрітий матеріал (1) завантажують у відкриту прес-форму – матрицю (3) (рис. 9.1). Під тиском пуансона (2) матеріал пластифікується та заповнює робочий простір прес-форми. Продуктивність цього способу формоутворення досить низька, і визначається часом пластифікації та витримки матеріалу в прес-формі. Деталь, одержана в такий спосіб, потребує подальшого дороблення – зняття задирок із поверхні. Для підвищення якості продукції матрицю періодично змащують рослинними мастилами й нагрівають індукційною піччю.

2. Лиття виробів із пластмас під тиском. Цей метод поширений у світлотехнічному виробництві. Практично він реалізований у промисловому варіанті термопластавтомата (рис. 9.2). Вихідний гранульований чи порошкоподібний матеріал завантажується до воронки

бункера (7), із якого після об'ємного дозування надходить до робочого циліндра (8) ливарної машини. Тут матеріал на допомогу серії нагрівальних елементів (5) набуває пластичного стану. Робочий інтервал температур нагріву обмежується температурами розм'якшення і плинності. Для пришвидшення прогріву і якісного перемішування матеріалу в робочому циліндрі передбачено обтічники з черв'ячно-шнековим ходом.

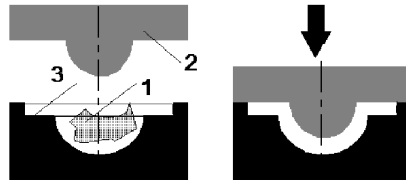


Рисунок 9.1 – Компресорне пресування пластмас

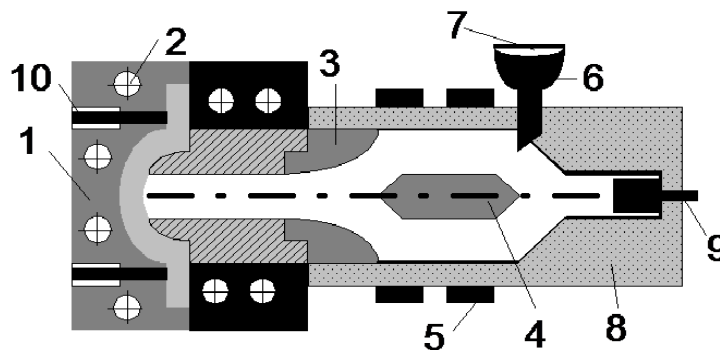


Рисунок 9.2 – Термопластавтомат

Пластифікований матеріал під тиском поршня (9) подається через мундштук (3) до форми (1). Форма (1) охолоджується водою, що циркулює по каналах (2).

Через те, що термопласти відзначаються помітною усадкою (до 2%), заповнена форма (1) має охолоджуватись під тиском поршня. У таблиці 9.1 наведено випробувані оптимальні режими роботи термопластавтомата для різних пластмас.

Температура форми істотно впливає на якість виробів і продуктивність виробничого процесу формоутворення деталей із пластмас на пластавтоматі. Уважається, що вона має бути нижчою на 100–180 °С за температуру матеріалу. Це зрозуміло. Якщо форму переохолоджено, матеріал, що подається у форму, охолоджується настільки швидко, що перекриває канал форми й готова деталь має пори, а при надмірному

нагріванні форми пластмаса налипає на форму та поверхня готової деталі потребує додаткового шліфування.

Класифікація термопластавтоматів визначається масою матеріалу в грамах (25, 50, 100, 125 тощо), який необхідний для заповнення форми.

При виробництві пластмасових виробів методом лиття під тиском істотне значення має попередня підготовка матеріалу. Виокремлюють три головні етапи попередньої підготовки матеріалу: фарбування, сушіння та магнітну сепарацію.

Таблиця 9.1 – Робочі режими термопластавтомата

Параметр	Значення параметрів для пластмас				
	Поліамід	Полі-етилен	Поліхлор-вініл	Полісти-рол	Поліметил-метакрилат
Температура циліндра, °С	150–260	170–250	149–177	180–230	180–240
Температура форми, °С	50–90	30–60	70–93	38–60	50–70
Тиск поршня, МПа	42–176	60–120	70–210	60–150	90–120

Фарбування здійснюють шляхом змішування фарбника (у вигляді дрібнодисперсного порошку) з основною сировиною та мастилом. Сушіння виконують у спеціальних приміщеннях при температурі 90 °С, застосовують також вакуумне сушіння. Магнітна сепарація необхідна для вилучення з основної сировини частинок металічної природи, які у разі індукційного нагрівання пластичної маси можуть намагнічуватись, що призведе до забруднення ливарного каналу.

Варто виокремити загальновідомий процес безперервної переробки термопластів, що перебувають у в'язкоплинному стані, – екструзію. Формоутворення пластмас при цьому здійснюють шляхом просування нагрітого пресс-матеріалу через філь'ери – деталі (зазвичай металічні) із внутрішньою порожниною, форма якої відповідає необхідній формі деталі.

Машини, що реалізують метод екструзії, називають екструдерами. Схема одного з них наведена на рисунку 9.3.

Як видно з рисунку 9.3, вихідний матеріал (8) завантажується у бункер (9) і потрапляє в робочий циліндр (6). Черв'ячна передача (7) слугує для якісного перемішування та пересування матеріалу вздовж



циліндру. Серія нагрівачів (5) перетворює сировину у в'язкоплинну речовину. Оберти черв'яка керуються електродвигуном (10). Розплав продавлюється через головну решітку (4), конічний дифузор (3), додаткову решітку (2) і потрапляє до філь'єри (1), де починається процес формоутворення.

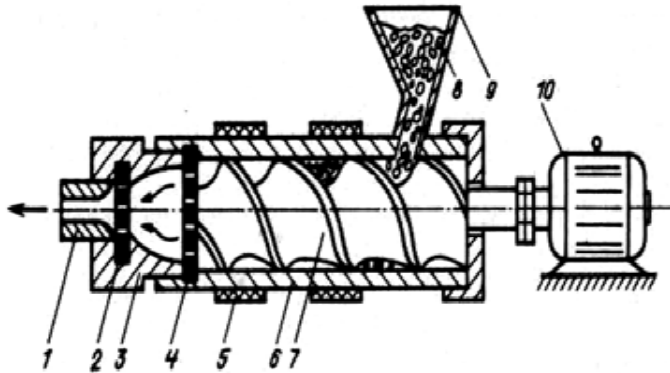


Рисунок 9.3 – Екструдер

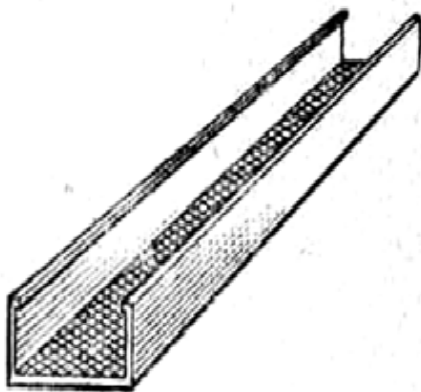


Рисунок 9.4 – Розсіювач СП із ЛЛ, виготовлений екструзією

Екструзія також зручна для виготовлення листів і трубок СП побутового призначення.

Основні технічні дані для одночерв'ячних екструдерів наведені в таблиці 9.2.

Таблиця 9.2 – Технічні характеристики одношнекових екструдерів

Характеристики	Діаметри шнеків, мм					
	32	45	63	90	125	160
1	2	3	4	5	6	7
Частота обертання черв'яка, об/хв.	8–120	20–140	10–100	7,5–75	15–65	6–60
Продуктивність, кг/год.	10	35–40	60	150	200	300–400

Призначення решіток полягає у перетворенні пластмаси в однорідну масу та контролі її потоку, що надходить до філь'єри. Після виходу з філь'єри профіль охолоджують і ріжуть на заготовки необхідної довжини.

Існує таке поняття, як продуктивність роботи екструдера. Вона виражається масою матеріалу, що пройшла через філь'єру за годину. Екструзійні методи набули широкого розповсюдження при виготовленні елементів СП із люмінесцентними лампами (рис. 9.4).

Продовження таблиці 9.2

1	2	3	4	5	6	7
Потужність електродвигуна, кВт	5,5	14	25	32	55	75
Число зон нагріву	–	2	3	3	4	5
Потужність нагрівання циліндру, кВт	1,5	8	22	26	22,4	65
Габаритні розміри, мм: довжина, ширина, висота	1 185	1 830	2 500	3 180	4 500	5 980
	1 140	720	800	1 050	945	1 360
	1 588	1 650	1 850	1 910	2 620	2 220
Маса екструдера, кг	700	2 400	2 700	4 700	6 500	12 000

### Контрольні запитання

1. Компресорне пресування пластмас.
2. Лиття під тиском. Схема термопластавтомата.
3. Для чого необхідно контролювати температуру прес-форми термопластавтомата?
4. Схема екструдера, його технічні характеристики.
5. Що таке філь'єра?

## 10 ФОРМУВАННЯ ЛИСТОВИХ МАТЕРІАЛІВ. З'ЄДНАННЯ ВИРОБІВ ІЗ ПЛАСТМАС. ДЕКОРАТИВНІ ПЛАСТМАСИ

У світлотехнічному виробництві листові й плівкові пластмаси зазвичай перероблюють методами штампування, пневмоформування та вакуум-формування, що дає змогу доповнити технологічні можливості лиття під тиском і усунути його недоліки (неоднорідна міцність, внутрішні напруження) при виробництві крупногабаритних тонкостінних деталей (розсіювачів). Розглянемо детальніше вказані методи.

*Штампування.* Виконують на гідравлічних пресах (рушійною силою пуансона є рідина). При цьому лист нагрівається до температури розм'якшення та під тиском  $1 \text{ МН/м}^2$  формується за допомогою матриці й пуансона. Штампування пластмас якісно не відрізняється від штампування металів, із тією тільки відміною, що нагрів заготовки є обов'язковим. Це легко зрозуміти, якщо згадати, що тверде тіло (метал) є анізотропним, і

воно за своєю сутністю зручне до пластичного деформування, а пластмаса ізотропна.

Преси для штампування пластмас не потребують значних зусиль, що відрізняє їх від пресів, призначених для штампування металічних виробів (тиск не перебільшує 1 000 кПа).

*Пневмоформування.* Це один із найрозповсюдженіших методів формоутворення листових матеріалів, сутність якого полягає в тому, що матеріал заповнює порожнину форми під тиском стиснутого повітря.

Листову заготовку (3) (рис. 10.1) нагрівають в електропечі до необхідної температури й переносять до форми (5). Заготовка притискується кришкою (1) і через впускний кран (2) подається стиснуте повітря, під тиском якого заготовка щільно притискується до стінок форми, нагрітої елементами (6). При цьому вона витісняє повітря, що містилось у порожнині матриці, через канали (7).

Кран (4) у процесі формування перекрито, але після того, як необхідну деталь одержано, його відкривають для можливості циркуляції повітря, завдяки чому деталь швидко охолоджується.

Пневмоформування буває двох типів – негативне, коли матеріал вдавлюється в заглиблення форми (рис. 10.1), і позитивне, коли матеріал формується на опуклій поверхні.

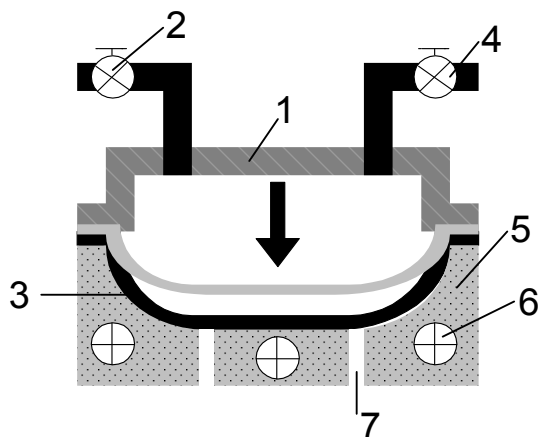


Рисунок 10.1 – Пневмоформування

*Вакуумне формування.* Принцип цього процесу зручно з'ясувати з рисунка 10.2. Заготовку з листової пластмаси (3) закріплюють на столі вакуумної машини притискувачами (4). Зверху заготовку можна підігрівати за допомогою нагрівального елемента (2) і охолоджувати за допомогою вентилятора (1). Спочатку включають нагрівач і заготовка

набуває пластичності. Після цього відкривають клапан (7) і через отвір у пуансоні (5) подають до камери (6) стиснуте повітря, що сприяє рівномірному розтягуванню заготовки. Стиснуте повітря використовується для попереднього формоутворення. Подальше формоутворення виконується вже безпосередньо пуансоном. Як видно з рисунка 10.2, на деяких ділянках (поблизу притискачів) заготовка прилягає до пуансона недостатньо щільно, тобто є порожнини. Повністю уникнути їх механічним рухом пуансона не вдається та з цього етапу починається вакуумне формування. Для цього клапан (7) перекривають і відкривають клапан (8), який з'єднує систему з насосом. Після відкачування камери до досить високого вакууму заготовка щільно притискується до пуансона завдяки різниці між атмосферним тиском і остаточним тиском у камері після відкачування. Для охолодження готової деталі виключають нагрівач і включають вентилятор.

На відміну від позитивного вакуумного формування є негативне вакуумне формування.

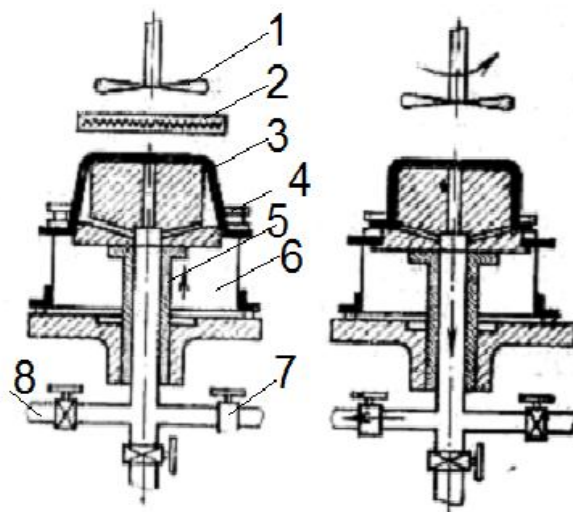


Рисунок 10.2 – Позитивне вакуумне формування

Схема його наведена на рисунку 10.3 Заготовка (1) притискується притискачами (2) до форми (3). Після прогрівання заготовки за допомогою нагрівача (4) включають вакуумний насос і відкачують систему через вентиль (5). Для пришвидшення охолодження готової деталі включають вентилятор (6).

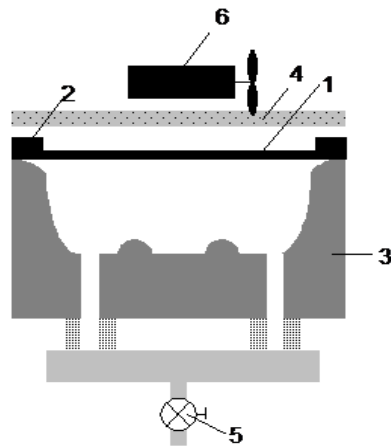


Рисунок 10.3 – Негативне вакуумне формування

Переваги вакуумного формування:

1. Можливість заміни елементів при переході на нову продукцію.
2. Можливість переробки листових матеріалів зі значною усадкою.
3. Можливість автоматизації процесу.

Недоліки вакуумного формування:

1. Непридатність обладнання до формування товстостінних виробів (товщина плівки понад 2 мм).

2. Невисока продуктивність процесу, що пов'язується з втратою часу на нагрівання і охолодження заготовки.

Для з'єднання деталей із пластмас використовують різноманітні способи їх зварювання та склеювання. Ці способи найпридатніші для плівкових матеріалів, що використовуються при виробництві абажурів СП побутового призначення. Зварювання – це спосіб з'єднання елементів, при якому границя розділу між поверхнями, що приводяться в контакт, зникає. Найрозповсюдженіші високочастотне зварювання завдяки джоулевому теплу і зварювання контактним нагрівом. Під час зварювання відповідні елементи притискають один до одного для щільнішого контакту. Склеювання вважають менш надійним способом з'єднання матеріалів, оскільки якість контакту визначається лише адгезією клею до робочих поверхонь, а процеси дифузійного перемішування матеріалів відсутні. Крім того, прошарок клею з часом втрачає свої в'язкі властивості, і не є стійким до температурного впливу. Склеювання використовують зазвичай при експериментальному виробництві.

При виробництві виробів із пластмас (особливо для СП побутового призначення) використовують декоративні пластмаси. Під декорацією розуміють сукупність заходів додаткової обробки пластмас, завдяки яким виріб покращує свої естетичні характеристики. Найрозповсюдженішим

випадком декорування пластмаси є металізація (гальванічна чи вакуумна). Перед нею на вироби наносять прошарок ґрунтового лаку. Якщо є необхідність у витравлюванні узорів, у ґрунти додають розчинники, які витравлюють поверхню пластмаси в необхідних місцях. Іноді виготовляють декоративні пластмаси шляхом додавання до основної сировини таких компонентів, як карбонат свинцю або фосфат. У наслідок цього виріб набуває перлинного відтінку. До сировини можна додати алюмінієву чи бронзову пудру, у наслідок чого готові вироби будуть візуально мало чим відрізнятись від тих, що виготовлені з відповідних металів або сплавів. При виробництві рекламних засобів масової інформації іноді використовують пластмаси з додаванням люмінофорів.

### **Контрольні питання**

1. Штампування.
2. Позитивне й негативне пневмоформування та вакуумне формування.
3. Недоліки й переваги вакуумного формування.
4. Операції з'єднання елементів СП. Приклади декоративних пластмас.

## **11 СВІЛОТЕХНІЧНЕ СКЛО. ВИГОТОВЛЕННЯ СКЛОВИРОБІВ**

З фізичної точки зору скло становить переохолоджену рідину. Більшість промислового скла – це охолоджені склоутворювальні окисли. Якщо це окисли кремнію  $\text{SiO}_2$ , скло називають силікатним.

Силікатне скло використовують при виробництві рефракторів СП, призначених для освітлення відкритого простору. З молочного чи прозорого скла виготовляють захисні ковпаки рудничних СП.

Світлотехнічне скло за своїм призначенням буває двох типів – призматичне або світлорозсіювальне.

Призматичне скло визначається високим коефіцієнтом пропускання у видимій області спектра й високим коефіцієнтом заломлення. Воно має щільно заповнювати форму, в якій відбувається пресування виробів, а також відзначається підвищеною чистотою та однорідністю складу.

Для виготовлення люстр, призначених для освітлення театрів, концертних залів, станцій метро, використовують кришталеве скло (табл. 11.1), тобто скло, до хімічного складу якого введено домішки, що утворюють ефект «гри» світла.

Таблиця 11.1 – Кришталеве скло різного складу

Тип скла	Вміст, %								
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	BaO	PbO	ZnO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O
Легкий криштал	61,3	0,7	0,7	1,05	–	22,4	–	7	7,5
Важкий криштал	51,8	–	0,04	–	–	37,4	–	10,2	0,7
Цинково-барітний криштал	58	–	0,04	–	18	–	5	16	3

Світлорозсіювальне скло використовують для зниження видимої яскравості джерел світла й обмеження засліплювальної дії світильників. Трьома основними типами світлорозсіювального скла є матове, молочне й опалове скло. Матове скло отримують під час травлення його поверхні фтористими кислотами або піскоструминною обробкою. Опалове й молочне скло одержують під час додавання в скломасу глушника на основі фтористих сполучень чи інших окислів. Глушники не розчиняються у процесі варіння скломаси та перетворюються під час її охолодження в дрібні кристалики (розміром 0,2–20 мкм). Глушене скло відзначається спрямованим пропусканням світла, що відрізняє його від матового скла. Матове скло використовують для виготовлення захисних ковпаків промислових світильників, а молочне й опалове скло – для виготовлення розсіювачів СП з лампами розжарювання, призначених для освітлення адміністративних та виробничих приміщень, а також при виготовленні розсіювачів вуличних світильників. Скляні елементи СП виготовляють різними способами, з яких найрозповсюдженішими є молювання, пресування, видування та пресовидування. Незважаючи на деякі відмінності в цих методиках, технологічний процес однаковий та складається з таких операцій: підготовка сировини і приготування шихти (однорідної суміші необхідних матеріалів, взятих у певних пропорціях), варіння скла, формування виробів, відпалення, кінцева обробка (механічна обробка, хімічне полірування, декорування).

Перед приготуванням шихти вихідні матеріали відчищають від бруду й домішок, сушать і перетворюють у порошок. До шихти додають до 30 % скляного бою. Розігрівання та плавлення скломаси в печах здійснюють шляхом згоряння природного газу. Якщо є потреба у склі підвищеної чистоти, підігрівання здійснюють електричним шляхом.

Розглянемо головні способи формоутворення виробів зі скла.

**1. Молювання.** Це технологічний процес формоутворення скляних виробів із листових заготовок (рис. 11.1), при якому прогинання листової заготовки відбувається під дією власної ваги. Заготовку (3) вирізають із листа за допомогою алмаз і вміщують в піч 1, де її кладуть на чавунну чашку (4), внутрішня форма якої відповідає необхідній формі деталі. Після включення електронагрівача (2) температура в печі досягає 550–600°C і заготовка починає плавитись, приймаючи форму чашки. Внутрішню поверхню чашки потрібно намастити протипригарними мастилами (крейда, графіт, сажа). Це дає змогу прискорити процес молювання шляхом підвищення робочої температури. Після охолодження виробу до кімнатної температури здійснюють контроль якості й виконують механічну обробку. Способом молювання можуть бути виготовлені відбивачі СП довільної форми. Обмеженням цього способу є глибина молювання (радіус заготовки має бути близький до глибини молювання) і низька продуктивність як до виробничого масштабу.

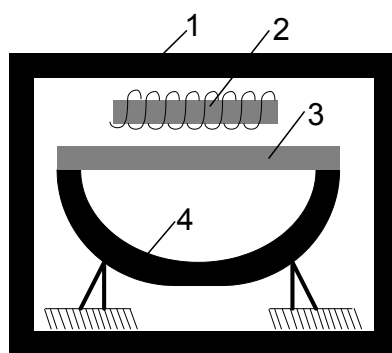


Рисунок 11.1 – Молювання

**2. Пресування.** Цей спосіб (рис. 11.2) широко використовують при виготовленні призматичних рефракторів СП зовнішнього освітлення, кристалевих розсіювачів і елементів люстр, скляних ковпаків вибухозахищених СП. Зазвичай, цим методом виготовляють товстостінні елементи.



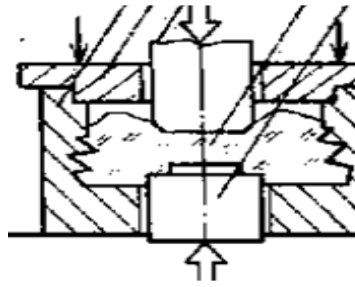


Рисунок 11.2 – Пресування скла

Як видно з рисунка 11.2, дозована порція скломаси подається до матриці, внутрішня форма якої відповідає зовнішній формі виробу. Під тиском верхнього пуансона, що проходить через отвір у кришці, і нижнього пуансона скляна маса витісняється до стінок матриці. Для одержання деталі з рельєфним рисунком можна використовувати рисунок як на пуансоні, так і на матриці. Поверхня пуансона та матриці змащуються протипригарними мастилами. Для високої якості виробів скломаса має визначатись значною швидкістю охолодження, а різниця температур скла та прес-форми бути незначною.

**3. Видування.** Цей спосіб фактично є певним різновидом пресування, при якому роль пуансона відіграє стиснуте повітря.

**4. Пресовидування.** Це гібрид двох зазначених вище способів. Цей метод упроваджено на підприємствах згідно зі схемою, наведеною на рисунку 11.3.

Дозована порція скломаси (3) вноситься до чорнової форми (4), у верхній частині якої зімкнуті горлові щипці (1). Попереднє пресування здійснюється пуансоном (2), який далі відводять догори й переносять напівфабрикат (5) щипцями до чистої видувної форми (6). Остаточне формування заготовки здійснюється із використанням стиснутого повітря, яке подають через канал (7).

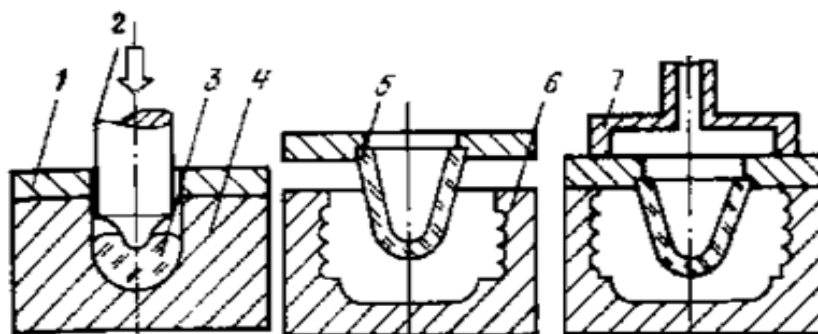


Рисунок 11.3 – Пресовидування скла

Остаточні напруження у склі тим вищі, чим більше швидкість охолодження й більший перепад температур між внутрішньою та зовнішньою стінками виробу. Внутрішні напруження є причиною руйнування скла (відразу після охолодження або з часом). Ці напруження знімають шляхом відпалювання.

Процес відпалювання складається з чотирьох етапів:

- 1) нагрівання заготовки до температури розм'якшення поверхневого прошарку матеріалу;
- 2) витримка виробів при сталій температурі в печі до зникнення внутрішніх напружень;
- 3) повільне охолодження зі швидкістю, за якої не виникають нові напруження;
- 4) швидке охолодження зі швидкістю, за якої не виникають нові напруження.

У виробничому масштабі реалізація цих етапів відпалення здійснюється у муфельних печах. Схема однієї з них наведена на рисунку 11.4.

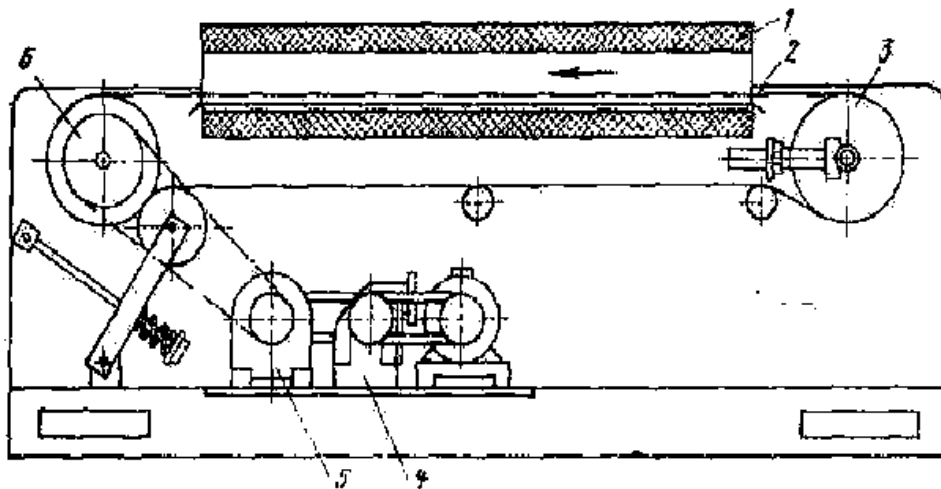


Рисунок 11.4 – Муфельна піч

Вироби, що підлягають відпаленню, влаштовують на конвеєрній металічній стрічці (2), яка намотується з котушки (6) на котушку (3). Швидкість пересування стрічки контролюють регулятором швидкості (5) приводу (4). Вироби на стрічці просуваються через муфельну піч (1), внутрішній простір якої розділено на чотири зони, які послідовно реалізують чотири необхідні етапи відпалу.

## **Контрольні питання**

1. Призматичне та світлорозсіювальне скло.
2. Кришталеве скло.
3. Матове, опалове й молочне скло. Принцип їх виготовлення.
4. Застосування скла у світлотехнічному виробництві.
5. Головні етапи технологічного процесу виготовлення скла.
6. Молювання.
7. Пресування та видування скла.
8. Пресовидування скла.
9. Необхідність відпалення скла. Головні етапи відпалення.
10. Принцип роботи муфельної печі відпалення.

## **12 ДЕКОРУВАННЯ СКЛОВИРОБІВ. СВІЛОТЕХНІЧНІ ТА ЗАХИСНІ ПОКРИТТЯ**

Декорування виробів зі скла є поширеним при виробництві СП для освітлення адміністративних приміщень та світильників побутового призначення. Існує два способи нанесення декоративного узору на світильник – із частковим руйнуванням поверхні його розсіювача (хімічна обробка, абразивне утворення матової поверхні, полірування та шліфування) і без руйнування (нанесення фарби). Під час хімічної обробки може бути утворена матова чи полірована поверхня внаслідок взаємодії травника (флуоридної кислоти) із поверхнею скла. Концентрація плавикової кислоти має бути незначною (до 40 %) для того, щоб оброблювана поверхня була після обробки гладкою. Перед травленням скло промивають у соді й 10 %-му розчині флуоридної кислоти. Якщо матовими мають бути і внутрішня, і зовнішня поверхні деталі СП, як травник беруть рідину, у яку занурюють деталь. Якщо ж протравити потрібно тільки одну з поверхонь, як травник беруть пасту, яку наносять за допомогою щітки. Якщо на деталі має бути вибіркове травлення, тобто витравлення окремих ділянок, користуються спеціальним лаком, який є стійким до травника та його потім можна змити розчинником. Іноді зручно використовувати віск. Спочатку воском покривають усю поверхню, а потім із тих ділянок, які мають бути протравлені, прошарок воску

знімають. Після цього заготовку занурюють у травник. Таке травління називають світлим.

Хімічне полірування здійснюють шляхом травлення деталей у розчині суміші сірчаної та плавикової кислот, нагрітому до температури 45–55 °С. При цьому поверхня стає блискучою та гладкою. Таким способом зручно обробляти скло зі значним відсотком PbO, тобто таке, що хімічно нестійке до травника. Хімічним поліруванням зазвичай обробляють елементи люстр.

Для травлення використовують два баки різної ємкості. У першому баку меншої ємкості зроблено отвори. Сюди вміщують деталі, що підлягають поліруванню. У другому баку міститься травник. Встановивши один бак в інший, деталі витримують у травнику потрібний час і після травлення промивають водою. Чим більше циклів «травник – вода – травник» виконано для деталей, тим вища якість полірованої поверхні. Оптимальні режими хімічного полірування, випробувані у світлотехнічному виробництві, наведено в таблиці 12.1.

Таблиця 12.1 – Режими хімічного полірування

Число занурень деталей у травник	Тривалість одного занурення, с	Загальна тривалість занурення, с
3–4	15–30	45–120
8–10	5	40–50
40–50	1–2	40–100

Оптимальний режим травлення підбирають після проведення пробного полірування на невеликих партіях розсіювачів. Зазвичай, процеси хімічного полірування добре автоматизовані та їх виконують на спеціальних лініях.

Якщо габарити елементів люстр, що підлягають поліруванню, значні, зручніше використовувати вогняне полірування. Під час нагрівання скла до температури розм'якшення та повільному охолодженні поверхня скла набуває гладкості й блиску. З цією метою деталі зі скла нагрівають за допомогою полум'ям газового пальника, або намащують сажею та нагрівають у печі (сажа вигорає та підплавляє поверхню скла). Вогняне полірування при крупносерійному і масовому виробництві здійснюють у неперервних тунельних печах. При цьому деталі завантажують на конвеєрну стрічку, яка проходить через тунель із серією пальників.

Механічне шліфування та полірування застосовують для одержання рельєфних рисунків. Полум'я пальників і швидкість руху деталей контролюються.

Шліфування здійснюють на спеціальних плоскопаралельних верстатах абразивним інструментом або абразивними пастами.

Для одержання на виробих кольорових рисунків використовують муфельні фарби, що ставлять дрібнодисперсні легкоtopкі кольорові стекла – порошинки з додаванням фарбників. До складу муфельних фарб як основні компоненти входять окисли:  $PbO$ ,  $B_2O_3$ ,  $SiO_2$ ,  $Na_2O$ , а як додаткові – сурик  $Pb_3O$  і борна кислота  $H_3BO_3$ . Одержана суміш є безкольоровою речовиною, яка називається плавнем. Фарбниками зазвичай є окисли металів (олово, титан, сурма, церій). Їх відпалюють у вигляді порошку при температурі 800–1 300 °С (для того, щоб у скляній шихті не було вологи, яка призведе до специфічних дефектів скла – пухирців) і додають до плавня.

Декоративне покриття наносять на деталь такими способами:

1. Шовкотрафаретний друк.
2. Фотохімічний спосіб.
3. Спосіб рухомих деколей.

При трафаретному друці на капронову сітку наносять трафарет рисунка. Ті місця, що мають бути зафарбовані, зачищають. Сітку притискають до деталі і зверху намащують прошарком фарби, яку витісняють через трафарет за допомогою гумового шпателя або валика. Якщо потрібно зробити багатокольоровий рисунок, використовують кілька сіток-трафаретів.

При фотохімічному способі рисунок наносять фарбою на клейку світлочутливу плівку, яку переносять на деталь. У різі попадання світла плівка під фарбою зберігається, а незахищені фарбою ділянки плівки зникають унаслідок перебігу фотохімічних реакцій.

Спосіб рухомих деколей полягає у такому. Деколі складаються з рисунків, нанесених на прозору плівку, що за допомогою водорозчинного клею приклеєна до паперу. Для перенесення рисунка деколь занурюють у ванну з водою, і після розм'якшення паперу наносять на виріб рисунком догори. Після цього висмикують папір і щільно притискають зображення до скла (щоб позбутися повітряних бульбашок). Для закріплення зображення виріб відпалюють у печі при температурі 560–580 °С.

Іноді використовують спеціальні фарби, так звані люстри. Це тонкі, злегка зафарбовані плівки з коефіцієнтом відбиття більшим, ніж у скла. Деталі з люстровим покриттям блискучі, мають святковий вигляд. Зазвичай люстри наносять шляхом розпилення, із подальшим відпаленням для закріплення на деталі тонкого прошарку. У разі використання люстр потрібно пам'ятати, що вони знижують коефіцієнт пропускання скла на 20–30 %. Тобто для світильників, які грають роль прикраси, люстри зручні, а для реальних освітлювальних приладів – ні.

У світлотехнічному виробництві покриття використовують як для створення у елементів СП певних світлотехнічних характеристик (світлотехнічні покриття), так і для захисту металів від корозії та декорації (захисно-декоративні покриття). Залежно від матеріалу покриття розділяють на металічні (одержані в гальванічний чи вакуумний спосіб) і неметалічні (одержані шляхом розпилення, занурення чи іншими методами). Неметалічні покриття розділяють на органічні (лаки, фарби, мастила) і неорганічні (фосфати, оксиди, силікатні емалі).

Найпоширенішими у світлотехнічному виробництві є лакофарбові покриття.

Перед нанесенням покриття потрібно підготувати поверхню. Існує декілька видів підготовки поверхні: механічна, термічна та хімічна (травлення, знежирення та фосфатування). Шляхом травлення знімають окалину та іржу. Знежирення вилучає з поверхні бруд. Для знежирення використовується вайт-спірит. Фосфатування є процесом нанесення на поверхню чорних металів плівок із фосфорнокислих солей, які покращують адгезію покриття до робочої поверхні.

### **Контрольні питання**

1. Світле травлення.
2. Хімічне та вогняне полірування.
3. Муфельні фарби та методи їх нанесення на робочу поверхню.
4. Люстрові фарби.
5. Класифікація покриттів у світлотехнічному виробництві за експлуатаційними ознаками та сортом матеріалу покриття.

## 13 МЕТОДИ Й ОБЛАДНАННЯ НАНЕСЕННЯ ЛАКОФАРБОВОГО ПОКРИТТЯ

1. Пневматичне розпилення. Це один найрозповсюдженіших способів фарбування. Його сутність полягає у розпиленні фарби за допомогою стиснутого повітря. Він забезпечує високу рівномірність нанесення прошарку фарби й високу продуктивність роботи. Схема пневматичного розпилення наведена на рисунку 13.1. Стиснуте повітря під тиском 0,2–0,5 МПа по шлангу (5) через знижувальний редуктор (6) надходить до баку (7) із фарбою, яка перемішується крильчатками (8), оберти якої здійснюють уручну (4). Під тиском фарба починає витіснятися до трубки (9) і через кран (3) по каналу (10) надходить до фарбувального пістолета (1). До пістолета по шлангу (2) подають стиснуте повітря, яке розпилює фарбу на дрібні частинки. При натисненні на гачок пістолета відкривається сопло й фарба у розпиленому вигляді подається на поверхню деталі. Схему пневматичного пістолета наведено на рисунку 13.2.

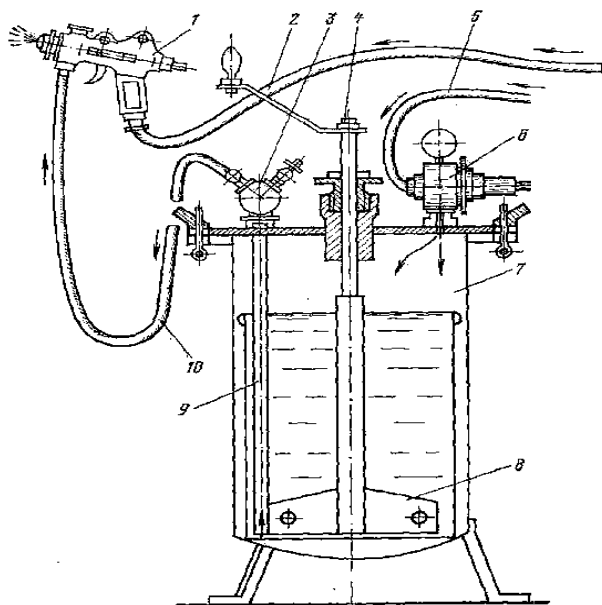


Рисунок 13.1 – Пневматичне розпилення

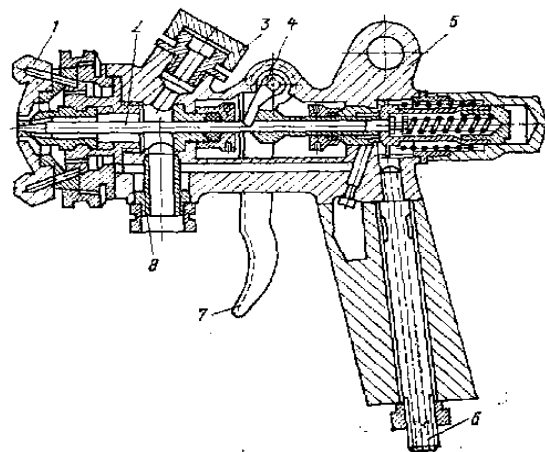


Рисунок 13.2 – Пневматичний пістолет

У рукоятці корпусу (5) розміщується патрубок (6) для подання стиснутого повітря. Фарба може подаватись через патрубки (3) або (8). У нашому випадку (рис. 13.1) це патрубок (8). Патрубок (3) слугує для

подання фарби шляхом самопливу і при робочому патрубці (8) він закритий. При натисненні на гачок (7) защіпка (4) відводить ліворуч стрижень (2), відкриваючи сопло (1).

Метод пневматичного розпилення має недоліки. По-перше, це токсичність і пожежебезпе́чність, по-друге, значні втрати фарби. Для усунення цих недоліків призначені фарбувальні камери – тупикові чи прохідні (залежно від того, у який спосіб здійснюється подання деталей – відповідно вручну чи автоматично). Фарбувальна камера містить систему вентиляції, фільтри для очищення повітря, пристрої для відбору фарби та СП місцевого освітлення. Схема камери наведена на рисунку 13.3. Корпус камери (2) розміром  $1\text{ м}^2 \times 2\text{ м}^2$  виготовлений із тонкого сталевого листа. На стінках камери розташовані утримувачі зайвої фарби (4) – канали, з яких тече вода, що надходить із баку (3). У центрі камери міститься стіл (5) (який може вільно обертатися), призначений для влаштування на ньому деталей, що підлягають фарбуванню.

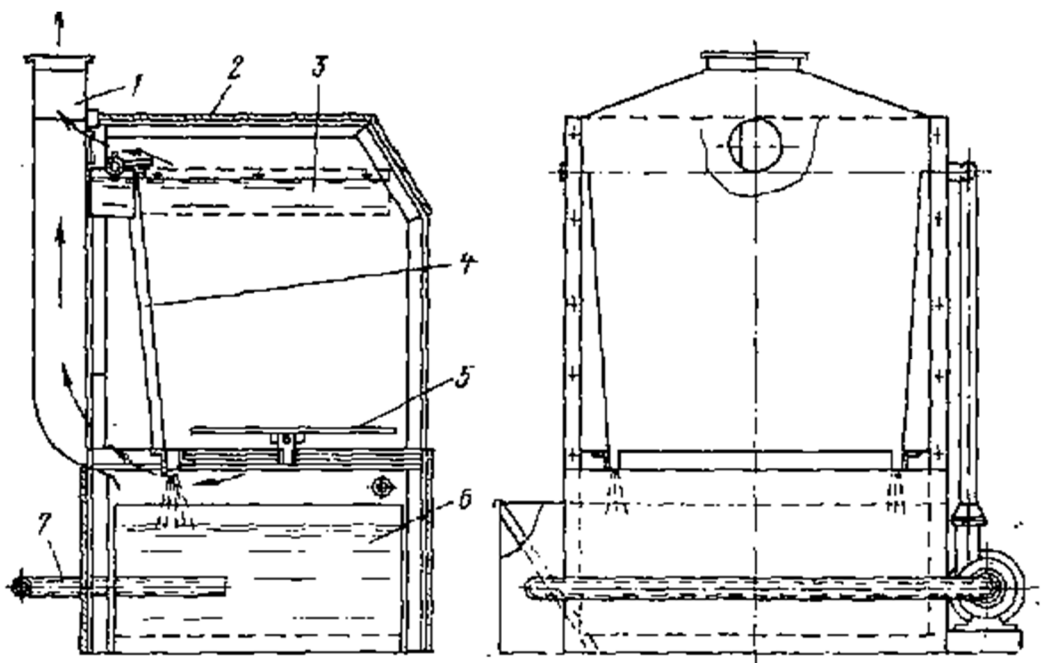


Рисунок 13.3 – Фарбувальна камера

Краплі фарби, що не потрапляють на деталь, утримуються водою, яка вільно потрапляє у бак (6). У баку вода з фарбою розділяється на два складники. Фарба витісняється нагору та спливає на поверхню, а вода залишається внизу. Унаслідок цього воду можна відкачати через канал (7) до баку (3), а фарбу знову подати до пневматичного пістолета. Вентиляційний канал (1) знижує концентрацію шкідливих і вибухонебезпечних парів у камері.



Варто відзначити, що наведені в нашому прикладі габарити камери не є жорстко регламентованими, і залежать від габаритів деталей, що готуються до фарбування.

2. Фарбування в електростатичному полі. Робочу схему, що реалізує вказаний метод, наведено на рисунку 13.4. Як видно з рисунка, на рухомий заземлений конвеєр (3) навішуються деталі (2), що мають бути пофарбовані. Фарба до розпилювачів подається з баку (4). Розпилювачі (1) виконано у такий спосіб, що вони можуть обертатися навколо своїх осей, що збільшує ефективну площу фарбування. На трубку, через яку надходить фарба, подають напругу 80 кВ негативної полярності, так що частинки фарби набувають електричного заряду та прискорюються електричним полем, рухаючись до позитивно зарядженої поверхні деталі. Міжелектродна відстань ставить 2–3 см. Рівномірний рух конвеєра забезпечує рівномірність покриття.

За цим способом фарба може наноситись на деталі й в сухому вигляді (порошкове фарбування). Після обсіпання фарбовим порошком деталі на конвеєрі проходять через піч. Зберігання фарби тут значне.

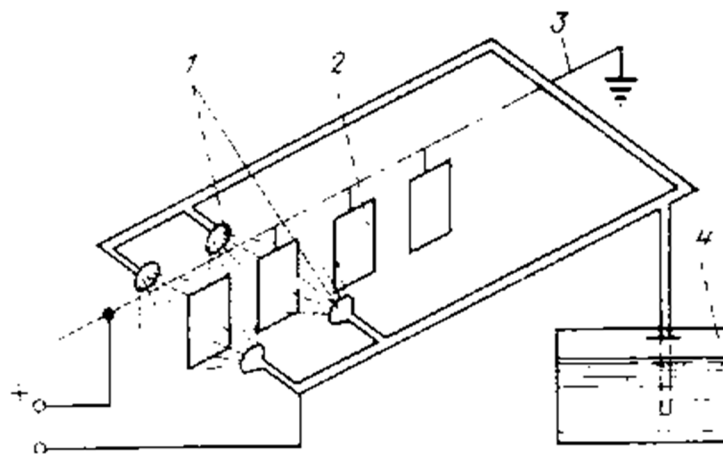


Рисунок 13.4 – Фарбування в електростатичному полі

3. Занурення деталей у фарбу. Це найпростіший і вельми продуктивний із точки зору техніки виконання спосіб. Він придатний для деталей обтічної форми (на яких не утримується фарба, що призводить до різнотовщинного фарбування). Під час фарбування за цим способом необхідно контролювати в'язкість фарби, що впливає на товщину прошарку фарби та швидкість її стікання з вже пофарбованої поверхні. Варто зазначити, що спосіб занурення не підходить для одержання

фарбованих поверхонь високої якості. У разі занурення під прошарок фарби попадають повітряні бульбашки, часто трапляються напливи фарби.

4. Фарбування електроосадженням. Це гібрид способів занурення деталей у фарбу й фарбування в електростатичному полі. Робочу схему, що демонструє вказаний спосіб, наведено на рисунку 13.5. Як видно з рисунка, деталі підвішують на позитивно заряджений (3) конвеєр (4) і просувають через бак (1) із фарбою (2), яка постійно перемішується повітрям від насоса (5). Бак (1) відіграє роль негативно зарядженого електрода. Під дією електричного поля частинки фарби рухаються до деталей і осаджуються на них.

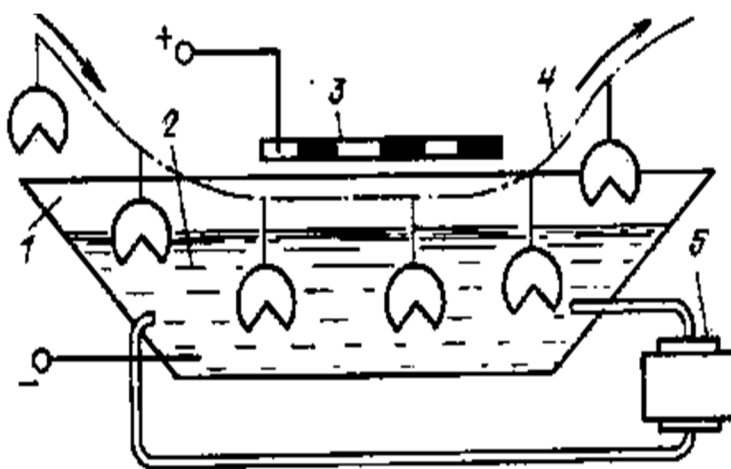


Рисунок 13.5 – Фарбування електроосадженням

На початку процесу фарбуються ті місця, де електричне поле сильніше (виступи), далі починають профарбовуватись інші ділянки. У наслідок на виробі утворюється щільна однорідна плівка однакової товщини. Оптимальний режим електроосадження такий: густина струму  $0,2-0,6 \text{ А/дм}^2$ , температура фарби у баку  $25^\circ\text{C}$ , час електроосадження  $1-3 \text{ хв}$ . Після електроосадження деталі промивають водою, витримують на повітрі близько півгодини і висушують при температурі  $120-200^\circ\text{C}$ . Цей процес легко піддається автоматизації, і витрати фарби незначні.

5. Струминний облив. Принципово фарбування обливом (рис. 13.6) мало чим відрізняється від фарбування зануренням. Цей спосіб застосовують для фарбування деталей, до якості яких немає строгих вимог. Деталі на рухомому конвеєрі (2) просуваються до фарбувальної камери (3), де їх обливають фарбою через форсунки (4). Зайва фарба стікає в бак,

звідки може нагнітатися за допомогою насоса (1) знову до форсунок. Вхідний і вихідний тамбури (для подання заготовок і виведення виробів) оснащені повітряними завісами, що не пропускають токсичні випаровування до приміщення цеху. Тривалість обливання складає 1–2 хв.

Товщина покриття деталі фарбою контролюється шляхом витримки фарбованої деталі у парах розчинника, які нагнітаються в тунель (7) (де накопичуються вироби) за допомогою вентилятора (5) через патрубки (6). Товщина фарбування виробів у цей спосіб зворотно пропорційна концентрації парів розчинника й часу витримки деталі в них (що зазвичай, не перебільшує 15 хв). Концентрація токсичній парів не повинна досягати 1/2 від граничної концентрації вибуху.

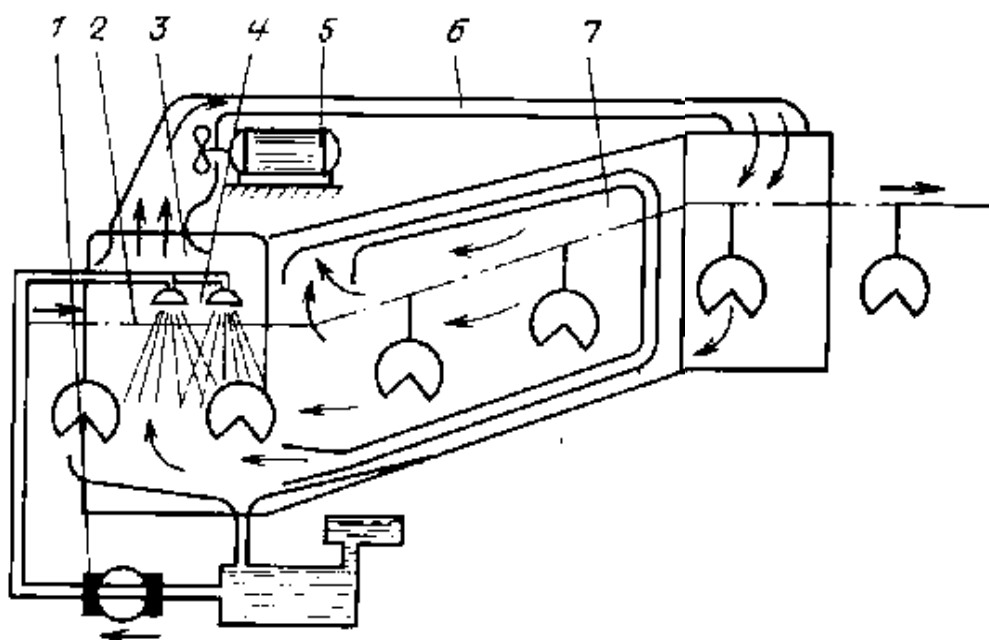


Рисунок 13.6 – Фарбування обливом

### Контрольні питання

1. Пневматичного пістолета. Фарбування у камері.
2. Фарбування в електростатичному полі й зануренням деталі у фарбу.
3. Фарбування шляхом електроосадження.
4. Струминне обливання.

## 14 СУШІННЯ ЛАКОФАРБОВОГО ПОКРИТТЯ. ГАЛЬВАНІЧНІ ПОКРИТТЯ

Сушіння дає змогу вилучити з поверхні деталі зайвий розчинник. Сушіння може бути природним (15–25 °С) і штучним (100–200 °С). Для матеріалів, у яких плівка утворюється внаслідок випаровування та викиду легколетких компонент, зручним природне сушіння. Для матеріалів, у яких процес висихання перебігає складніше (випаровування, викид, окислення, конденсація та полімеризація) застосовують штучне сушіння. Для штучного сушіння використовують печі, що відрізняються як за конструктивною ознакою, так і за способом нагрівання. За конструктивною ознакою печі можуть бути періодичної та безперервної дії (одноразові чи з автоматизованою подачею матеріалу). За способом нагрівання виокремлюють конвекційні, терморадіаційні й індукційні печі.

1. Конвекційне сушіння. Тут фарбовані вироби нагріваються через їхній контакт з гарячим повітрям, що циркулює в робочому просторі печі. Для нагрівання повітря використовують калорифери (обігрівачі), що нагріваються паром чи електроенергією. Для підвищення ефективності конвекційних печей використовується рекуперація повітря, тобто нагріте повітря вентиляторами циклічно переганяється через калорифер у сушильну камеру. Однак незважаючи на рекуперацію, повітря поступово насичується парами розчинника, тому частину повітря періодично вилучають із процесу рекуперації та заміняють на свіжу. Якщо цього не зробити, процес сушіння стане повільнішим, а на покритті утвориться тонка плівка, під якою буде знаходитись невисушена фарба.

Недоліком конвекційного сушіння є низький ККД печей, оскільки лише незначна частина тепла витрачається безпосередньо на сушіння, а більшість йде на нагрівання робочої камери або виноситься без користі при заміні повітря на свіже. Конвекційні тупикові сушильні печі періодичної дії використовують лише у дрібносерійному виробництві. Під час завантаження вони, фактично, не працюють, що знижує загальний коефіцієнт їх використання. Конвекційні тунельні печі безперервної дії призначені для крупносерійного виробництва, вони монтуються поруч із фарбувальними камерами, утворюючи так звані лінії фарбування (або фарбувально-сушильні агрегати). Тунельні печі оснащені автоматами відкривання та закривання тунелю печі й повітряними завісами, які не

дають змогу холодному повітрю потрапляти до камери ззовні. На практиці робоча температура тунельних конвекційних печей становить 100–120 °С.

2. Терморадіаційне сушіння. Відомо, що у разі попадання випромінення на фізичне тіло відбувається його нагрівання. За законом Ейнштейна  $E = h\nu$  нагрівання є тим сильнішим, чим вища частота випромінення. Можна припустити, що у разі опромінення фарбованої поверхні УФ-випроміненням сушіння буде відбуватися ефективніше, ніж при опроміненні ІЧ-випроміненням. Однак, насправді, ситуація зворотна. Річ в тому, що при незначній частоті випромінення є довгохвильовим, тому його проникність у тіло значніша. Крім того, незначна енергія  $h\nu$  у разі ІЧ-випромінення недостатня для активізації перебігу фотохімічних реакцій у прошарку фарби. Як джерело ІЧ-випромінення використовують інфрачервоні лампи або трубчасті електронагрівачі. Для рівномірності опромінення по поверхні фарбованої деталі зручно використовувати разом із джерелами світла дзеркальні відбивачі.

При терморадіаційному сушінні фарби різних кольорів висихають по-різному (першими висихають поверхні, фарбовані темними кольорами, оскільки поглинання в них більше, а відбиття менше, а потім світліші поверхні). Печі з терморадіаційним нагріванням можуть бути прохідними й тупиковими. Крім того, досить поширені так звані печі з конвекційно-радіаційним нагрівом. У цьому гібриді різних типів печей вдало взаємоскомпенсовані їхні недоліки (нагрівання паром прискорює терморадіаційне сушіння, а наявність опромінення поверхні підвищує ККД конвекційної печі).

3. Індукційне сушіння. У світлотехнічному виробництві цей тип сушіння практично не використовується, оскільки він обмежений габаритами фарбованої деталі. Він використовується лише під час сушіння фарбованих поверхонь автомобільних фар.

Як відомо, під дією електричного струму молекули електроліту (розчин солі металу) розпадаються на складники – позитивні й негативні іони. Це явище називається електролізом, і воно застосовується у гальваностегії – у процесах нанесення на поверхню металічних заготовок тонкого прошарку інших металів. Для одержання необхідного покриття заготовку вміщують у вигляді катода до електролітичної ванни, що містить сіль того металу, яким потрібно покрити предмет. Перед гальванообробкою поверхні необхідна її попередня підготовка (механічна, хімічна, електролітична). До механічної обробки належать шліфування,

полірування, піскоструйна обробка та крацювання (обробка із використанням металічних щіток). Для хімічної обробки, тобто знежирення використовують уайт-спірит, бензин, скипидар та лужні розчини. Способи нанесення розчинника різні: занурення у ванну, обробка за допомогою розчинника, розпилення розчинника на робочу поверхню. Для знежирення необхідно контролювати стан розчинника (який з часом забруднюється) і якість промивки (повне зняття розчинника з поверхні).

Для активізації процесів знежирення використовують електричне поле. У цьому разі процес називається електролітичним знежиренням. Під дією струму на деталі в наслідок хімічних реакцій активно виділяється водень, який механічно зриває з забрудненої поверхні жирову плівку. Оптимальний режим електролітичного знежирення такий: густина струму 3–8 А/дм<sup>2</sup>, температура електроліту 60–75 °С, тривалість процесу 5–10 хв. Якщо перелічені способи не очищають поверхню повністю (залишились окисли, іржа тощо), використовують вибіркоче травлення (тобто травлення таким травником, що не реагує з основним матеріалом поверхні, але розчиняє бруд). Приклад вибіркового травника – соляна кислота для травлення чорних металів, їдкий натр для травлення алюмінію тощо. Для активізації дії травника доцільно використовувати ультразвук (ультразвукове очищення).

Розглянемо головні гальванічні процеси в світлотехнічному виробництві:

1. Цинкування. Є головним способом захисту від корозії виробів із чорних металів. У процесі виготовлення СП цинкують усі кріпильні деталі, а також елементи, що спеціально не фарбуються – планки, скоби для кріплення ПРА, заціпки тощо. У багатьох випадках деталі цинкують до нанесення на них лакофарбового покриття. Корозійна стійкість оцинкованих виробів залежить від товщини оцинковки, а товщина – від умов експлуатації виробу. Для нормальних умов експлуатації достатньою є товщина оцинковки 9 мкм, для важких умов товщина оцинковки досягає 42 мкм. Для гальванічного цинкування використовують переважно сульфатні електроліти й у меншою мірою ціаністі й цинкатні (через їхню токсичність).

2. Кадміювання. Використовується для захисту від корозії сталевих виробів, що експлуатуються в умовах підвищеної вологості, тропічного чи морського клімату. Кадмій – м'який та пластичний метал, тому його

зручно використовувати для покриття різьбових з'єднань та пружин. Недоліком покриття цього типу є його висока собівартість.

3. Нікелювання. Ці покриття відзначаються низкою переваг – вони добре поліруються до дзеркального блиску, мають добру механічну та корозійну стійкість. Нікелювання широко застосовуються при виробництві СП житлових та громадських приміщень як спосіб декоративного покриття окремих елементів світильників.

4. Хромування. Використовується при виготовленні дзеркальних відбивачів СП. Перевагою хромування є високий блиск покриття, який деталь набула лише гальванічною (без додаткової механічної обробки) обробкою. Хромування виконують при густині струму 50–80 А/дм<sup>2</sup> і температурі електроліту до 70 °С. Залежно від співвідношення між температурою електроліту й густиною струму хромуванням можна одержувати різні поверхні: молочні (густина струму 50 А/дм<sup>2</sup>, температура 70 °С), блискучі (густина струму 65 А/дм<sup>2</sup>, температура 45–60 °С), матові (густина струму 80 А/дм<sup>2</sup>, температура 25–45 °С).

Для гальванізації поверхні використовують барабанні ванни, здатні обертатися (для деталей незначних розмірів), і стаціонарні ванни – для крупногабаритних деталей. Ванни – це сталеві баки, внутрішня поверхня яких оброблена кислотостійким розчином. Для підігрівання ванн передбачено зміювики. На бортах ванн умонтовано витяжки для захисту від токсичних випаровувань. Як джерела постійного струму використовують генератори постійного струму та випрямлячі. На світлотехнічних заводах гальванічні ванни вишикують у лінії, уздовж яких налагоджено прохід для підйомно-транспортних засобів.

### **Контрольні питання**

1. Конвекційне сушіння
2. Терморадіаційне й конвекційно-радіаційне сушіння.
3. Принцип гальванізації.
4. Види поверхонь, одержаних гальванічним шляхом, та їх використання у світлотехнічному виробництві.

## 15 ВИГОТОВЛЕННЯ ВІДБИВАЧІВ СВІТИЛЬНИКІВ

Як відомо, існують три основні види відбиття: дзеркальне (кут падіння дорівнює куту відбиття), дифузне (тілесний кут відбитого потоку становить  $2\pi$ ) і спрямовано-розсіяне (світловий потік відбивається у напрямках, близьких до напрямку дзеркального відбиття). Шляхом дзеркального відбиття відзначаються поліровані металічні поверхні. Дифузне відбиття забезпечують поверхні, вкриті білими емаліями. Шляхом спрямованно-розсіяного відбиття відзначаються металічні травлені або слабкополіровані поверхні. Дзеркальні відбивачі застосовуються при виготовленні світильників і прожекторів, призначених для освітлення промислових підприємств і відкритого простору. Дзеркальні відбивачі потужних прожекторів із дуговими ЛВІ (ДРІ, ДРЛ) іноді виготовляють із силікатного скла з гальванічним срібленням робочої поверхні. Дифузні відбивачі застосовують при виготовленні СП для освітлення промислових, адміністративних і жилих приміщень. Спрямовано-розсіювальні відбивачі використовують у деяких випадках для освітлення промислових приміщень.

Спосіб електрохімічного полірування та подальшого напилення використовують для дзеркальних відбивачів із ЛВІ типу ДРІ і ДНаТ. Для виготовлення відбивачів придатні лише ті метали, що мають високий коефіцієнт відбиття, відзначаються значною механічною та корозійною стійкістю та недефіцитні. З усіх металів цими властивостями характеризується лише алюміній. Його коефіцієнт відбиття 0,94. Водночас з цим алюмінієм має цінну властивість самопасивації, тобто здатність утворювати на своїй поверхні оксидні плівки  $Al_2O_3$ , які прозорі й захищають глибокі прошарки алюмінію від корозійних процесів. Так, уже через 2–3 хв на свіжополірованій поверхні алюмінію утворюється плівка  $Al_2O_3$  завтовшки 3 мкм.

На сухому, чистому повітрі така плівка зберігається протягом 4–5 років. Проте агресивне середовище (наприклад, морське повітря) швидко знищує цю плівку, що призводить до потускніння відбивачів. Для підвищення стійкості алюмінієвих відбивачів процес самопасивації активізують штучно, для чого до складу технологічних процесів виготовлення відбивачів додають додаткові операції. Штучне підсилення самопасивації називається альзак-процесом, або електрохімічним поліруванням. Сутність цих процесів одна – полірування покриття та



створення товстої прошарку плівки  $Al_2O_3$ . Найпростішим методом підсилення самопасавації у алюмінія є оксидування в лужно-кислотному електроліті (3 % розчин лужної кислоти  $HOOC-COOH$ ) при густині струму 2–4,5 А/дм<sup>2</sup> протягом 30–60 с. При цьому утворюється плівка  $Al_2O_3$  завтовшки 0,02–0,05 мм. Розповсюдженим є також спосіб кварцування – напилення у вакуумі на плівку  $Al_2O_3$  прошарку монооксиду кремнію  $SiO_2$ . Така плівка відзначається підвищеною стійкістю до впливу природного (тропічний клімат) і штучного (випаровування органічних розчинників у хімічних цехах) агресивного середовища, витримує значні перепади температур від –60 до + 80 °С і нагрівання до + 300 °С але має недолік – знижує до 5 % коефіцієнт  $\rho$ , який після такої операції не перебільшує 0,93. Кварцування не зовсім зручне та для виробництва – необхідність створення високого вакууму й високої температури на випаровувачах (до 1 800 °С), а також строгий контроль за дозуванням пасти, що містить двоокис кремнію.

З огляду на те, що алюміній є м'яким металом, для його обробки підбирають м'який абразивний інструмент (поастяні круги, змащені пастою ДОІ). Після механічного полірування виконують хімічну чи електрохімічну обробку поверхні. Разом із гальванічною часто використовують і вакуумну дзеркалізацію. Вибір матеріалу для вакуумного напилення виконують, керуючись експлуатаційними й економічними міркуваннями. За допомогою високого відбивання характеризуються плівки з срібла ( $\rho = 0,94$ ), золота ( $\rho = 0,82$ ), кадмію ( $\rho = 0,86$ ), алюмінію ( $\rho = 0,94$ ). Видно, що алюміній є найпріоритетнішим матеріалом. Крім сорту матеріалу, на його відбивальні характеристики не останню роль відіграє ступінь його чистоти – бездомішковість (*impurity*) і спектральний склад опромінення. Вплив хімічного складу алюмінію на його відбивальні властивості чітко простежується на рисунку 15.1. Видно, що використання високочистого алюмінію може сприяти збільшенню коефіцієнта  $\rho$  практично у два рази. На рисунку 15.1 зображено вплив спектрального складу джерела світла на якість ефекту дзеркального відображення від відбивача (криві 1, 1' визначено для срібла – щойно напиленого (1) і після перебування (1,5 місяця) у атмосфері; криві 2, 2' визначено для алюмінію за відповідних умов експерименту).

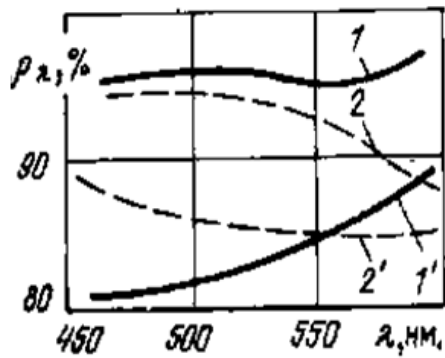
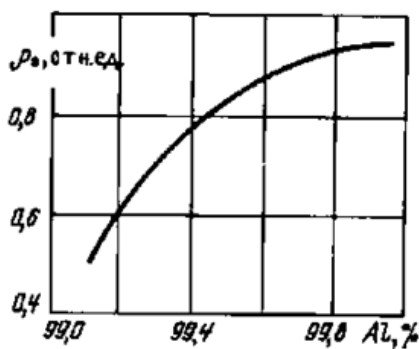


Рисунок. 15.1 – Вплив різних чинників на відбивальні характеристики металів

При вакуумному напиленні варто враховувати деякі нюанси. По-перше, плівка металу точно копіює рельєф поверхні, і якщо він недосконалий, неможливо одержати відбивачі з коефіцієнтом відбиття вище ніж 0,4–0,45. По-друге, потрібно враховувати низьку адгезію алюмінію до сталі. Тому (рис. 15.2) перед металізацією необхідно спочатку згладити поверхню (нанести на метал (1) відбивача емаль (2) для грубого та лак (3) для тонкого згладження поверхні). Після цього можна нанести покриття (4) методом катодного розпилення у вакуумі, яке вкрити лаком (5) для зовнішнього захисту. Чим товще прошарок (4), тим значніший коефіцієнт відбиття у відбивача СП, як це наочно видно з рисунка 15.3.

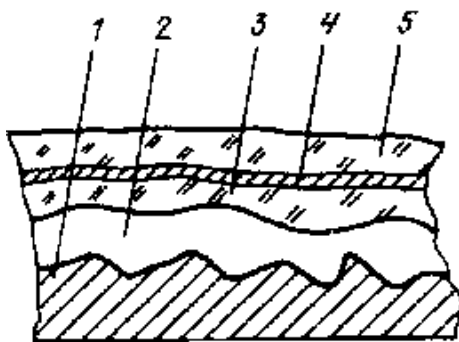


Рисунок 15.2 – Розріз відбивача

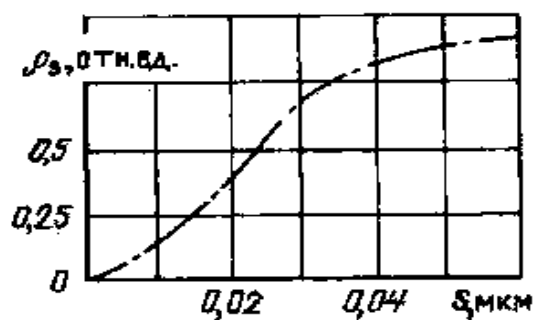


Рисунок 15.3 – Залежність  $\rho$  від товщини плівки

Лакове покриття металічної плівки є перевіреним способом захисту від впливу експлуатаційних чинників. Найрозповсюдженішим є лаки марок УВЛ-3, МЛ-255, МЧ-52, МЛ-133. Меламіноалкідний лак МЛ-133

найчастіше застосовують у світлотехнічному виробництві й наносять на робочу поверхню за технологією занурення. Товщина лакової захисної плівки звичай становить 14–18 мкм. Зниження коефіцієнта відбиття  $\rho$  на 4–6 % компенсується збільшенням терміну служби відбивачів до 8 років. Захистом алюмінієвого відбивача може бути й рідке скло. За цією технологією готові дзеркалізовані відбивачі занурюють у ванни з рідким склом. Час занурення не перебільшує 5 с, час сушіння становить 60–90 хв.

Як підкладку до виготовлення відбивачів з алюмінізованою поверхнею використовують тонколистову сталь завтовшки 0,6–0,8 мм і листовий алюміній завтовшки 1–2,5 мм. Під час складання технологічного процесу виготовлення відбивачів з алюмінізованою поверхнею потрібно послідовно визначити всі необхідні операції. Як приклад, розглянемо типову технологічну схему алюмінізації металічних відбивачів, що складається з низки обов'язкових етапів:

1 Підготовка відбивачів перед алюмінізацією:

- 1.1 Знежирення у розчині уайт-спіриту (2 хв.).
- 1.2 Промивання у гарячій проточній воді.
- 1.3 Промивання у холодній проточній воді.
- 1.4 Промивання у розчині натрієвого хромпіку (концентрація до 1,5 г/л).
- 1.5 Сушіння при температурі 80–100 °С.
- 1.6 Нанесення емалі марки У-418 способом занурення при температурі 18–20 °С;
- 1.7 Сушіння протягом 50 хв при температурі 200 °С.
- 1.8 Лакування способом занурення (лак марки УВЛ-3).  
Температура деталей перед зануренням 60–80 °С. Час затвердіння лака 15 хв.
- 1.9 Сушіння при температурі 90–130 °С (30 хв).

2 Підготовка випаровувачів до роботи:

- 2.1 Підготовка вольфрамового джгута.
- 2.2 Підготовка алюмінієвої фольги.
- 2.3 Обмотка вольфрамового джгута фольгою.

3 Обробка відбивачів електричним розрядом в інертному газі (3–4 хв.) при напрузі 2,5–3 кВ і робочому струмі 50–100 мА.

4. Алюмінізація відбивачів у вакуумі.
5. Закріплення та захист прошарку алюмінію.

## Контрольні питання

1. Види відбивальних поверхонь.
2. Обґрунтування вибору матеріалу для напилення.
3. Які чинники впливають на коефіцієнт відбиття поверхні?
4. Відбивач у розрізі. Призначення кожного з прошарків відбивача.
5. Побудова технологічної схеми виготовлення відбивача

## 16 ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ВАКУУМНОЇ МЕТАЛІЗАЦІЇ. ГАРЯЧЕ ЕМАЛЮВАННЯ

Схема установки для здійснення металізації у вакуумі наведена на рисунку 16.1. Вона складається з камери (2), яку через патрубок (1) відкачують до високого вакууму, вольфрамового джгута (3), який відіграє роль випаровувача, шматків алюмінієвої фольги (5), вагу й кількість яких розраховано на одержання металеві плівки необхідної товщини, і, власне, заготовок, що підлягають металізації, у нашому випадку набору відбивачів (4).

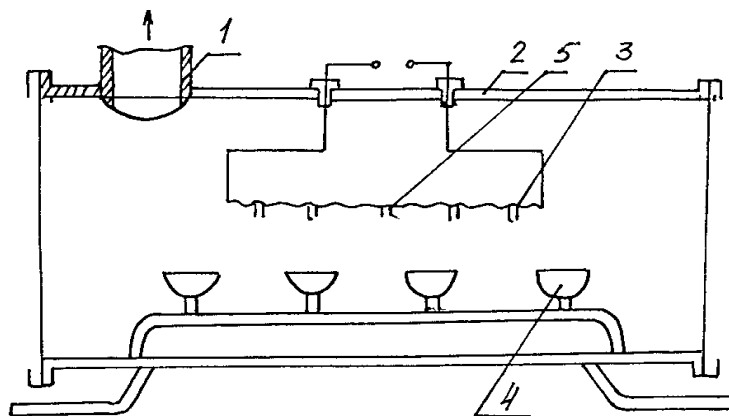


Рисунок 16.1 – Обладнання для вакуумної металізації

Вибір вольфраму як матеріалу для випаровувача цілком зрозумілий. Температура плавлення вольфраму становить  $3410\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Для випаровування алюмінію достатньою є температура приблизно  $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Тобто робоча температура металізації не є достатньою для початку процесу високотемпературної деформації вольфраму (для активізації цих процесів температура має бути принаймні  $1700\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Сам процес підготовки

випаровувачів до роботи і, власне, випаровування здійснюється у такий спосіб. З трьох–п’яти вольфрамових проволоку (одержаних методом волочіння на блочному стані через алмазну чи твердосплавну волоку) звивається джгут. На цей джгут навішують смужки фольги з високочистого алюмінію (марки А 999).

Живлення випаровувачів здійснюється від низьковольтних трансформаторів (напругою 5–30 В). Спочатку подають низьку напругу (5–10 В), що призводить до нагрівання джгута до температури приблизно 700–750 °С. Ця температура є достатньою для плавлення фольги, яка при цьому розтягується рівномірно по поверхні джгута. Випаровувач тепер фактично готовий до роботи. Тепер збільшують напругу, підвищують температуру джгута до температури випаровування алюмінію та здійснюють наплення заготовок.

Основні технічні дані для різних модифікацій вакуумних установок наведені в таблиці 16.1.

Таблиця 16.1 – Технічні дані для різних вакуумних установок

Характеристика установки	Значення характеристики			
	УВ-27М	6ВБ	УВ-18А	УВ-39
Продуктивність, м <sup>2</sup> /год	3,8	8	11	14
Діаметр камери, мм	800	1 000	1 600	1 600
Довжина камери, мм	1 025	1 500	1 900	1 500
Час циклу, хв	15	до 30	22	2
Робочий тиск, МПа	50–70	100	70	100
Граничний тиск, МПа	–	10	10	70
Встановлена потужність, кВт	12	21	41	42
Маса, кг	1 500	2 300	2 380	4 000

Гаряче емалювання є окремим ефективним способом захисту металевої поверхні відбивача. Зазвичай гарячим емалюванням захищають сталеві відбивачі, хоча цей спосіб підходить і для покриття поверхонь з алюмінію. Перевагою такого покриття є високотемпературна (до 900 °С) стійкість до агресивного середовища, довговічність і зручність під час очищення.

Емаль за своїм складом мало відрізняється від скла (головні компоненти: кварцовий пісок, польовий шпат, сода). Для підвищення коефіцієнта відбиття (для емалей він у середньому становить 0,8) до головних компонент додають такі: плавиковий шпат, кріоліт, кремнефтористий натрій, окисли олова, сурми й цирконію. Унаслідок змішування цих компонент шихта втрачає прозорість – набуває відтінку.

Процес приготування шихти стандартний: ретельне очищення, сушіння й дозування складників. Зварювання складових шихти здійснюється при температурі приблизно 1 400 °С і триває кілька годин. Коли розплав готовий, його виливають у бак із холодною водою. Скло моментально охолоджується та розтріскується на дрібні шматки – гранули. Емаль у стані гранул називають фриттою. Для того, щоб емаль можна було використовувати як покриття, його потрібно перетворити з фритти в тоніну. Тоніна – це фритта, яка змолота, подрібнена до порошкоподібного стану. Помел буває сухим і мокрим, але здійснюється однаково у кульових фарфорових млинах обертальними фарфоровими кульками діаметром до 8 см.

Тоніну мокрого помелу називають шлікером. Шлікер – це кінцева стадія скла, після якої скло вже перетворюється на емаль. Шлікер ніколи не використовують одразу після приготування, його фізичні властивості мають стабілізуватись, на що потрібен деякий час. Цей процес називають старінням шлікера. При нанесенні шлікера на метал його відпалюють, унаслідок чого поверхня металу істотно нагрівається. Для того, щоб це локальне нагрівання не призвело до руйнації металу, останній має відзначатись високою теплопровідністю та пластичністю (тобто можливостями швидко «скинути» зайві напруження, спричинені градієнтом температур). Крім того, коефіцієнт лінійного розширення металу має бути близьким до такого для емалі в робочому інтервалі температур. Емаль (як, до речі, і фарба), що нанесена безпосередньо на заготовку, не відзначається значними технологічними чи експлуатаційними показниками, тому її потрібно накладати в два прошарки. Перший прошарок шлікера називають ґрунтовим. Його призначення полягає у надійному зчепленні з металом, тобто адгезія до марки металу, з якого виготовлено відбивач, має бути його головною характеристикою. Ґрунтовий шлікер сушать при температурі 70–90 °С протягом 15–60 хв. або при температурі 120–180 °С протягом 5–10 хв, після чого відпалюють при температурі 850–900 °С. Сушіння й відпалення

можна здійснювати у муфільній печі, вона зручна можливістю послідовного підтримування різних температурних режимів.

На якість відпалу шлікера істотно впливає якість його попереднього помелу. Якщо шлікер змолотий недбало, трапляються незмолоті крупні фракції, під час нагрівання шлікера до температури плавлення на поверхні метала утворюються краплі емалі. На відміну від ґрунтового, покривний шлікер має інше призначення. Він має забезпечити максимальний коефіцієнт відбиття відбивача світлового приладу й бути стійким до зовнішнього середовища. Температурний коефіцієнт розширення покривної емалі має бути дещо нижчим, ніж у металу заготовки відбивача (цей прошарок ближчий до джерела світла, а відтак і нагрівається сильніше). Емаль, якою покрито зовнішню, опуклу поверхню відбивача, має бути дещо іншого складу, ніж «внутрішня», оскільки її коефіцієнт лінійного розширення повинен бути вищий, ніж у емалей, розглянутих раніше. Після нанесення покривного шлікера його знову сушать і відпалюють. Температурні режими для цих технологічних операцій приблизно такі, як і для ґрунтового шлікеру. Склад найрозповсюдженіших ґрунтових і покривних емалей наведено відповідно у таблицях 16.2 і 16.3.

Таблиця 16.2 – Склад (у частинах на 100 кг скла) ґрунтових емалей

Матеріал	Тип ґрунту			
	1	2	3	4
Пісок	33,5	20	24	44
Бура	51,5	55	37	20
Каолін	22	–	–	20
Польовий шпат	–	35	38	–
Сода	15,7	9	7	20
Селітра	5,9	3	6	6
Плавикий шпат	6,6	9	9	12
Окис кобальту	0,6	0,4	0,6	0,6
Окис нікелю	0,7	0,6	0,6	0,8
Окис марганцю	1,2	1	2,5	1,8

Відбивачі, виготовлені шляхом гарячого емалювання, ретельно контролюються (геометричні розміри, товщина покриття, коефіцієнт відбиття, щільність покриття).

Таблиця 16.3 – Склад покривних емалей, ваг %

Матеріал	Номер покривної емалі					
	1	2	3	4	5	6
Пісок кварцовий	16,03	45	20	30	25	30
Польовий шпат	44,8	11	37	25	30	36
Кріоліт	13,06	12,3	–	–	–	–
Борна кислота	11,87	–	14	10	17	14
Плавииковий шпат	–	7,9	–	3	–	–
Бура	–	–	22	20	25	30
Сода	10,83	19,7	5	10	2	7,2
Селітра натрієва	3,47	4,1	2	2	1	3,5

Геометричні розміри контролюють із точністю до 1 мм із використанням рулетки та з точністю до 0,1 мм штангенциркулем. Товщину покриття контролюється з точністю до 0,01 мм мікрометром і з точністю до 0,001 мм за допомогою компаратора (наприклад, моделі ІЗА-2). Інтегральний коефіцієнт відбиття контролюється за допомогою фотометра. Тонкі вимірювання виконують із використанням еталонних пластинок, які покривають ґрунтом і покривною емаллю того самого складу й за тією ж технологією, що і відбивач. Щільність емалювання перевіряють хімічним і електролітичним методами. За хімічною методикою перевірки, поверхню виробу занурюють у 2–5 %-ий розчин NaCl. У місцях дефектів (плівка емалі тонка або відсутня) деталь набуває жовтого кольору. При електролітичному методі емаль занурюють в електроліт (1%-ий розчин NaCl), і подають напругу 120В: негативний полюс до неемальованої частини, позитивний на емаль.

Електроліт необхідний для зрівняння потенціалу по всій поверхні (щоб зондувалось усе покриття, а не окремі його ділянки). Покриття вважають електрично стійким, якщо протягом 10 хв міліамперметр, підключений до мережі, не буде показувати наявний струм.

Варто відзначити, що за допомогою емалювання можна одержати поверхню та зі спрямованим розсіюванням (глянцева поверхня емалі) і дифузним розсіюванням (шорстка поверхня). Рельєф поверхні залежить не тільки від складу шлікера, алей від способу нанесення покриття. Таких способів у разі гарячого емалювання застосовують чотири: занурення, обливання, пневматичне розпилення та розпилення в електростатичному полі.



## Контрольні питання

1. Обладнання для вакуумної металізації.
2. Режим вакуумної металізації.
3. Сутність гарячого емалювання.
4. Технологічні операції для гарячого емалювання.
5. Особливості гарячого емалювання.
6. Контроль покриття, одержаного гарячим емалюванням.

## 17 СКЛАДАННЯ СВІТИЛЬНИКІВ. КОНВЕЄРНЕ СКЛАДАННЯ СВІТЛОВИХ ПРИЛАДІВ

Якщо операції виготовлення елементів СП у світлотехнічному виробництві займають приблизно 60 % робочого часу на виконання всіх робіт, то інші 40 % становлять витрати часу на складання світильників, що включає операції контролю й пакування СП.

Складання є етапом виробництва, на якому елементи СП з'єднуються у готовий виріб. Контроль є комплексом заходів перевірки якості СП поелементно й, загалом, його експлуатаційних і технічних характеристик. Упаковка світильників є необхідною для їх зберігання на складах і транспортування.

Вироби розподіляють на деталі, складальні одиниці, комплекси й комплекти. Деталь – це однорідний виріб, виготовлений без додаткових операцій складання.

Складальна одиниця – це частина виробу, одержана шляхом складання.

Комплекс – це кілька виробів, не з'єднаних складанням, що призначені для виконання взаємозв'язаних експлуатаційних функцій. Комплект – це кілька виробів, не з'єднаних шляхом складання, що мають спільні властивості допоміжного характеру.

Під час складання використовують різні типи з'єднання. Вони можуть бути рухомими (одна деталь може обертатись навколо іншої) і нерухомими. Нерухомі розподіляють на роз'ємні (гвинтове (різьба) і штифтове з'єднання, шліцові та шпонкові з'єднання, пружинні затискачі, заціпки тощо й нероз'ємні (з'єднання шляхом заклепування, склеюванням, зварення, паяння, заливання компаундами тощо).

Іноді здійснення нероз'ємних з'єднань називають чорновим складанням, а рознімних з'єднань і електромонтажних робіт – чистовим.

Чорнове складання виконують до нанесення лакофарбових покриттів, зазвичай у допоміжних цехах.

На рисунку 17.1 і 17.2 схематично наведено інформацію про основні типи нероз'ємних з'єднань й інформацію про інструмент, що використовується під час здійснення роз'ємних з'єднань.

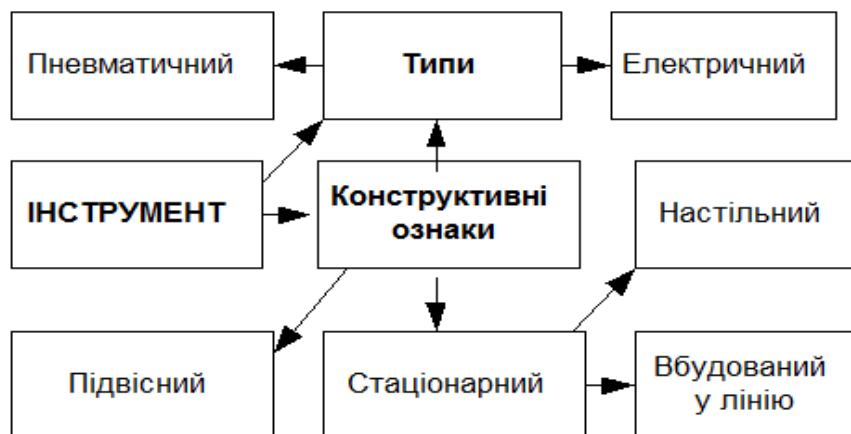


Рисунок 17.1 – Нерознімні з'єднання

Найрозповсюдженішим з'єднанням при виробництві СП є роз'ємне гвинтове з'єднання, а також з'єднання шляхом паяння та зварювання.

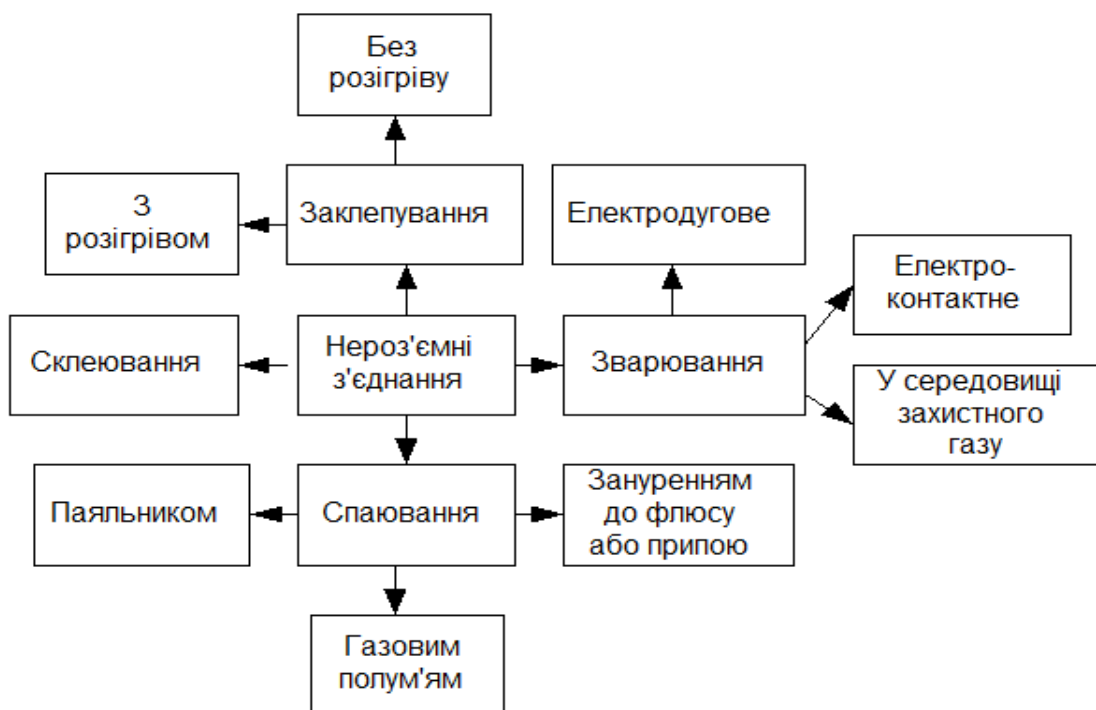


Рисунок 17.2 – Інструмент для роз'ємних з'єднань

Типовий процес складання СП такий:

1. Комплектування та подання деталей на місце складання.
2. Заготовлення проводів.
3. Складання патронів.
4. Складання СП.
5. Випробування СП.
6. Транспортування готових виробів.
7. Пакування.

У процесі виконання цих робіт керуються робочою документацією. Такою є складальні й деталювання креслення, схеми технологічного процесу виготовлення та складання СП, технічне завдання на приймання й випробування виробів, виробнича програма складання; специфікація деталей і вузлів, що підлягають складанню. Креслення мають містити розміри елементів СП і допуски на їх виготовлення та обробку, чітку інформацію (проекції, розрізи) щодо взаємного розташування деталей, конструктивні зазори тощо. Технічні завдання на приймання та контроль виробів мають відповідати вимогам ЄСКД стосовно СП конкретного типу. Виробнича програма має висвітлювати інформацію стосовно типу й маси елементів СП та річного обсягу їх випуску. Специфікації на деталі й вузли показують, яка їх кількість необхідна для складання одного виробу й номер цеху, у якому вони були виготовлені. Під час розробки технологічного процесу враховують характер робіт, що необхідно виконати, і способи цього виконання (методологія, інструмент, обладнання), час на виготовлення одного виробу, кількість і кваліфікація працівників. Залежно від типу виробництва використовують складання як на основі максимальної концентрації операцій (усі операції виконують за можливості найменшою кількістю працівників (зазвичай або невеликою бригадою) і на мінімальній виробничій площі (іноді на одному робочому місці), так і на основі їх максимального розчленування (складні операції розподілено на елементарні й кожна виконується одним чи більшою кількістю працівників). Перший тип доцільно використовувати при експериментальному виробництві, другий є зручним для поточного – масового чи серійного виробництва.

Конвеєрне складання характеризується такими ознаками:

1. Спеціалізація робітників для виконання окремих операцій.
2. Механізація транспортних засобів, що передають деталі з позиції на позицію.

3. Синхронізація складальних операцій (різні операції мають виконуватись за приблизно однакові інтервали часу).

У світлотехнічному виробництві використовують вертикально та горизонтально замкнуті конвеєри (залежно від того, у якій площині замкнуто його транспортуючий орган). Розповсюдженішими є вертикальні конвеєри. Будь-який конвеєр складається з робочих місць, оснащених електричними комунікаціями, і транспортувального органу, тобто засобу, за допомогою якого складальні одиниці переміщуються з позиції на позицію. Найрозповсюдженішими при складанні СП є стрічкові та пластинчасті конвеєри. У першому випадку роль транспортувального органу відіграє гумова стрічка завширшки до 0,8 м, що проходить через систему котушок та спрямовувальних роликів. Такий конвеєр є зручним для пересування деталей незначної ваги (до 5 кг). Його недоліком є недовговічність транспортувального органу, тобто стрічки. Цього недоліку позбавлені пластинчасті конвеєри, у яких роль транспортувального органу відіграють металічні пластини, з'єднані одна з одною. Такий конвеєр витримує важкі елементи СП (до 25 кг), але має недолік – високий рівень шуму під час перемотування пластин, який негативно впливає на продуктивність роботи працівників. Використовують також візкові конвеєри, здатні пересувати деталі вагою до 50 кг. У таблиці 17.1 для повнішого уявлення наведено основні робочі характеристики конвеєрів зазначеного типу.

Таблиця 17.1 – Характеристики конвеєрів основних типів

Характеристика	Параметр для конвеєра		
	Стрічковий	Пластинчастий	Візковий
1	2	3	4
Швидкість руху, м/хв	0,5–2	0,5–2	50–60
Кількість робочих місць	10–30	15–25	30–64
Ширина транспортувального органу, мм	500–800	400–600	–
Довжина смуги, м	12–30	–	49–60
Кількість візків	–	–	48–64
Потужність приводу, кВт	1,4	1,4	2,8

Продовження таблиці 17.1

1	2	3	4
Ритм роботи	безперервний	безперервний	пульсуючий
Габаритні розміри, мм:			
довжина	14 000–35 000	16 000–30 000	20 000–30 000
ширина	1 500–2 000	16 00–1 800	3 000–3 500
висота	700	700	700

Ритм конвеєру може бути безперервним або пульсуючим. У першому випадку працівники знімають із конвеєра деталі, виконують на робочому місці певні операції та вішають деталі знову на конвеєр. У другому випадку складальні операції виконуються безпосередньо на конвеєрі. При цьому важливо точно розрахувати час, необхідний для виконання кожної операції. Час простою конвеєра визначають за часом найбільш трудомісткої операції. Для того, щоб конвеєр працював ефективно, час простою не має бути істотно більшим, ніж час виконання окремих операцій. Цього можна досягти шляхом дублювання робочих місць та розділення трудомістких операцій на простіші. Основним показником роботи конвеєра є його темп (проміжок часу між остаточним складанням  $n-1$ -го і  $n$ -го виробів. Він розраховується за формулою:  $t = [60 \cdot D \cdot C \cdot (T_c - T_n - T_{обс} - T_{відп})] / N_p$ , де  $D$  – кількість робочих днів у році,  $C$  – кількість робочих змін на добу,  $T_c$  – тривалість зміни,  $T_n$  – час, необхідний для переналадки конвеєра,  $T_{обс}$  – час, що витрачається на поточний ремонт (обслуговування) конвеєра,  $T_{відп}$  – час на відпочинок працівників.

При поточному конвеєрному складанні з пульсуючим ритмом несвоєчасне виконання однієї з операцій зупиняє весь процес. Таке трапляється з причин зіпсування інструмента чи виявлення браку на деталі, який унеможлиблює роботу з нею, або через низьку кваліфікацію працівника.

Для підтримки стабільної роботи конвеєра на кожній позиції створюють резервний фонд деталей. У разі небезпеки гальмування потоку деталей є можливість пустити по конвеєру деталь із резервного фонду, а вільний час витратити на усунення причин простою. Розміри резервного фонду визначають відповідно до специфіки виробництва та інших чинників.

При організації конвеєрного складання потрібно врахувати

можливий у майбутньому перехід виробництва на продукцію нової номенклатури, для чого потрібно передбачити на конвеєрі додаткові вільні позиції. Це дасть можливість перейти на нове виробництво з мінімальною переналадкою конвеєру.

Рекомендують змінювати темп конвеєра протягом доби. Уранці та ввечері цей темп знижують, а всередині доби роблять максимальним. Це істотно впливає на продуктивність роботи конвеєра через урахування природного для працівників ритму роботи. На синхронність виконання операцій впливає також комплектування робочих бригад на конвеєрі. Так, літні люди мають працювати з літніми, а молоді – з молодими.

На окремих позиціях операції складання зручно автоматизувати. Зазвичай, це операції гвинтового з'єднання (з автоматичним поданням та спрямуванням гвинтів), операції змащування елементів СП та інші прості операції.

### **Контрольні питання**

1. Деталі, складальні одиниці, комплекси та комплекти.
2. Рухомі та нерухомі, роз'ємні та нероз'ємні з'єднання.
3. Робоча документація при складанні СП.
4. Конвеєрне складання. Вертикальні й горизонтальні конвеєри.
5. Типи транспортувальних органів конвеєрів.
6. Ритм і темп конвеєра.
7. Способи синхронізації виконання різних операцій і уникнення простоїв конвеєра.

## **18 КОНТРОЛЬ СВІТЛОВИХ ПРИЛАДІВ. ПАКУВАЛЬНІ ОПЕРАЦІЇ**

До основних операцій контролю СП, що виконуються на світлотехнічних підприємствах, належать такі:

1. Контроль якості механічної обробки покриттів.
2. Контроль складання світильників.
3. Контроль світлотехнічних характеристик (фотометричних параметрів СП).

Існує дві форми контролю якості механічної обробки покриттів – пасивна й активна. Пасивна форма контролю відокремлена від

виробничого процесу. Такий контроль дає змогу проаналізувати організацію підприємства щодо використання необхідного обладнання й сучасних методик за результатами тестування готової продукції. Пасивний контроль використовується та у випадках аварійного браку та зупинки поточного виробництва. Його недоліком є те, що результати перевірки продукції щодо відповідності необхідним вимогам не можуть бути враховані безпосередньо для підвищення якості дослідженої серії промислових зразків. Активна форма контролю є більш еластичним способом тестування продукції, її результати одержують без зупинки виробничого процесу й безпосередньо впливають на нього. Активна форма контролю на відміну від пасивної спрямована більше для профілактики браку, ніж для його виявлення. Для активного контролю якості механічної обробки поверхонь елементів СП використовуються електронне обладнання. Зокрема, шліфувальні верстати обладнують електронними блоками типу БВ-6230 (абсолютна похибка вимірювання  $\pm 10$  мкм); БВ-4252 ( $\pm 20$  мкм), токарні, свердлильні й фрезерні станки обладнують блоками типу БВ-4271 ( $\pm 2$  мкм) та БВ-4272 ( $\pm 2$  мкм).

Окремим напрямом контролю поверхні елементів СП є контроль виготовлення відбивачів СП. Це є найважливішою стадією контролю СП загалом, оскільки відомо, що форма відбивача є відповідальною за форму фотометричного тіла виготовленого світильника. Існують якісні й кількісні методики оцінки ступеня обробки поверхні відбивача. Якісні оцінки зазвичай, зводяться до аналізу рефлексів (світлових плям), одержаних шляхом відбивання випромінювання джерела світла відбивачем. Існують еталонні картини рефлексів, із якими порівнюються світлові картини вироблених СП. За аберациями цих рефлексів, тобто відхиленням від еталонного розташування роблять висновки щодо якості поверхні відбивача. При цьому тип джерела світла, режим його електричного живлення та розташування в СП є таким, як при еталонному вимірюванні. Якісні оцінки не є, строго кажучи, точними, тому їх застосування є обмеженим, наприклад, експериментальним виробництвом. Більшого розповсюдження набули кількісні оцінки якості обробки поверхні відбивачів. Для їх отримання широко використовують спеціальне обладнання – абєрографи. Схема їх наведена на рисунку 18.1.

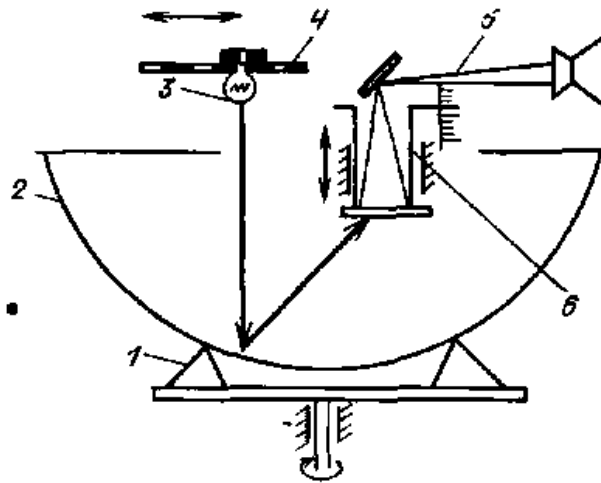


Рисунок 18.1 – Аберограф

Аберограф працює у такий спосіб. На лінійці (4) закріплено освітлювач (3), який випромінює світло у вузькому тілесному куті так, що він може вільно пересуватися вздовж лінійки. Промінь відбивається від відбивача (2) і прямує до оптичної системи (5), яка оснащена тубусом (6) з матованою пластиною з перехрестям.

Оптична система має ступені свободи у вертикальній і горизонтальній площинах, завдяки чому можна добитися попадання відбитого променя у центр перехрестя. Після цього починається тестування поверхні відбивача при фіксованому положенні освітлювача шляхом обертання системи (5) у горизонтальній площині. Якщо на зондувальній ділянці поверхня відбивача є гладкою, промінь не виходитиме з центра перехрестя. Після цього освітлювач переміщують уздовж лінійки в нове положення й повторюють експеримент. Задовільна якість відбивача підтверджується незначними аберациями світлового променя.

Криві поздовжньої аберації називають аберограмами, і вони є досить інформативні щодо виявлення дефектів штампування відбивачів. Точність фіксації освітлювача й оптичної системи становить 0,1 мм. При цьому аберації можна оцінювати як у одиницях лінійної шкали (мм), так і в одиницях світлоприймальної системи – селенового фотоелемента, фотоелектронного помножувача (ФЕП) і, наприклад, вольтметра.

Крім якості штампування, визначають і якість світлотехнічного покриття поверхні. Насамперед, це якість лакофарбових покриттів. При цьому контролюють якість фарби чи лаку шляхом заміру її в'язкості за



допомогою (віскозиметра типу ВЗ-4), якість власне покриття (надрізами та відшаруванням прошарку покриття, випробуваннями на міцність і еластичність) і його товщина (із використанням мікрометрів чи іншого спеціального обладнання).

Приділяють увагу та контролю якість гальванічних покриттів. Тут контролюється як режим гальванізації (кислотність електроліту, його температура, густина струму), так і поверхня, оброблена в гальванічний спосіб.

Товщина гальванічного покриття (як і при контролі лакофарбових покриттів) визначається фізичними та хімічними способами – за допомогою оптичних приладів чи шляхом травлення. Фізичні способи є привабливішими, бо ґрунтуються на безруйнівних методиках контролю.

Процес гарячого емалювання також підлягає контролю. При цьому контролюється процес підготовки шихти та шлікера, нанесення шлікера на поверхню та його відпалення. Крім того, контролюється товщина покриття й удароміцність (гальванічний прошарок має витримувати контрольний удар приладу маятникового типу без руйнації). Твердість покриття можна відстежувати за шкалою Мооса шляхом нанесення контрольних подряпин.

Світлотехнічні характеристики покриттів (інтегральні та спектральні коефіцієнти відбиття та пропущення, білизна поверхні, координати кольоровості) контролюють фотометрами (типу ФШУ-2М і ФМШ-56), компараторами (типу ЕКЦ-1), колориметрами (типу УФК-1, ТК-2, КНО-3), системами «джерело – монохроматор – ФЕП – приймач випромінювання», блискомірами різних модифікацій (ФБ-2, ФБ-5) тощо.

Контроль якості складання СП полягає у перевірці якості з'єднань і складання СП загалом.

Якість склеювальних з'єднань перевіряють візуально й окремими випробуваннями (деформування на відривання, розтягування та стиснення одночасно з нагрівання у робочому діапазоні температур).

Якість зварювання контролюють перевіркою вихідних матеріалів (електродів, зварювальної проволочи, флюсу тощо), обладнання (зварювальних апаратів) і готової продукції. Крім того, контролюються (за допомогою контрольних шаблонів) розміри зварювальних швів, що мають відповідати специфікації на виріб.

Якщо зварюванню підлягають світильники, призначені для експлуатації у важких умовах (вибухозахищені й підводні СП), зварювальні шви проходять окрему перевірку на міцність в умовах

гідравлічних і пневматичних випробувань. Тиск при таких випробуваннях перевищує робочий тиск приблизно в два рази. Використовують також і твердотільні методи дослідження дефектної структури – рентгенівські й ультразвукові.

Якість паяння перевіряють менш строго – зазвичай візуально. Занижена площа шва паяння та наявність внутрішніх дефектів неістотно впливають на міцність з'єднання. Визначили, що ці характеристики можуть зменшити міцність паяння не більше ніж на 15–20 %.

Якість гвинтового з'єднання окремо не перевіряють. Вона забезпечується або через наявність конструктивних рішень (граверні шайби), або завдяки гарантованим зусиллям автоматизованих гвинтовертів (при поточному масовому й крупносерійному виробництві ці операції переважно автоматизовані). Зусилля затяжки гвинтів контролюють за допомогою динамометрів із похибкою вимірювання  $\pm 0,1$  Н.

Якість складання СП загалом перевіряють стендовими вимірюваннями. Стенди дають змогу контролювати такі характеристики роботи СП, як безшумність роботи ПРА, замикання контактів стартерів при поданні на них напруги 130–220 В, опір ізоляції (у холодному стані має становити не менше 20 МОм при напрузі 0,5 кВ) тощо.

Вироблені світильники підлягають приймально-складальним, періодичним і типовим випробуванням. Приймально-складальні випробування зазвичай, проводять для незначних серій СП (до 1 % від усієї партії). Якщо при цьому виявляється значний відсоток браку перевіряють усю партію (так звана суцільна перевірка).

Періодичні випробування проводять не менше ніж два рази на рік, хоча графік перевірки, залежно від специфіки виробів, може змінюватись. Обсяг перевірки становить значний відсоток від партії СП, що підлягає контролю.

Типові випробування проводять у разі переходу виробництва на нові модифікації світильників, або для внесення значних змін до існуючих конструкцій і схем технологічних процесів виготовлення та складання СП.

У таблиці 18.1 наведено класифікацію обладнання для контролю та випробування світильників.

Таблиця 18.1 – Класифікація обладнання для контролю та випробування СП

Клас обладнання – спеціальне технологічне		
Підклас обладнання	Група Обладнання	Підгрупа обладнання
11 Операції контролю	11.1 Прилади контрольно-вимірвальні	11.1.1 Для контролю параметрів оптичного випромінювання 11.1.2 Для контролю фотометричних параметрів світлотехнічних матеріалів і деталей конструкцій 11.1.3 Для контролю електричних параметрів 11.1.4 Для контролю геометричних параметрів
	11.2 Обладнання випробувальне	11.2.1 Для електричних випробувань 11.2.2 Для механічних випробувань 11.2.3 Для кліматичних випробувань 11.2.4 Для теплових випробувань
	11.3 Засоби вимірювань 11.4 Засоби механізації та автоматизації	–

До світлотехнічних випробувань СП належать вимірювання освітленості, створеної світлою поверхнею світильника, світлового потоку, яскравості й захисного кута при включенні світильників до мережі змінного струму з частотою 50 Гц у разі синусоїдальної форми кривої напруги від часу. Для чистоти експерименту стежать за тим, щоб коливання напруги в мережі не перевищувала  $\pm 1\%$  від номінального значення. У разі врахування цих особливостей похибка світлотехнічних вимірювань не перевищує 5–10 %.

Вимірювання світлотехнічних характеристик проводять за схемою, наведеною на рисунку 18.2.

Як видно з рисунка, оптична система складається з обертального пристрою (1) і досліджувального світильника (2), на змінній відстані  $L$  від якої може розташовуватись світлоприймальна система, що складається з

фотоелемента (4), закритого тубусом (3) (для запобігання надходженню на приймач стороннього світла). Приймач градується еталонним джерелом світла та перетворюється фактично на люксметр. На такій установці можна виміряти поздовжні й поперечні криві сили світла та розрахувати за експериментальними даними повний світловий потік СП, його ККД і коефіцієнт підсилення. Вибір методики обчислення світлового потоку СП здійснюється з урахуванням кількості осей симетрії СП.

Світлотехнічні параметри можуть бути визначені й за допомогою фотометричної кулі. Для світильників вуличного та промислового освітлення її діаметр становить 3 м.

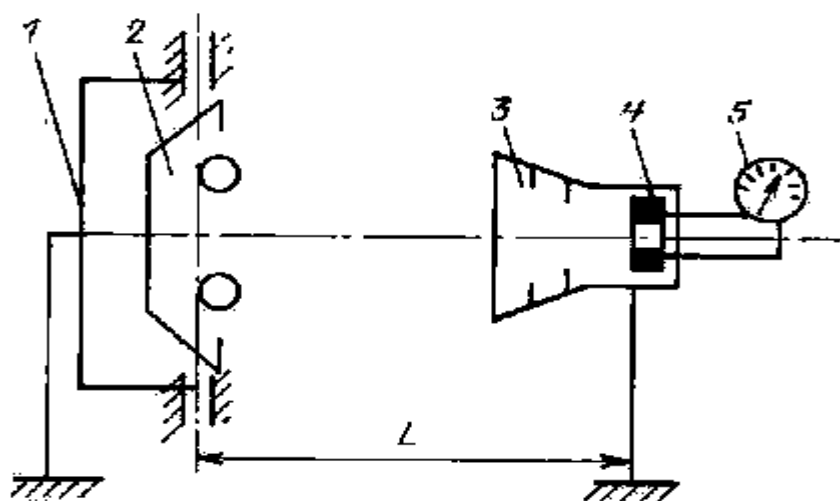


Рисунок 18.2 – Установка для визначення сили світла й освітленості, що створюється СП

Крім світлотехнічних випробувань, СП здійснюють також інші випробування: електротехнічні (перевірка роботи електричної схеми, визначення опору та електричної міцності ізоляції, коефіцієнта потужності тощо), теплові (вимір за допомогою термопарами температури елементів СП у робочому інтервалі температур), механічні (перевірка міцності й надійності вузлів кріплення елементів СП на вібростендах) і кліматичні (перевірка СП у спеціальних камерах, які імітують агресивне середовище).

Пакування СП здійснюється відповідно до технічних вимог і спрямоване на вирішення низки виробничо-організаційних питань: зберігання готової продукції на складах (з огляду на особливості стану приміщень, відведених згідно зі виробничим процесом для цього), транспортування (з огляду на засоби транспортування до замовника) і

реалізації (вибір пакування має бути зроблено не тільки з огляду на функціональні, але й естетичних вимог до продукції).

### **Контрольні питання**

1. Контроль якості механічної обробки покриттів.
2. Контроль складання світильників.
3. Контроль світлотехнічних характеристик.
4. Принцип дії абєрографа.
5. Види випробувань СП. Класифікація обладнання.
6. Світлотехнічні й інші випробування СП.
7. Головні вимоги до пакування світлотехнічної продукції.

## **19 ЕЛЕКТРОЛАМПОВЕ СКЛО: ВИМОГИ Й ТИПОВІ ДЕФЕКТИ**

Для виготовлення електричних ламп застосовують штучне й вагове скло. До штучного належать колби, до вагового – суцільні й порожнисті дроти. Суцільні дроти діаметром 3–4 мм застосовують для виготовлення штабиків; порожнисті зовнішнім діаметром 2,8–4,4 мм і товщиною стінок 0,5–0,8 мм – для виготовлення штенгелей (відкачних трубок); діаметром 7–8 мм і товщиною стінок 0,6–0,8 мм, а також діаметром 10–15 мм і товщиною стінок 0,7–1 мм — для виготовлення тарілок; діаметром 7–8 мм і товщиною стінок 0,8–1 мм, а також діаметром 14–15 мм і товщиною стінок 0,8–1 мм – для виготовлення мініатюрних колб.

До електролампового скла висувають низку технічних вимог, у разі недотримання яких підвищується брак або знижується якість ламп.

1. Скло має бути безбарвним і прозорим. За можливості весь світловий потік, що випромінюється тілом розжарювання, має проходити крізь стінки колби. Проте приготувати абсолютно світлопрозоре скло практично неможливо, тому допускають виготовлення колб з незначними відтінками. Іноді застосовують колби з опалового, матового або кольорового скла. У цих випадках йдуть на зменшення пропускання світла колбою, але виграють на інших властивостях лампи.

2. Скло має бути міцним. Воно має відзначатись деякою пружністю та не тріскатися при невеликих струсах і ударах. Зазвичай колби ламп

знають механічного впливу під час транспортування й обробки на технологічних операціях. Крім того, на кожний квадратний сантиметр зовнішньої поверхні вакуумних ламп далі – (ЛР) постійно діє сила близько 1 кг (атмосферний тиск), не врівноважена тиском на внутрішню поверхню. Колби мають витримувати всі ці дії без пошкодження. Проте електроламповому склу, як і будь-якому іншому склу, властива певна крихкість, і уникнути її повною мірою неможливо; тому на всіх операціях виготовлення у транспортування колб і ламп навіть за умови дотримання заходів безпеки спостерігається певний відсоток бою.

3. Скло має бути термічно стійким. Термічною стійкістю називають властивість скла витримувати без руйнування різкі зміни температури. Термічно нестійке скло під час зіткнення з нагрітими металевими деталями машин або під час введення в полум'я пальників тріскається. Висока термічна стійкість скла особливо потрібна для ламп високої потужності, схильних у процесі експлуатації до різких змін температури.

4. Скло має бути хімічно стійким. Хімічною стійкістю називають здатність скла переносити без потьмяніння дію атмосферних і кліматичних впливів, вологи, кислот і лугів. Скло не має псуватися у вологому повітрі. Зберігання скла на складах не має призвести до зменшення його прозорості.

5. Скло повинне мати сталий хімічний склад. Суміш матеріалів, із якої виготовляють скло, має заготовлятися за чітко заданим рецептом. Хімічний аналіз готового скла повинен давати постійні результати. Ці разі одночасної обробки стекел різних хімічних складів вогні на машинах, відрегульовані стосовно скла одного складу, неправильно обробляють скло іншого складу.

6. Скло має бути легкоплавким, тобто бути здатним до розм'якшування при порівняно низькій температурі (близько 550 °С). Легкоплавкі стекла швидко варяться та обробляються. Крім того, легкоплавкі стекла вимагають для обробки слабкіші вогні і, отже, менших енергетичних витрат, ніж тугоплавкі. Проте скло не повинне бути дуже легкоплавким, щоб не було деформації колб під час відкачування ламп. Бажано, щоб скло для ніжок розм'якшувалося при нижчій температурі, ніж скло для колб, оскільки ніжку у разі збирання ламп нагріваються через стінки колби й шар повітря між колбою та ніжкою. Однакова температура розм'якшення ніжки й колби утрудняє їх зварювання. Для виготовлення деяких спеціальних ламп (потужних прожекторних, кінопроекційних

тощо), що визначаються високою робочою температурою колби й ніжки, щоб уникнути розм'якшення та спучення скляних деталей застосовують більш тугоплавке скло, що розм'якшується при температурі близько 580 °С.

7. Скло має мати при робочій температурі лампи мінімальну електропровідність. Недотримання цієї вимоги призводить до витoku струму через скло або короткого замикання в лампі. Добрі електроізоляційні властивості скла дають змогу підводити до лампи порівняно високу напругу.

8. Скло має мати коефіцієнт теплового розширення в чітко встановлених межах. Для міцного зварювання одних скляних деталей з іншими, а також для герметичного спаювання скляних деталей із металевими необхідно, щоб вони мали достатньо близькі коефіцієнти розширення, інакше скло у разі охолодження й нагрівання розтріскується, або в місцях зварювання порушується герметичність.

9. Вироби зі скла мають бути однаковими за формою та мати постійні геометричні розміри. Ці розміри вказуються в таблицях і кресленнях, що додаються до технічних вимог на вироби. До розмірів дротів висувають особливо жорсткі вимоги: вони мають бути прямолінійними; їхній поперечний переріз має бути круглим; товщина стінок має бути однорідною; довжина має бути не менше 0,75–1 м. У довгих дротів зменшуються втрати скла й підвищується продуктивність верстатів при поточному виготовленні продукції. Будь-які автомати, призначені для обробки скла, мають точно встановлені розміри своїх робочих і контрольних вузлів і настраюються на незмінний вогняний режим, тому обробка скляних напівфабрикатів, розміри яких відхиляються від нормальних, спричиняє брак. Проте скляні вироби не можна виготовляти з такою самою точністю, як, наприклад, металеві, унаслідок чого на кожен заданий номінальний розмір встановлюють найбільші допустимі відхилення (допуски).

Суворе дотримання допусків має важливе значення як для підприємств, що одержують скло від декількох постачальників, так і для підприємств, що поставляють скло для декількох споживачів.

Скло одержують завдяки сумісному сплавленню низки сипких матеріалів. Однорідну суміш цих матеріалів, підготовлену до завантаження в скловарну піч, називають *скляною шихтою*. Кожному складу шихти

відповідає скло певних властивостей. У довідковій літературі наведено низку рецептів шихти для варіння електролампового скла.

Головним складником шихти за цими рецептами є кварцевий пісок (кремнезем). Для вироблення електролампового скла застосовують пісок із домішками глинозему не більше 2 % і оксидів заліза не більше 0,2 %. Пісок, що не відповідає цим умовам, відмивають від глинозему водою та очищають від оксидів заліза магнітним сепаратором. У разі плавлення пісок перетворюється на в'язку склоподібну масу (кварцеве скло). Таке скло тугоплавке й дуже дороге. Його для виготовлення ламп розжарювання не застосовують.

Другим складником шихти є кальцинована (зневожена) сода. Цим лугом у скло вводять окисел натрію, що робить скло легкоплавким. Скло, приготовлене з піску та соди, визначається низькою хімічною стійкістю та здатністю розчинятися у воді. Соду іноді частково замінюють іншим лугом, наприклад поташем або калієвою селітрою. Цими солями в скло вводять окисел калію, який, як і окисел натрію, робить його легкоплавким. Крім того, окисел калію додає склу чистіший відтінок і у разі введення в невеликій кількості робить скло хімічно стійкішим, ніж при введенні одного окислу натрію.

До найпоширеніших видів дефектів скла належать *каміння*, *свіль* і *бульбашки*.

*Камінням* називають зерна скла, що погано проварилося, або крупинки сторонніх кристалічних включень, що потрапили в скломасу, створюючи на виробі здуття, відчутні рукою.

*Свілем* називають порівняно різкі склоподібні прозорі нитки, що хаотично розподілені за об'ємом виробу.

*Бульбашками* називають газові включення, не видалені зі скломаси під час варіння.

Усі три дефекти спостерігаються насамперед у наслідок недотримання встановленої технології приготування шихти й варіння скломаси, а також застосування недоброякісного матеріалу при кладці печі.

*Шамотне каміння* виникає через потрапляння у скломасу крупних зерен шамоту, що є основою для внутрішнього шару високотемпературної печі. Сприятливими умовами для роз'їдання шамоту скломасою є надмірно висока температура в печі, коливання рівня скломаси в басейні печі й великий зміст лугів або свинцевого сурику в шихті. Велике шамотне



каміння дає тріщину у виробі відразу після його видування. Для унеможливлення виникнення шамотного каміння у товщі виробу потрібно застосуванням шамотні бруски високої якості та знижувати температуру варіння скломаси.

*Шихтне каміння* з'являється завдяки окремих зерен піску, доломіту й інших тугоплавких компонентів шихти, що не розплавилися й не перейшли в скло. Таке каміння може утворитися внаслідок поганого подрібнення та просіювання матеріалів шихти, наприклад, коли сита для просіювання недостатньо дрібні або зіпсовані. Шихтне каміння також з'являється, якщо шихта погано перемішана. Шихтне каміння часто з'являється при низькій температурі в печі та великому об'ємі стекла; за цих умов скломаса, не встигаючи достатньо проваритися, надто швидко переміщається з варильного відділення до апаратів виготовлення виробів. На відміну від шамотного каміння шихтне каміння зазвичай спричиняє розтріскування скла. Каміння шихтного походження не виникає у разі підвищення температури варіння скломаси, зменшення об'єму скла, ретельному контролі за дотриманням технології приготування шихти та завантаженням її в піч.

Каміння може бути *непрозорим* або *прозорим*.

*Непрозоре* з'являється тоді, коли воно потрапляє у виріб після короткочасного перебування в скломасі та не встигає в ній розчинитися.

*Прозоре* з'являється тоді, коли воно потрапляє у виріб після тривалого перебування в скломасі та встигає частково в ній розчинитися. Абсолютно прозоре шихтне каміння називають *шліром*.

*Свіль* має інший хімічний склад, ніж основна маса скла. У готових виробках свіль різко виділяється різницею в заломленні світла та спотворює форму предметів, на які дивляться через скло. Свіль може у разі видування розтягнутися у вигляді прожилків по всьому виробу. Вона часто бере свій початок від прозорого шамотного каміння й відходить від нього у вигляді коротких або довгих вусів. Свіль виникає при низькій температурі в кінці стадії освітлення. Вона може також виникати у разі неточного важення матеріалів шихти й застосуванні «чужого» бою під час варіння скла. Крім того, свіль, як і каміння, виникає внаслідок розшаровування або поганого перемішування шихти, недостатнього проварювання скломаси в печі, поганій якості шамоту та дії на нього лужного пилу. Луги, з'єднуючись у варильній частині з глиноземом, що входить до складу шамоту, і кремнеземом, утворюють склоподібні сполучення, що нерівномірно

розчиняються в скломасі. У разі зниження рівня скломаси з ділянок стін варильного басейну, що оголяються, стікають шари скломаси, які відрізняються за складом від загальної маси скла, унаслідок чого утворюється свілі.

*Бульбашки* з'являються переважно внаслідок поганого проварювання шихти. У скломасу потрапляє захоплене між зернами шихти повітря та адсорбовані шихтою пари води. Крім того, у скломасі в результаті хімічних реакцій утворюються вуглекислий, сірчистий і інші гази. Ці пари й гази виходять як бульбашки на поверхню та пересуваються з продуктами горіння в димар. Бульбашки тим легше виходять, чим вони більше й чим менше в'язкість скломаси. При недостатньо високій температурі, гази залишаються в скломасі й потрапляють у набір у вигляді круглих або овальних включень. Під час витягування дротів бульбашки перетворюється на капілярний канал.

Каміння, свіль і бульбашки порушують однорідність, прозорість і міцність скла та псують зовнішній вигляд виробів. Проте не всі вироби з такими дефектами потрібно бракувати. Наприклад, великі колби з невеликою кількістю маленьких бульбашок не варто відносити до браку. Не варто також бракувати колби з м'яким, не різко вираженим свілем або колби з камінням, свілем і бульбашками, що розташовані в нижній частині горла колби, тобто в тій її частині, яка має відрізатися під час заварювання ламп. Колби з камінням, навіть найменшим, що розташоване вище за зону заварювання, необхідно однозначно бракувати.

### **Контрольні питання:**

1. Вимоги до електролампового скла.
2. Види дефектів скла.
3. Запобігання виникненню дефектів у склі.

## **20 ЕЛЕКТРОЛАМПОВЕ СКЛО: ВНУТРІШНІ НАПРУЖЕННЯ ТА ВІДПАЛЕННЯ**

Тепло, що передається скляному виробу, розповсюджується по всій масі виробу не відразу, а з деякою швидкістю. Тому різні ділянки виробу неоднаково розширюються від нагрівання та стискаються від

охолодження. Наприклад, ділянки скла, що ближче до полум'я, розширюються швидше й сильніше за ділянки, віддалені від полум'я; суцільні вироби при охолодженні стискаються на поверхні сильніше, ніж в об'ємі; порожнисті вироби під час охолодження стискаються на зовнішній поверхні швидше, ніж на внутрішній. Нерівномірне розширення у разі нагрівання або стиснення під час охолодження, що викликається температурним перепадом між різними шарами скла, спонукає частинки скла чинити тиск одне на одного. Це тиск, вимірюваний силами взаємодії між частинками, віднесеними до одиниці площі перерізу, називають внутрішнім напруженням, що є невидимим, прихованим дефектом скла.

Внутрішнє напруження може мати тимчасовий і постійний характер. Напруження, що зникає після вирівнювання температури в різних шарах скла, називають *тимчасовими*. Таке напруження виникає у разі швидкого охолодження або нагрівання скла в межах температур нижче за точку розм'якшення, тобто коли, скло залишається твердим. Скло, в якому виникає велика тимчасова напруга, відзначається малою термічною стійкістю.

Напруження, що зберігається після вирівнювання температури в різних шарах скла, називається *постійною* або *залишковою*. Воно виникає у разі швидкого охолодження скла в інтервалі температур, що починається вище за точку розм'якшення скла, тобто коли частинки скла стають рухомими. Внутрішні шари скла, перебувають в пластичному стані, стискаються, до того їхня густина збільшується порівняно з густиною зовнішніх шарів. Це нерівномірний розподіл густини зберігається й після охолодження скла, що є причиною утворення залишкового напруження, здатної призвести до розтріскування скла без видимих причин. Скло погано проводить тепло. Скляний штабик, нагрітий з одного кінця до розм'якшення, може залишатися з іншого кінця холодним.

Ця властивість скла також створює сприятливі умови для виникнення внутрішнього напруження. Зі збільшенням різниці температур рівень внутрішніх напружень зростає. Стиснення під час охолодження відбувається тим сильніше, чим вище коефіцієнт розширення скла, тому в стеклах із високим коефіцієнтом розширення виникає значніше внутрішнє напруження, ніж у стеклах із низьким коефіцієнтом розширення. Під час охолодження спаїв скла з металом створюється внутрішнє напруження в склі й металі. Величина напруження залежить від різниці коефіцієнтів

розширення скла та металу. Велика різниця може призвести до розтріскування скла.

Напруження зростає із збільшенням товщини виробів. На поверхні розігрітого до розм'якшення й потім швидко охолодженого товстостінного виробу утворюється твердий скляний прошарок, що перешкоджає стисненню внутрішніх шарів скла. Ці шари залишаються в розтягнутому стані. На відміну від товстостінних, тонкостінні вироби можуть бути нагріті і охолоджені без утворення напруження.

У виробах із нерівномірною товщиною стінок і виробах із різкими переходами товстих стінок у тонкі легше виникає внутрішнє напруження. Напруження може виникати від попадання на розігріте скло випадкових бризок води й зіткнення розігрітого скла з холодними металевими предметами. Напруження також виникає внаслідок незадовільного регулювання вогнів газових пальників або засмічення отворів пальників твердими частинками, що скривлюють траєкторію подачі вогнів.

Розтріскування скляних виробів може відбуватися через невизначений час після виникнення напруження. Може бути достатньо незначного місцевого збільшення напруження під впливом слабого нагрівання або легкого удару, щоб в склі без видимої причини утворилася тріщина. Ця особливість скла є причиною високого браку скляних у виробництві ламп. При виробництві елементів СП зі скла відсоток браку за статистикою суттєво нижчий.

На сторінках цього конспекту вже вказувалось на необхідність відпалу скловиробів при виробництві СП для зменшення рівня внутрішніх напружень. У контексті виготовлення скловиробів у межах електролампового виробництва ця проблема відчутно загострюється і, відтак, потребує докладнішого розгляду.

У розм'якшеному склі напруження існувати не можуть, оскільки його частинки перебуває у легкокорухомому стані. Якщо нагрівати скляний виріб до температури розм'якшення або до температури, близької до температури розм'якшення, то напруга в склі обов'язково зникне. Проте як тільки скло почне швидко охолоджуватись, у ньому знову виникне залишкове напруження. Кожне нагрівання скла до температури розм'якшення призводить до усунення старого напруження, а кожне прискорене охолодження – до утворення нових напружень.

Під час обробки скла вогнями потрібно намагатись попереджати виникнення напруження. Для цього існують два способи. За першим

способом пальники на машинах розташовують так і вогні встановлюють такі, щоб скло поступово нагрівалося, доводилося до розм'якшення, набувало необхідного рівня деформації та потім поволі охолоджувалося. При такому способі всі ділянки скла розширюються від нагрівання та стискаються від охолодження без утворення значного напруження.

Другий спосіб полягає в тому, що в тих випадках, коли скло потребує наявності двох послідовних операцій обробки, пов'язаних із нагріванням, другу операцію проводять безпосередньо після першої, поки скло не встигло охолонути. У разі поєднання операцій нагрівання зменшується напруження, що виникає під час охолодження скла на першій операції та нагріву на другій.

Часто профілактичні заходи зменшення внутрішньої напруги виявляються недостатніми, наприклад трапляються випадки, коли технологічний процес обробки деталей не дає змогу поволі охолоджувати скло або коли недоцільно завантажувати обладнання повільним охолодженням скла.

У таких випадках напруження знімають шляхом відпалення та нагрівання скла в спеціальних печах до температури, близької до точки розм'якшення з подальшим повільним охолодженням. Частинки скла в розігрітому стані набувають деякої рухливості та у разі повільного й поступового охолодження рівномірно стискаються, не чинячи один на одного тиску. Такий спосіб попередження або зняття напруження або зменшення його до безпечного для міцності скла ступеня називають *відпаленням*.

Найнижчу температуру скла, при якій напруга починає зникати, називають *нижньою температурою відпалення*, а найнижчу температуру, при якій напруження майже повністю зникає, називають *верхньою температурою відпалення*.

Стан скла при *нижній* температурі відпалення характеризується тим, що воно ще тверде, і його молекулярні частинки ще не набули достатньої рухливості. Стан скла при *верхній* температурі відпалення характеризується тим, що воно ще не змінює своєї форми, але його молекулярні частинки достатньо рухомі, їхня швидкість однакова у всьому об'ємі й вони можуть переміщатися в склі без напруження. Нижню температуру відпалення можна охарактеризувати як температуру, при якій зникають перші 5 % напруження, а верхню – як температуру, при якій

зникає 95 % напруги. Область температури між нижньою та верхньою температурами відпалення називають *зоною відпалення*.

Щоб правильно відпалити скляний виріб, потрібно швидко його нагрівати до верхньої температури відпалення, якийсь час витримати при цій температурі, поки напруження не зникне, і потім, щоб при подальшому охолодженні не виникло нового залишкового внутрішнього напруження, поволі остудити його до нижньої температури відпалу. Подальше охолодження можна вести швидко, оскільки залишкова напруження тут вже виникнути не може. Для відпалення виробів з електролампового скла можуть використовуватись муфельні печі, схема одної з яких вже розглянута на сторінках цього навчального посібника.

### **Контрольні питання**

1. Природа виникнення внутрішніх напружень у склі.
2. Запобігання виникненню внутрішніх напружень і відпал скла.

## **21 ЕЛЕКТРОЛАМПОВЕ СКЛО: ВИГОТОВЛЕННЯ ТА КОНТРОЛЬ СКЛЯНИХ ДРОТІВ І ДЕТАЛЕЙ ЛАМП ІЗ НИХ**

Виробництво дротів є повністю автоматизованим процесом і полягає у такому. Зварена скломаса з ванної печі поступає у довгий робочий канал, розділений вогнетривкими перегородками на підігрівальні й підмашинні камери. У підігрівальних камерах скломасу підтримують при температурі близько 1 250 °С, а з підмашинних камер пластичну скломасу набирають витягальними апаратами. На поверхні розплавленої скломаси в підмашинних камерах плавають занурені на деяку глибину шамотні човники з двома або трьома круглими отворами, що дають змогу витягати одночасно по два або три дроти. В'язка скломаса видавлюється через отвори й тягнеться вгору у вигляді нескінченних дротів. Під час витягування порожнистих дротів в отвори човника вставляють ковпачки з внутрішнім каналом, через який вдувають стисле повітря. Під час міру видалення від човника дріт, що тягнеться, поступово охолоджується, твердіє та на висоті декількох метрів від човника захоплюється затискачами вертикального конвеєра. Зверху конвеєр обладнаний пристроєм, що надрізає та відламує охолоджений дріт на відрізки потрібної сталості

довжини. Відрізаний дріт звільняється від затисків і потрапляє до транспортера. Після установки нового човника або обривання дроту скло спочатку спрямовують догори «приманкою». Піднімаючись на достатню висоту, приманка захоплюється конвеєрним затиском. Діаметр і товщину стінок дроту регулюють завдяки швидкості руху конвеєра, глибини посадки човника в скломасі, тиску вдуваного повітря та розмірами робочих отворів у човнику й ковпачку. Для плавного регулювання швидкості витягування механізм тяги приводиться в дію за допомогою електродвигуна постійного струму.

Електролампові заводи, що не мають власного виробництва вагового скла, піддають отримані дроти розпаковуванню, калібруванню, бракуванню та різанню.

Розпаковані дроти калібрують із використанням пружинного стінкоміру по товщині стінок (рис. 21.1). В одній партії скла товщина стінок не повинна відрізнятись більше ніж на 0,1 мм. Допускається різна товщина в будь-якому поперечному перетині трубок, якщо вона не перевищує меж допусків на товщину стінок.

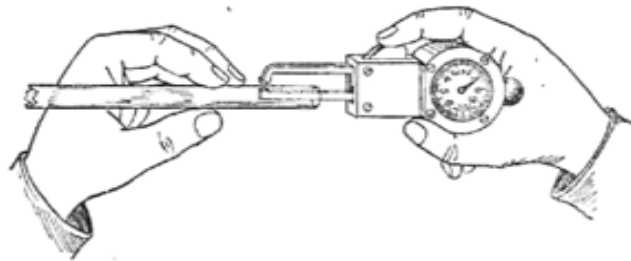


Рисунок 21.1 – Пружинний стінкомір

Калібрування скла по діаметру проводять на двоточковому калібрувальному верстаті (рис. 21.2).

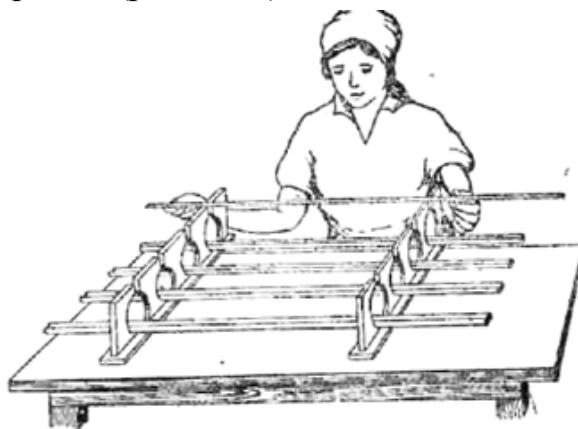


Рисунок 21.2 – Калібрувальний верстат

Дроти переміщують на верстаті так, щоб вони без зусиль пройшли в найближчу пару калібрувальних щілин в одному горизонтальному ряду. У разі, якщо дріт не пройде в перший ряд щілин, його пересувають у наступний ряд. Якщо і в наступний ряд він не пройде, його пересувають у третій ряд і так далі, поки він не пройде в найближчу пару щілин. Кожна пара відрізняється від попередньої на 0,20 мм для дротів діаметром до 5 мм і та 0,25 мм для дротів діаметром більше 5 мм. Ширину щілин встановлюють по сталевих пластинчастих калібрах.

Одночасно з калібруванням скла по діаметру відкидають конусні, овальні та криві дроти. Конусним вважається дріт, що має відхилення в зовнішньому діаметрі по довжині більше межі допусків для номінального діаметра. Овальним вважається дріт, що має відхилення в зовнішньому діаметрі по колу більше межі допусків для даного номінального діаметра. Кривим вважається дріт, що має стрілу прогинання понад 0,5 %.

Розкаліброване скло для штабиків і штенгелей розрізають на потрібні відрізки на склорізальному верстаті. Цей верстат становить собою робочий стіл, у прорізі якого рухається дисковий, загартований і заточений на конус ніж, надітий на сталевий вал. Лезо ножа, обертаючись у прорізі у напрямку до робітниці, виступає над поверхнею столу на 8–10 мм. Швидкість обертання вал із ножем регулюється за допомогою привода від електродвигуна та становить зазвичай 4 000–6 000 об/хв, відповідає коловій швидкості різальної кромки 40–60 м/с.

Робітник кладе на стіл декілька скляних дротів і, обертаючи їх убік, протилежну обертання ножа, легко прокатує їх по різучій кромці. Лезо врізається в скло й викреслює в ньому тонкі глибокі подряпини. Від сильного тертя об ніж у склі виникає напруга, що перевищує межу міцності скла й викликає необхідне руйнування скла уздовж подряпини. Дроти малого діаметра та з м'якого скла дають тріщину відразу після дотику до ножа, а дроти великого діаметра та з твердого скла дають тріщину лише після руйнування поверхневого шару по всьому колу. Якщо подряпина утворилася недостатньо глибокою або з пологими стінками, обріз скла виходить нерівним. У разі сильного або слабкого притиснення скла до леза ножа тріщина розповсюджується в довільному напрямі. Верстат забезпечують регульованим упором, у якому скло притискують торцями і який дозволяє різати його з дотриманням точної довжини виробу.



Під час різання деяка кількість коротких обрізків, що виходять на початку та кінці кожного дроту, відходить у бій. Чим довші дроти й чим короткішим має бути нарізане скло, тим менше виходить обрізків. Скляний пил, що утворюється під час різання, засмоктують вентилятором в особливі шафи-фільтри.

Нарізані штабики та штенгелі повинні відповідати таким умовам: площини їхніх зрізів повинні бути рівними, гладкими, без задирок, тріщин і окалин; відхилення в довжині не повинні перевищувати у штабиків 0,5 мм і штенгелей 1 мм; у одній тарі повинне зберігатися скло тільки одного розміру. Для отримання рівної площини зрізу потрібно стежити за тим, щоб верстат під час роботи не тремтів. Ніж перед установкою на верстат повинен бути такий заточений шліфувальним кругом, щоб надріз скла виходив тонким, а стінки надрізу крутими, майже перпендикулярними до осі дроту. Періодично ніж загострюють карборундовим бруском. Ножі, виготовлені з нетвердої або погано загартованої сталі, сильно нагріваються від тертя, швидко стають тупими, нерівно ріжуть скло й залишають у склі окалину. Ножі з червоностійкої сталі цих недоліків не мають.

Для безпечної роботи на підвищеній швидкості вимагається, щоб верстат був забезпечений масивним корпусом а його станина була надійно закріплена на підлозі. Штенгелі та штабики після різання калібрують другим раз по діаметру на спеціальному калібрувальному автоматі. На цьому автоматі штенгелі та штабики автоматично переміщуються із завантажувального бункера в конусні калібрувальні щілини двох пар обертальних дисків і розміщуються в щілинах тим глибше, чим менше їхній діаметр. Особливі виштовхувачі, прикріплені на дисках, подають дроти у відповідний певному їхньому розміру приймальний лоток.

Одночасно з калібруванням штенгелей проводять оплавлення їхніх кінців вогнями газових пальників. Унаслідок оплавлення гострі кромки закруглюються та стають гладкими. При дуже сильних вогнях штенгелі заплавляються, а при дуже слабких – на штенгелях залишаються гострі ребра зрізів, які згодом можуть пошкодити гумовий клапан відкачної машини.

Пустотілі дроти достатньо великого діаметра є вихідним матеріалом для виготовлення тарілок. Операція розгортки тарілок із дроту полягає в нагріванні кінця скляної трубки до розм'якшення та доданні розм'якшеному кінцю форми воронки. Одні автомати виготовляють

тарілки із задалегідь нарізаних коротких трубок, інші з довгих трубок з подальшим обрізанням. Автомати другого типу є основними й називаються *автоматами вертикальної розгортки*.

На станині автомата вертикальної розгортки горизонтальна карусель повертається з періодичними зупинками. Вона забезпечена затискними патронами. Довгу трубку завантажують в отвір патрона 1-ї позиції. Під час завантаження вона вільно проходить у патрон і своїм нижнім кінцем упирається в нерухомий круглий стандарт. Шляхом підйому й опусканням стандарту регулюють довжину тарілки.

Кожний патрон забезпечений спрямовальною втулкою, що не дає змогу трубкам зміщуватися по осі та трьома фіксаторами, що тримають трубку, поки вона проходить робочі позиції автомата.

На 2-ій позиції м'які вогні двох пальників підігрівають ділянку трубки, що підлягає обрізанням. Підігрівання унеможлиблює розтріскування скла на наступній позиції.

На 3-ій і 4-ій позиціях вогні декількох пальників нагрівають ту саму ділянку до розм'якшення, підготовлюючи його до обрізання. На 5-ій позиції система двох сталевих дискових ножів, що обертаються в різні боки, проводить обрізання кінця, якщо трубка проходить перший цикл, або готової тарілки, якщо трубка проходить другий і подальший цикли. Відрізаний кінець падає на стіл автомата, а відрізана тарілка зісковзує по спуску в піч оплавлення й відпалу. На 6-й позиції вільний кінець трубки вводиться в проміжок між сильними гострими вогнями 12–18 пальників. Ділянка трубки завдовжки 10–25 мм доводиться до розм'якшення без порушення циліндричної форми. На 7-ій позиції в розм'якшений кінець трубки вводиться чавунна шпилька, що обертається, і розгортає його на конус.

### **Контрольні питання**

1. Виготовлення скляних дротів з розплаву.
2. Контроль і калібрування дротів.
3. Особливості різання дротів.
4. Виготовлення тарілок на автоматі карусельного типу.

## 22 ЕЛЕКТРОЛАМПОВЕ СКЛЮ: ВНУТРІШНЄ ПОКРИТТЯ КОЛБ

Для придання колбам ламп ефекту розсіювання світла застосовують *внутрішнє покриття їх шаром двоокису кремнію* дуже тонкої структури. Через таке покриття тіло розжарювання лампи просвічується як розмита світлова пляма. Того самого ефекту можна досягти шляхом матування колб у травнику на основі плавикової кислоти, як це й робилося для матування елементів СП, описаного детально раніше на сторінках цього конспекту лекцій, але вказаний спосіб вважається безпечнішим і, крім того, таким, що не знижує механічну міцність колб.

Початковим матеріалом для нанесення на колбу  $\text{SiO}_2$  є кремнійорганічна речовина – етиловий ефір ортокремнієвої кислоти – прозора рідина, що одержується завдяки взаємодії чотирихлористого кремнію та етилового спирту.

Під час спалювання парів ефіру утворюється щільний білий дим, що містить частинки  $\text{SiO}_2$  розміром приблизно 0,03–0,3 мк. Випаровування та спалювання ефіру, а також введення в колбу диму  $\text{SiO}_2$  проводять спеціальним пальником, зображеним на рисунку 22.1. Ефір із посудини (1) подають через гумовий шланг до каналу (2), у якому він нагрівається за допомогою електричного спірального підігрівача до кипіння (167 °С). Канал (2) розміщується у ковпаку (3) з отвором для виходу полум'я, насиченого парами  $\text{SiO}_2$ . На ковпак монтується кільце, через яке по отворах можна подавати кисень. Вихід стиснутого кисню збігається з отвором в трубці. У простір між трубкою та ковпаком подають із бічного патрубка стисле повітря, яке після виходу з отвору змішується з парами ефіру. Після виходу з (2) суміш парів ефіру й повітря змішується з киснем і пропалюється. Дозуванням повітря полум'я пальника регулюють у такий спосіб, щоб воно відривалось від отвору пальника на відстань 4–6 мм, завдяки чому засмічення пальника частинками  $\text{SiO}_2$  зменшується. Вводять полум'я пальника до колби, що обертається навколо своєї осі, і здійснюють рівномірне осадження прошарку  $\text{SiO}_2$ .

Осадження ведуть доти, доки через шар нанесеного покриття спіраль включеної лампи потужністю 25 Вт буде ледь помітною.

Шар  $\text{SiO}_2$  є нестійким і легко стирається рукою та обсипається у разі постукування. Його закріплюють шляхом вдування перегрітої водяної пари до колби, доки вона не набуватиме світло-сірого кольору. Після вдування пари колби негайно переносять та висушують гарячим повітрям до

повного відновлення білого кольору. Така обробка перетворює шар розрізаних частинок  $\text{SiO}_2$  на міцну плівку колоїдного кремнезему, що поглинає світловий потік лампи не більше ніж на 2 %.

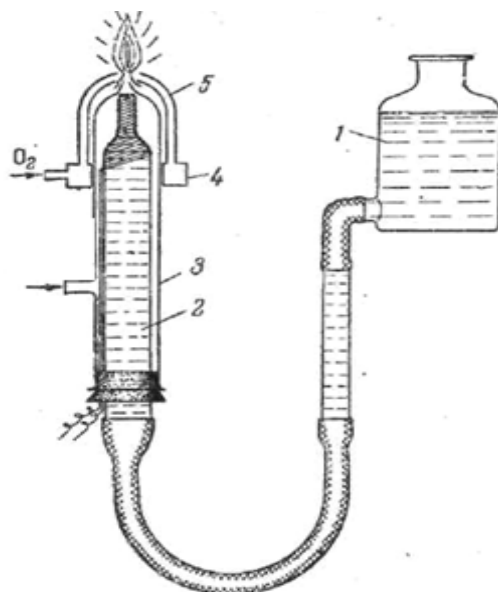


Рисунок 22.1 – Установка з нанесення на колбу покриття  $\text{SiO}_2$

Плівка кремнезему не розчиняється в розплавленому склі та під час зварювання колби з ніжкою перешкоджає утворенню вакуумно-щільного з'єднання. Тому горловину колб очищають від покриття, насадженою на обертальний шпindel спеціального пристрою. Вказані операції успішно здійснюються на багатопозиційних автоматах карусельного типу. Продуктивність автомату сягає кількох тисяч колб, матованих  $\text{SiO}_2$  за годину.

**Внутрішня алюмінізація колб.** Застосовується для виготовлення колб із дзеркальним відбиттям світлового потоку. Методом внутрішньої алюмінізації колб є добре відомі метод катодного розпилення алюмінію у вакуумі.

Колби перед алюмінізацією ретельно промивають розбавленою соляною кислотою, дистильованою водою та спиртом і сушать у сушильній шафі. Далі одну або декілька колб (залежно від розмірів) поміщають під скляний ковпак, ущільнений гумовою прокладкою. Усередину кожної колби вводять на струмопровідних стрижнях вольфрамову спіраль із щільно обтиснутим на її середині очищеним «гусариком» із фольги чушкового алюмінію. З ковпака відкачують повітря за допомогою вакуумного насоса. Після досягнення необхідного розрідження включають вольфрамову спіраль і декілька секунд нагрівають

її струмом до яскраво-білого кольору (2 500 ° C). Алюмінієвий «гусарик» плавиться та під дією поверхневого натягу збирається в крапельку, що потім розтікається по витках спіралі й випаровується у вакуумі. Пари алюмінію конденсуються на холодних стінках колби рівномірним тонким шаром. Коли крізь цей шар розжарена спіраль стає ледве помітною, розпилювання припиняють, вимикаючи струм. Ковпак заповнюють повітрям до атмосферного тиску й піднімають. Надлишок алюмінієвого шару на ділянках, де колби повинні залишатися прозорими (у шийці та «світловому віконці»), очищують 3%-им лужним розчином. Готові колби миють водою, спиртом і сушать у центрифугі або сушильній шафі. Крупні колби під час нанесення алюмінієвого дзеркала герметизують і відкачують без застосування скляного ковпака. Світлове віконце в них створюють екранування у процесі розпилювання алюмінію.

Розрідження, потрібне для нормального протікання процесу алюмінізації, має бути таке, щоб середня довжина вільного пробігу молекул була більше діаметру колб. У разі такого розрідження молекули алюмінію досягають стінок колби без зіткнення одна з одною та осідають на поверхні скла рівномірним шаром, що має гладкість, не гіршу ніж у скла.

Стійкий і міцний алюмінієвий шар має необхідну зчеплюваність (адгезією) зі склом лише у випадку, коли підготовчі щодо алюмінізації операції ретельно виконані, а саме – алюмінієві «гусарки» й колба добре очищені, висушені й зневажені.

### **Контрольні питання**

1. Сутність нанесення на колбу покриття SiO<sub>2</sub>.
2. Особливості процесу нанесення на колбу покриття SiO<sub>2</sub>.
3. Сутність внутрішньої алюмінізації колб.
4. Підготовка обладнання та матеріалів до алюмінізації.

## **23 ВОЛЬФРАМОВІЙ ДРІТ: ВИМОГИ ДО ТІЛА РОЗЖАРЮВАННЯ**

Тіло розжарювання є основною, найвідповідальнішою деталлю лампи розжарювання. Воно, власне, виконує функції джерела світла, тоді як решта деталей мають лише допоміжне призначення та слугують для

забезпечення безперебійної роботи тіла розжарювання. Якість тіла розжарювання визначає технічні й експлуатаційні характеристики лампи. Висувають такі технічні вимоги щодо матеріалу тіла розжарювання:

1. Матеріал тіла розжарювання має бути тугоплавким. Висока температура плавлення дає змогу підвищити робочу температуру тіла розжарювання та збільшити світлову віддачу лампи.

2. Матеріал тіла розжарювання має визначатись при високих температурах малою швидкістю випаровування. Уповільнення випаровування тіла розжарювання збільшує термін служби ламп.

3. Матеріал тіла розжарювання має мати у нагрітому стані спектр випромінювання, близький за кольором до денного світла.

4. Матеріал тіла розжарювання має добре проводити струм, до того ж його питомий опір при робочій температурі лампи має бути якомога вищим. Високий питомий опір дає змогу застосовувати в лампах коротке тіло розжарювання, що полегшує процес виготовлення ламп високої потужності.

5. Матеріал тіла розжарювання має мати високі механічні властивості та структурну чистоту, що забезпечує незмінну форму нагрітого тіла при високій температурі (унеможливлення високотемпературної спонтанної деформації).

Зазначеним вище вимогам краще всього відповідає *вольфрам*, тому лампи розжарювання виготовляють саме з вольфрамовим тілом розжарювання.

Більшість металів, наприклад, залізо, нікель, мідь, свинець, цинк, олово тощо отримують методом виплавляння руди. При такому методі метал отримують у рідкому стані й відливають його у формах у тверді злитки. Проте висока температура плавлення вольфраму та здатність його легко окислюватися у разі нагрівання на повітрі створюють певні технічні труднощі промислового отримання вольфраму у такий спосіб. Тому саме для вольфраму доцільнішим є метод *порошкової металургії*.

Спочатку шляхом хімічної переробки вольфрамової руди одержують металічний порошок вольфраму. Потім цей порошок пресують у сталевих прес-формах під високим тиском у прямокутні бруски й відформовані бруски нагрівають електричним струмом до дуже високої температури, трохи меншої за температуру плавлення вольфраму. У наслідок цього одержують вихідний матеріал, за якістю не гірший за той, що можна отримати у ливарний спосіб.

## Контрольні питання

1. Вимоги до тіла розжарювання.
2. Чому тіло розжарювання недоцільно одержувати у ливарний спосіб?
3. Шляхи підвищення світлотехнічних і експлуатаційних характеристик ЛР через оптимізацію тіла розжарювання.

## 24 ВОЛЬФРАМОВІЙ ДРІТ: ПРОЦЕС ВИГОТОВЛЕННЯ НА ВИРОБНИЦТВІ

Після формоутворення вольфрамові прутки для перетворення на дроти заданого діаметра спрямовують на операції волочіння. Обробка шляхом волочіння полягає в проходженні прутків через отвори волок, діаметр котрих поступово зменшуються. Оскільки при волочінні об'єм дроту практично не змінюється, при кожному черговому просуванні прутка через волоку довжина його збільшується в стільки саме разів, у скільки зменшується площа його поперечного перерізу. На відміну від інших металів вольфрамовий дріт протягують з обов'язковим примусовим нагріванням, оскільки вольфрам у холодному стані визначається твердістю, крихкістю та нездатністю до пластичного деформування.

Волочильний отвір в оправі називають *волокою* або *фільєрою*. Волока має бути виготовлена з дуже твердого матеріалу, інакше її отвір швидко зношуватиметься й розширюватиметься. Зі всіх відомих у природі матеріалів найбільшу твердість має алмаз. За десятковою шкалою твердості Мооса він найвище десяте місце. Тому для волочіння тонких вольфрамових дротів застосовують волокнисті штучні алмази, хоча їхня вартість є високою.

Зважаючи на малі розміри алмазів не можна виготовляти з них волокнисті отвори, тому для волочіння товстого дроту застосовують волокнисті сплави ВК-6 або ВК-8 (ГОСТ 3882–53), що здатні зберігати свою твердість при високих температурах. Твердосплавні волокнисті отвори швидше виходять із ладу порівняно з алмазними.

Волочильні машини розрізняють на *ланцюгові стани* (прямолінійний рух матеріалу) і *блочні стани* (намотування матеріалу на барабани, блоки, котушки тощо). Перші застосовують для волочіння прутків, другі для

волочиння дроту. Для приготування тонкого вольфрамового дроту, наприклад діаметром 0,012 мм, вольфрамові прутки діаметром 2,75 мм протягують через 12–15 волок на верстатах грубого волочиння, 8–10 волок на верстатах середнього волочиння, і близько 50 волок на верстатах тонкого волочиння.

Грубе волочиння проводять на ланцюговому стані, що становить 25-ти метрову станину, по якій котиться возок із кліщами й гаком. На кінці станини послідовно встановлені коробка зі змащувальним матеріалом, газова піч і твердосплавна волока. У отвір нагрітої волоки заправляють покритий мастилом нагрітий загострений передній кінець вольфрамового прутка. Кліщі захоплюють цей кінець і зачіпляються гаком за одну з ланок притягувального ланцюга, що тягне за собою візок і протягує пруток по прямій лінії через мастило, піч і волоку. Після закінчення волочиння візок відчіплюють від ланцюга й повертають у початкове положення для захоплення наступного прутка. Протягнувши всю партію прутків, міняють волоку на іншу з меншим діаметром отвору.

На блочних волочильних станах дріт змотують зі спускної котушки й послідовно пропускають через ванну з мастилом, газову піч, нагріту волоку та намотують на ведучу котушку, що обертається приводом від електродвигуна. Між спрямовуючим роликком і волокою дріт підтримують у стані постійного натягу. Під час електричного нагрівання дроту його оптимальною температурою вважається така, за якої колір нагрітого металу є вишнево-червоним. Під час волочиння одночасно з дротом нагрівають і волоку (до 500–600 °С твердосплавну та до 450–500 °С алмазну). Таке нагрівання зменшує ефект охолодження дроту під час проходження через волочильний канал, оберігає дріт від обривів і збільшує стійкість волок. Дріт, що пройшов через волоку або систему волок обов'язково має бути наприкінці відпалений для зниження рівня внутрішніх напружень і збільшення його пластичності.

На всіх стадіях волочиння як мастило застосовується специфічний водний графітовий препарат (аквадаг). Таке мастило термостійке й не вигорає при температурах до 850 °С. Проходячи посудину з аквадагом, дріт покривається суцільною тонкою плівкою мастила, що оберігає його від окислення під час нагрівання, зменшує зовнішнє тертя між ним і стінкою волоки й уповільнює знесення каналу волоки. Вода у аквадагу при нагріві випаровується, а роль мастила виконують сухі довгі зерна графіту, що легко розщеплюються при терті на тонкі смуги та згладжують



нерівності між дротом і волокою, полегшують ковзання дроту уздовж каналу волоки та сприяють отриманню гладкої поверхні дроту. Аквадаг сталої концентрації заливають у бачок і звідти за допомогою циркуляційної системи підводять до кожного волочильного верстата.

На верстатах грубого й середнього волочіння передні кінці прутків і дротів перед заправленням у волоку загострюють завдяки короткочасному зануренню у розплавлену селітру. На верстатах тонкого волочіння передні кінці дроту загострюють зануренням у ванну з електролітом на основі 20%-го розчину їдконого натру.

Швидкість волочіння залежить від багатьох чинників. Чим тонше дріт, тим вище допускається швидкість волочіння. При діаметрі дроту менше 100 мк вона становить 50–100 м/хв.

Зменшення площі поперечного перерізу дроту після подальшого волочіння, виражене у відсотках до площі поперечного перетину до волочіння, називається *коефіцієнтом обтиснення дроту*.

Для волочіння вольфрамового дроту набір волок підбирають із таким розрахунком, щоб коефіцієнт обтиснення становив 10–15 % і більше. Із зменшенням діаметра дроту зменшують коефіцієнт обтиснення. У виробництві ламп застосовують вольфрамовий дріт різних діаметрів, тому волочіння ведуть доти, доки дріт не придбає заданий діаметр. Діаметр дроту, отриманий після останнього волочіння, називають вихідним.

Під час волочіння можуть бути випадки обривання дроту. Обривання знижують продуктивність праці та зменшують пропускну спроможність волочильного устаткування. Відрізки малої довжини, що обірвалися, до подальшої обробки непридатні та становлять втрати. Обривання залежать від різних чинників: якості дроту, режиму волочіння, стану волочильного обладнання та якості волок. Зокрема, обривання можуть бути спричинені перегріванням або недогріванням дроту й волоки, зношеністю або неправильним профілем каналу волоки, викривленням дроту біля входу у канал волоки, великим обтисненням, поганою якістю аквадагу, високою швидкістю волочіння, перегріванням і окисленням дроту на попередніх операціях, розшаровуванням дроту тощо. Для зменшення числа обривів не допускають, щоб зусилля тяги 50 % розривного зусилля при фіксованій температурі волочіння.

Найпоширенішим видом браку готового вольфрамового дроту є брак по діаметру. Відхилення в діаметрі дроту по всій довжині з'являються під час розробки каналу волоки або помилково поставленою волокою на

вихідному волочінні. Овальність дроту з'являється внаслідок неправильного виготовлення або нерівномірного знесення каналу волок і внаслідок незбігання напрямку зусилля тяги з віссю каналу волоки.

До браку готового вольфрамового дроту належить також дрони, що в'ються та рвуться. Брак першого типу особливо часто з'являється при низькій температурі волочіння, неправильній установці волоки та слабкому натягу дроту перед волокою; брак другого типу з'являється при високій температурі волочіння, високій температурі проміжного відпалу й поганій якості мастила. Ці два типи дефектів дроту, що виникають під час його волочіння, фактично, унеможливають майбутню спіралізацію дроту.

Діаметр вольфрамових дротів понад 0,35 мм вимірюють мікрометром. Діаметр тонших проволікав зважаючи на трудність безпосереднього точного вимірювання визначають за вагою відрізків завдовжки 200 мм і питомою вагою вольфраму. Дріт намотують на циліндр діаметром 200 мм і відрізають від нього відповідний шматок, далі останній згортають у грудку та зважують на чутливих терезах. Залежність між вагою відрізка та його середнім діаметром виражається рівнянням:

$$\sigma = 200 \cdot \frac{\gamma \pi d^2}{4}, \quad (24.1)$$

де  $\sigma$  – вага 200 мм дроту;

$\gamma$  – питома вага вольфраму;

$d$  – діаметр дроту.

Під час розрахунку ламп визначають необхідну номінальну вагу 200 мм вольфрамового дроту. Оскільки виготовити дріт чітко за номінальною вагою неможливо, то на кожну номінальну вагу встановлюють певні допуски (від  $\pm 1,5$  % до  $\pm 3$  %). Наприклад, на дріт діаметром 21,5 мк із номінальною вагою 1,4 мг, встановлені допуски від 1,36 мг до 1,44 мг. Для перевірки дроту на рівномірність діаметру зважують відрізок дроту завдовжки 200 мм на початку й кінці котушки. Різниця у вазі обох кінців не повинна перевищувати межі допусків за вагою. Точніше рівномірність діаметра перевіряють під час перемотування дроту між світловою щілиною та фотоелементом; залежно від діаметра дроту змінюється й електричний сигнал на приймачі випромінювання.

## Контрольні питання

1. Ланцюгові та блочні волочильні стани.
2. Що таке аквадаг?
3. Що таке філь'єра та для чого її нагрівають під час волочіння?
4. Які дефекти можуть виникати у разі неправильного волочіння та як їх запобігти?
5. Способи вимірювання діаметра дротів і контролю їхньої рівномірності.

### 25 ВОЛЬФРАМОВІЙ ДРІТ: ПРОЦЕС ВИГОТОВЛЕННЯ ВОЛОЧИЛЬНИХ ОТВОРІВ

Канал волочильного отвору (рис. 25.1) складається з п'яти ділянок, що послідовно тут описуються згори донизу:

- 1) вхідної розпушки (захист дроту від задирання за кромки волоки);
- 2) змащувального конуса (утримання зайвого мастила);
- 3) робочої ділянки (первинне стиснення дроту);
- 4) калібрувальної ділянки (вихід на номінальний діаметр і забезпечення заданої точності й однорідності діаметру дроту);
- 5) вихідної розпушки (захист дроту на виході).

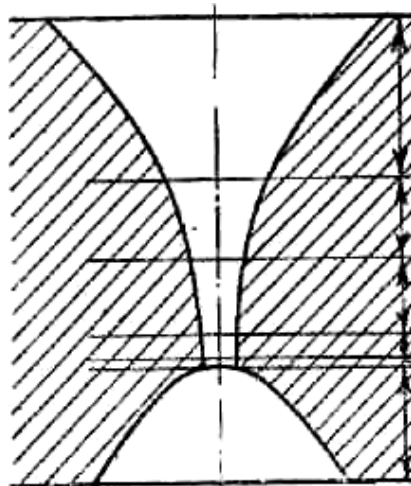


Рисунок 25.1 – Волочильний отвір у розрізі

Для волочіння дроту діаметром менше 0,30 мм застосовують волоки з технічних алмазів вагою 0,15–0,50 карат (ГОСТ 6271–52).

Виготовлення алмазних волок складається з операцій огранки, центрування, свердління, полірування та монтажу алмазу в оправі.

**Огранка** полягає у створенні на алмазі довільної форми двох строго паралельних і однієї перпендикулярної площин. Паралельні грані слугують опорними площинами, необхідними для правильної установки алмаза на операціях свердління каналу, а перпендикулярна слугує як віконце, через яке ведуть спостереження та контроль за процесом. Тонке шліфування та полірування граней виконують обертальним чавунним диском на основі абразивної пасти, що складається з суспензії діамантової пудри в оливковому маслі.

**Центрування** полягає в нанесенні гострим уламком алмазу в центрі однієї з паралельних граней невеликого конічного поглиблення.

**Свердління** полягає у виготовленні основної частини волочильного каналу. Його проводять на спеціальних мініатюрних свердлільних верстатах вістрям тонкої сталеві голки. У конічне поглиблення між голкою та стінками наміченого отвору закладають діамантову абразивну пасту. У разі швидкого обертання голки та зворотно-поступальної вібрації алмазу частинки пасти поступово розширюють некрізний отвір. Необхідний профіль майбутнього каналу досягається завдяки поступовій зміні форми заточування голок. На початку свердління вістря голки надають форму короткого конуса, а в кінці свердлення – подовженого конуса. Після утворення отвору завглибшки близько  $2/3$  товщини алмаза проводять гострим діамантовим уламком зустрічне свердління з іншого боку до утворення маленької овальної лунки. Потім обидва поглиблення сполучають тонко заточеною голкою з майже циліндровим вістрям у наскрізний канал. Свердлення каналу в одному алмазі за таким методом триває близько 50 годин. Алмази зазвичай свердлять тільки на найменший діаметр для того тим, щоб у процесі зношення можна було розшліфувати канал на більший діаметр.

Більш продуктивним і технологічним є електроіскровий метод свердління алмазів. За цим методом циліндричну частину каналу свердлять у рідкому електроліті короткочасними (імпульсними) електричними розрядами. Розряд в електроліті аналогічний до розряду в газі, оскільки висока температура викликає перетворення рідини в зоні розряду в газ (рис. 25.2).

Під час пропускання через електроди імпульсного струму в місці зіткнення алмазу й вібруючої голки утворюються безперервні іскрові

розряди. У зоні розряду розвивається висока температура, що викликає випаровування алмазу. Голка поступово проникає в тіло алмазу та за 3–5 годин створює вузький отвір.

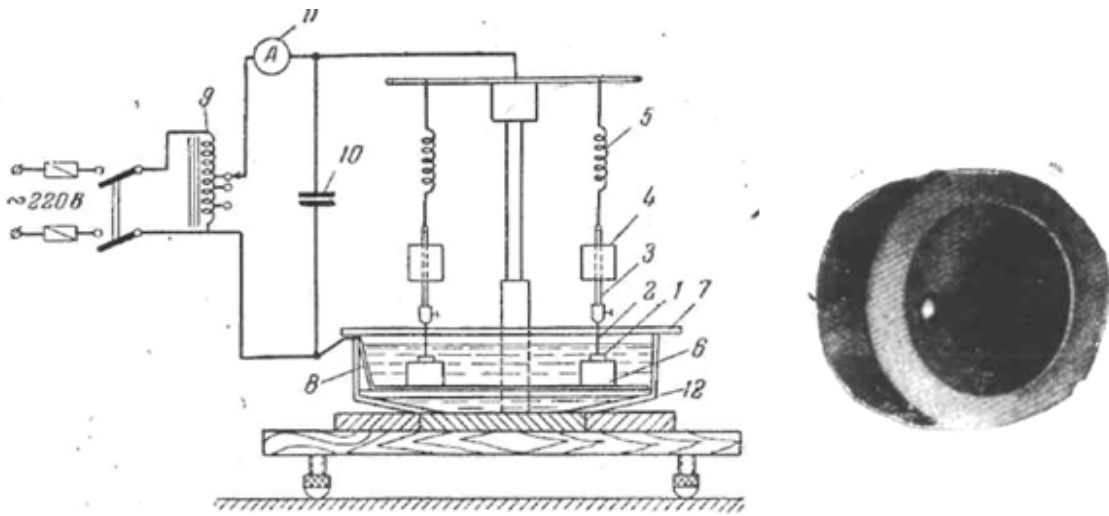


Рисунок 25.2 – Електроіскрове свердління волочильного отвору та готова волока

**Полірування** полягає в доведенні робочого конуса й калібрувальної частини волочильного каналу до заданих розмірів і необхідної форми. Полірування виконують на полірувальному верстаті сталевую голкою із застосуванням тонкої абразивної пасти. Шляхом полірування збільшують стійкість волок і знижують зусилля волочіння, що сприяє зменшенню кількості обривів дроту під час волочіння.

**Монтаж у оправі** потрібний для збільшення міцності стінок алмазу й полегшення роботи з ним під час волочіння.

Твердосплавні волокни виготовляють за металокерамічним методом. За цим методом спочатку готують шихту з порошкоподібної суміші карбиду вольфраму та речовини (зазвичай металевого кобальту), потім цю суміш пресують у прес-формах, після чого відформовані волокни спікають у печі при температурі близько  $1500^{\circ}\text{C}$ .

### Контрольні питання

1. Описати основні ділянки волочильного отвору.
2. Механічне свердління волочильних отворів.
3. Сутність електроіскрового свердління.
4. Стадії обробки волочильних отворів.

## 26 ВОЛЬФРАМОВІЙ ДРІТ: ВИГОТОВЛЕННЯ ТА КОНТРОЛЬ СПРАЛЕЙ

Вольфрамові спіралі виготовляють на спіралізаційних верстатах (рис. 26.1). Перед спіралізацією з кожної котушки вольфрамового дроту відрізують шматок завдовжки 200 мм і зважують на терезах для перевірки відповідності фактичного діаметра дроту діаметра, позначеному на етикетці. Перевірений дріт перемотують на машинах із котушок різного діаметра на стандартні сталеві шпулі.

Сутність роботи верстата полягає у такому. Сталевий або молібденовий kern перемотують зі спускної котушки (1) на ведучу (5). Під час перемотування kern проходить через спрямовувальний ролик (2), пустотілий шпиндель (3) і втулку (4). Отвір у втулці ретельно відполірований, і діаметр його не перевищує діаметру керна більше ніж на 0,02–0,05 мм. Разом зі шпинделем обертаються головка (6) і шпуля (7) із вольфрамовим дротом.

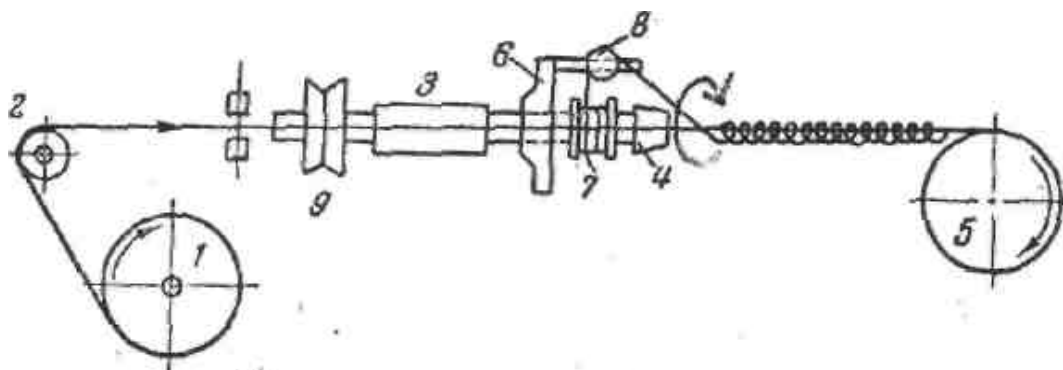


Рисунок 26.1 – Спіралізаційний верстат

Дріт навивається через ролик (8) на kern. З кожним обертанням шпинделя головка зі шпулею робить одне обертання, і на kern накладається один виток спіралі. Відстань між суміжними витками, що дорівнює переміщенню керна за час одного обертання головки, називають *кроком*. Величина, зворотна кроку, становить число витків на 1 мм. Для рівномірного розподілу температури по всій спіралі важливо, щоб спіраль мала рівномірну навивку.

Спіралізаційні верстати можуть бути безперервної та періодичної дії. На верстатах безперервної дії зивають нескінченну спіраль, яку потім розрізають на відрізки заданої довжини. На верстатах періодичної дії

звивають спіралі з періодичними пропусками – так званими тире. Посередині тире спіралі розрізають на відрізки заданої довжини. Спіралі з тонкого дроту на тонкому керні, призначені для закріплення в електродах затиском, виготовляють без тире, а спіралі з товстого дроту на товстому керні, а також спіралі, призначені для закріплення в електродах приварюванням, виготовляють із тире. Утворення тире здійснюють у такий спосіб чином. Після навивання необхідної кількості витків призупиняють обертання навивальної головки, а керн в цей час примушують переміщатися з незмінною швидкістю.

Чим швидше переміщається керн при незмінній швидкості обертання навивальної головки або чим повільніше обертається навивальної головка при незмінній швидкості переміщення керна, тим більший виходить крок і тим менше буде кількість витків, що навивається на 1 мм довжини спіралі.

Вольфрамову проволоку в процесі спіралізації піддають прямому або непрямому нагріванню струмом від знижуючого трансформатора. Під час нагрівання дріт є м'яким, він рівномірно облягає тіло керна та спіралізується без обривів і розшарування. Температуру нагрівання регулюють за допомогою реостата та контролюють амперметром.

Усі верстати зазвичай забезпечують приладом (реле), що автоматично замикає електричний ланцюг з сигнальною лампою у випадках обривання вольфрамового дроту та дає змогу дозволяє стежити за процесом спіралізації на відстані.

Натягнення керну та дроту є важливим для якісної спіралізації. Чим товще керн, тим сильніше його натягують. Дуже сильно натягнутий керн витягується, змінюючись у діаметрі, а дуже слабо натягнутий – провисає, нерівномірно переміщається та нерівномірно покривається спіраллю. Дуже сильно натягнутий дріт рветься, розтягується або глибоко врізається в тіло керна, а дуже слабо натягнутий не забезпечує рівномірність навивання.

Кожен верстат забезпечують стробоскопом – приладом, що дає змогу спостерігати швидкорухому спіраль немов у нерухомому стані. Такий прилад полегшує контроль постійності кроку. Верстати часто вмонтовують по декілька штук на одній станині; у цьому разі кожен шпindelь забезпечують приводом від окремого електродвигуна.

Обов'язки обслуговуючого персоналу полягають у заправленні до верстатів вольфрамового дроту та керна, зніманні спіралі на керні та спостереженні за ходом процесу. Зазвичай, один робітник обслуговує 10–25 верстатів.

Для усунення у спіралі внутрішніх напружень і закріплення їхньої гвинтоподібної форми їх відпалюють разом із керном. Відпалення, окрім поліпшення механічних властивостей спіралей, також сприяє частковому спалюванню на спіралях залишків графітової плівки. Відпалення здійснюють перемотуванням спіралей на керні через розжарений керамічний муфель електричної печі. Температуру відпалення підтримують 600–900 °С, а швидкість перемотування до 4 м/хв. У разі збільшення діаметрів вольфрамового дроту й керна температуру відпалення підвищують, а швидкість перемотування знижують. Постійність температури підтримують за допомогою автоматичного терморегулятора. При надмірно високій температурі дріт дуже окислюється, що спричиняє згодом зменшення потужності, світлового потоку та світлової віддачі ламп. Надмірно висока температура, крім того, сприяє взаємодії між вольфрамом і речовиною керна (якщо він молібденовий), спричиняючи крихкість спіралі. При дуже низькій температурі мета, яку має перед собою відпал, не досягається.

Звивання вольфрамового дроту в спіраль є доцільним не тільки через компактність тіла розжарювання, а й з погляду на уповільнення випаровування вольфраму (затримка атомів витками та повернення їх до тіла розжарювання).

Після відпалення спіралі разом із керном розрізають на відрізки заданої довжини. Спіралі без тире розрізають на верстатах з автоматичним поданням матеріалу до робочої зони, а спіралі з тире – на верстатах із ручною подачею або на верстатах з автоматичною подачею та застосуванням фотоелемента. В останньому випадку спіралі пропускають через щілину, що освітлюється променем світла, спрямованим на фотоелемент. Залежно від того, чи проходить через щілину навита частина спіралей або тире, змінюється величина світлового потоку, що надходить до фотоелемента. Збільшення світлового потоку викликає зростання струму в ланцюзі фотоелемента. Сигнал фотоелемента, посилений приймально-підсилювальною лампою, викликає спрацьовування реле та включення електромагніту, що приводить у дію механізм різання спіралі. Відрізана спіраль скидається струменем стислого повітря в приймальний лоток.

Травління спіралей має на меті видалення керна, на якому навиті спіралі, а також оксидів вольфраму, графітового мастила та жирів із їхньої поверхні. Травильні операції виконують шляхом послідовного занурення



спіралей у травильні ванни з різними травниками, склад яких залежить від матеріалу керна.

Травління спіралей на молібденовому керні починають із занурення їх у травильну рідину, складену з трьох частин азотної кислоти, однієї частини сірчаної кислоти й однієї частини води. Травник не підігрівають, оскільки сама реакція перебігає бурхливо та супроводжується великим виділенням тепла. Про закінчення розчинення керна судять по припиненню виділення бульбашок оксидів азоту. Протравлені спіралі промивають проточною водою і знову занурюють в чистий травник з розчину азотної і сірчаної кислот для контролю повноти травління керна по газових бульбашках.

Для попередження браку спіралей потрібно дотримувати таких правил правильного травління спіралей:

- 1) не класти у велику травильну посудину малу кількість спіралей;
- 2) тримати спіралі у ваннах повністю зануреними у травник;
- 3) не затримувати спіралі в травильній ванні після завершення реакції розчинення керна;
- 4) завантажувати травильну ванну за можливості спіралями одного типу;
- 5) стежити, щоб графітовий накип, що утворюється на поверхні кислоти, не попадав на спіралі;
- 6) не допускати дуже високої або низької температури розчинів.

Втрати у вазі спіралі допускаються не більше 3–5 %. Підвищені втрати у вазі викликаються: тривалою дією на вольфрам травильної суміші азотної та сірчаної кислот, високою температурою суміші кислот, одночасним травлінням великої кількості спіралей на товстому молібденовому керні, малою концентрацією в травильній суміші азотної кислоти та тривалим перебуванням спіралі в розбавленій соляній кислоті, що містить розчинене залізо. Сильно перетравлені є непридатними до подальшого використання. З метою підвищення продуктивності праці спіралі перед тим, як занурити у травник, закладають у пакети з вольфрамової сітки, і всі наведені вище операції проводять, не витягуючи їх із пакетів.

Операції травління спіралей виконують в ізолюваному від решти виробництва приміщенні, щоб присутність у повітрі пари кислот не спричиняла корозії металічних деталей устаткування. Протравлені, промиті та просушені спіралі піддають термічній обробці з метою

очищення їх від забруднень. При такій обробці зі спіралей випаровується бруд і виділяються поглинені гази. Нагрівання проводять в електричній муфельній печі.

Під час виготовлення біспіралей вимоги до роботи спіралізаційного обладнання та травління спіралей висуваються ще суворіші. Це головне обумовлюється наявністю двох, а не одного кернів, що вимагає більш строгого розрахунку режиму травління й точної роботи частин спіралізаційного верстата.

Існує низка випадків, коли готові спіралі треба забракувати:

- 1) нерівномірно навиті (різна відстань між витками);
- 2) сплутані (не можуть бути розділені шляхом підкидування);
- 3) крихкі (рвуться під час розтягання або стиснення);
- 4) мають неоднаковий кут нахилу витків;
- 5) розшаровані на окремі волокна;
- 6) деформовані;
- 7) мають неоднакове або коротке тире (неправильно нарізані);
- 8) не відповідають нормам за вагою (витягнуті під час спіралізації або перетравлені);
- 9) не відповідають нормам за довжиною (неправильно нарізані або змінилися у довжині після травління);
- 10) забруднені (містять частинки керна або погано відмиті від солей).

У працюючій лампі спіралі повинні мати рівномірну температуру. Для вибіркової оцінки виконують випробування спіралей на наявність плям, сутність яких полягає у миттєвому нагріві спіралі струмом розряду конденсатора. Нерівномірні спалахи свічення, бувають при таких випробуваннях, або яскраві спалахи у вигляді зіркоподібних точок є ознакою незадовільної якості спіралі.

Крихкість спіралей встановлюють шляхом розтягання або стиснення. Міцна, некрихка спіраль у разі розтягання до триразової довжини не обривається та у разі стиснення не розпадається на окремі витки. Розшаровування у разі розтягання спіралей із товстого вольфрамового дроту не слугує ознакою їхньої поганої якості.

Вагу спіралей перевіряють шляхом зважуванням на терезах, а довжину – із використанням лінійки з міліметровою градацією. Контроль ваги слугує непрямою перевіркою розмірів спіралей.

Готові перевірені спіралі після термічної обробки пакують у пергаментний папір або целофан і зберігають у сухому місці. Запаси

препарованих спіралей не мають перевищувати 4–5–добової потреби. Триваліше зберігання спіралей потрібно здійснювати у вакуумних шафах. Мінімальні запаси спіралей також дають змогу заводам - виробникам гнучко реагувати на зміни конструкцій ламп.

### **Контрольні питання**

1. Описати дію спіралізаційного верстата.
2. Особливості спіралізації.
3. Різання та травління спіралей.
4. Випадки, коли спіралі потрібно бракувати.

## **27 ВИГОТОВЛЕННЯ ЕЛЕКТРОДІВ**

Електроди слугують для підведення напруги від цоколя до тіла розжарювання. Вони складаються з декількох відрізків дротів з різного матеріалу, послідовно сполучених газовою або електричною зваркою. Більшість ламп виготовляють із двома електродами, звареними з трьох ланок: внутрішньої, (що міститься усередині відкачуваного об'єму лампи), зовнішньої (що міститься поза відкачуваним об'ємом лампи) і проміжного (що проходить крізь лопатку ніжки). Вільні кінці внутрішніх ланок приєднують до тіла розжарювання, а зовнішня ланка виходить на цоколь. Щоб у лампу не проникало атмосферне повітря, електроди повинні бути герметично упаяні в скло. Проміжна ланка електроду повинна добре прилипати до скла та мати близький до скла коефіцієнт розширення. Такий коефіцієнт має платина, але із зрозумілих причин їй знайшли заміну – дешевшим матеріалом – платинітом, що не містить платини. У виробництві ламп застосовують платинитові дроти діаметром від 0,25 мм до 0,8 мм. Тонкіші дроти мають малу механічну міцність і легко окислюється під час виготовлення ніжок, а товстіші – не забезпечують необхідної герметичності в спаї зі склом.

Як зовнішні ланки електродів для ламп застосовують мідні дроти, а як внутрішні – нікелеві. Довжину ланок визначають залежно від розмірів ламп, а діаметр – залежно від споживаного лампами струму.

Щоб уникнути порушення механічної міцності ланок під час виготовлення та експлуатації ламп і з метою зменшення електричних втрат

на нагрів електродів, їх майже завжди виготовляють із дротів більшого діаметру, ніж це потрібно для фіксованої густини струму. Проте електроди з дротів дуже великого діаметру застосовують, оскільки вони сильно охолоджують кінцеві ділянки спіралі, чим викликають нерівномірний розподіл температури по довжині спіралі. Надмірно тонкі внутрішні й зовнішні ланки електродів, окислюючись під час виготовлення ламп, послаблюються та легко обриваються під час випрямлення.

Окремої уваги в світлотехнічному виробництві заслуговує виготовлення платинитової ланки електрода. Платиніт є *біметалом*, тобто металом покритим зовні іншим металом або сплавом. Його осердя становить дріт із нікелевої сталі, оболонка є мідною. При певному співвідношенні між діаметром осердя й товщиною мідної оболонки отримують платиніт із необхідним коефіцієнтом розширення. Мідна оболонка, окрім підвищення коефіцієнта розширення платиніту, зменшує його електричний опір.

Початковим матеріалом для приготування платинитового дроту є круглі стрижні завдовжки 1,65 л, діаметром близько 8 мм зі спеціальної нікелевої сталі марки Н-42. За ГОСТ 5572–50 такі стрижні містять 42–44 % нікелю та не більше 0,03 % сірі, 0,03 % фосфору, 0,8 % марганцю, 0,4 % кремнію, 0,1 % хрому й 0,3 % вуглецю. Стрижні за вказаним ГОСТом не повинні мати газових включень, тріщин і сильно виражених подряпин і повинні бути добре відшліфовані й випрямлені. Перед виготовленням платиніту стрижні відпалюють у водні при 1 200–1 250°C для поліпшення їх подальшої оброблюваності, відновлення оксидів заліза, видалення поверхневих забруднень і знегажування. Крім того, стрижні травлять у 30%-му розчині сірчаної кислоти та промивають холодною проточною водою. Після такої підготовки на стрижнях електролітично нарощують мідь. При цьому використовують ванни, наповнені електролітом, що становить суміш водного розчину мідного купоросу з сірчаною кислотою. До електроліту підводять постійний струм від генератора або випрямляча. Анодом при цьому є занурені у ванну товсті пластини з електролітичної міді, а катодом - підвішені на шинах стрижні, що підлягають міднінню. Під дією струму на поверхні стрижнів осідають атоми міді, що нарощуючись у великій кількості, утворюють суцільне мідне покриття. Для рівномірного осадження міді електроліт енергійно перемішують очищеним від масла й інших забруднень стислим повітрям, що поступає в нижню частину ванни через трубу з великим числом отворів. З цією ж метою ванни іноді

облаштовуюють механізмом, що обертає стрижні навколо своєї осі. Стрижні, підготовлені до міднення, повинні бути абсолютно чистими, оскільки мідь погано пристає до нечистої поверхні і при подальшій механічній обробці відшаровується. Вага нарощеного шару міді становить зазвичай 25–30 % загальної ваги стрижня. Після нанесення шару міді стрижні відпалюють при температурі 900° С.

Механічна обробка платиніту полягає в його просуванні через волоки, як це було й у разі вольфраму з тією відмінною, підігрівання дроту не потрібне. Після того, як дріт із платиніту одержано, його просувають через вату зі спиртом, тобто ретельно очищують для наступної технологічної операції – *борування*. Ця операція є специфічною, і потреба у ній виникає через необхідність забезпечення доброї адгезії платиніта зі склом і захисту платиніта від зайвого окислення мідної оболонки під час виготовлення ніжок. Схема процесу наведена на рисунку 27.1.

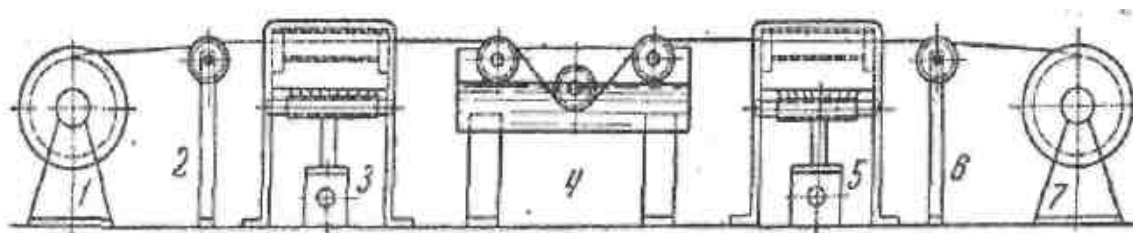


Рисунок 27.1 – Схема борування платиніту

Платинітовий дріт просувають через дві газові або електричні пічі й ванну з водним розчином бури. При перемотці спускную котушку пригальмовують щоб дріт переміщався в натягнутому стані й не торкався стінок печей. Спочатку дріт знежирюється нагріванням до 630–650 °С в першій печі. При цьому її мідна оболонка окислюється з утворенням тонкого поверхневого шару чорного окислу міді. Далі дріт проходить крізь спрямувальні ролики у ванну з підігрітим насиченим водним розчином бури, покривається в ній плівкою розчину та проходить у другу піч. При 1 000–1 050°С у другій печі чорний окисел міді розкладається, перетворюючись на червоний закис міді, а буро висихає, плавиться та вступає з міддю в хімічну взаємодію. На поверхні платиніту утворюється нова речовина – борна емаль, що додає платиніту червоний колір різного відтінку. При низькій температурі в другій печі утворюється недостатньо товстий шар закису міді, буро погано на ній закріплюється й обсипається. При високій температурі в другій печі утворюється дуже товстий, рихлий

шар закису міді. Колір готового дроту після борирування повинен бути червоним наче цегла. Жовтий колір виходить при низькій температурі в другій печі, а темно-червоний – при високій температурі. У разі нагрівання в двох печах платинітовий дріт одночасно з борируванням відпалюється та набуває пластичності.

Кожну котушку готового платинітового дроту перевіряють на відповідність технічним умовам. Дріт не повинен мати темних плям окислу міді й синіх смуг. Поверхня її повинна бути гладкою й чистою. На ній не повинно бути здуття, що викликається відшаруванням мідної оболонки від осердя. Для визначення поперечного коефіцієнта розширення з платинітового дроту знімають борну шляхом кип'ятіння в 1%-му розчині винної кислоти та аналізують очищений платиніт на зміст міді й нікелю. За їхнім змістом знаходять у таблиці коефіцієнт розширення. Іноді для оцінки якості платинітового дроту з кожної котушки виготовляють пробні лампи та випробовують їх. За поведінкою ламп судять про якість дроту.

Зовнішня борна плівка легко вбирає вологу, тому платинітові дроти зберігають у сухому місці. Поверхню дроту на котушці закривають стрічкою для захисту від вологи.

Існує й четверта ланка у електроді – топкий запобіжник. Якщо з якоїсь причини в електричному ланцюзі проходить дуже великий струм, то перегрівання проводів може спричинити обвуглювання або загоряння ізоляції. Щоб уникнути небезпечних наслідків надмірного збільшення струму в ланцюг включають запобіжник, який є в зазвичай тонким металевим дротом, що сильно розігрівається у разі збільшення струму. Коли сила струму перевищить встановлену граничну величину, запобіжник плавиться і автоматично відключає ділянку ланцюга, у якій відбулося аномальне збільшення струму. Електричні мережі з включеними в них лампами теж захищають топкими запобіжниками, що оберігають дроти мережі від теплової дії струму при великих перевантаженнях.

Потужні біспіральні лампи мають сильно сконцентроване тіло розжарювання. Розріджений інертний газ у проміжках між витками тіла розжарювання сильно нагрівається й іонізується, унаслідок чого електропровідність його підвищується. У момент перегорання лампи між кінцями спіралі, що перегоріла, виникає електрична дуга, що складається з розжарених газів і парів вольфраму й викликає різке збільшення струму в ланцюзі лампи (коротке замикання). Щоб уникнути розплавлення мережевого запобіжника у момент збільшення струму, усі потужні

біспіральні лампи забезпечують власним топким запобіжником, що поміщається у ніжці. Роль такого запобіжника виконує зовнішня ланка електрода, яка виготовлена з дроту, здатного швидко розплавлятися у разі збільшення струму. У разі виникнення в лампі дуги власний запобіжник плавиться, запобігаючи розплавленню мережевого запобіжника. При виборі матеріалу для запобіжника та встановлення його розмірів виходять із того, що величина струму при перегоранні лампи не повинна перевищувати певних значень. Як матеріал для запобіжника застосовують дріт із константу (сплаву міді й нікелю) або феронікеля (сплаву заліза й нікелю), що мають підвищений питомий опір і порівняно низьку температуру плавлення.

На стрижні з нікелевої сталі, призначені для виготовлення запобіжників, нарощують 4–8 % міді, тобто значно менше, ніж це потрібно для виготовлення платиніту. У цьому разі випадку шар міді потрібний не для отримання якогось певного коефіцієнта розширення дроту, а як мастило, що полегшує подальше волочіння. Волочіння та відпалення такої ланки електроду не відрізняється від тих, що були описані раніше.

### **Контрольні питання**

1. Описати ланки електроду та їх призначення.
2. Для чого застосовується платиніт?
3. Сутність і призначення борирування.
4. Як спрацьовує та виготовляється топкий запобіжник?

## **28 ВИРОБНИЦТВО ГАЗІВ НА СВІЛОТЕХНІЧНИХ ПІДПРИЄМСТВАХ**

Основною сировиною для промислового отримання кисню та азоту слугує атмосферне повітря. Воно складається з однорідної суміші багатьох газів, переважно азоту (близько 78 %) і кисню (близько 21 %). Окрім газів, атмосферне повітря містить змінну кількість водяної пари й пилу.

Отримання кисню та азоту розділяється на два основні процеси – зріджування повітря та його розділення. Схема промислової установки наведена на рисунку 28.1.

**Зріджування повітря** засноване на його охолодженні до температури нижче критичної, при якій воно перетворюється на насичену пару, і у відводі від пари тепла, що супроводжується конденсацією пари у рідину. Як видно з рисунку 28.1, атмосферне повітря стискається компресором (1) і прямує по зміяку (2) до холодильника (3). З холодильника стисле повітря проходить через теплообмінник (8), у якому воно охолоджується шляхом поглинання холоду від пари вже раніше зрідженого повітря. Далі стисле повітря проходить через вузький канал (4) (дросельний вентиль), після виходу з якого тиск його різко знижується майже до атмосферного.

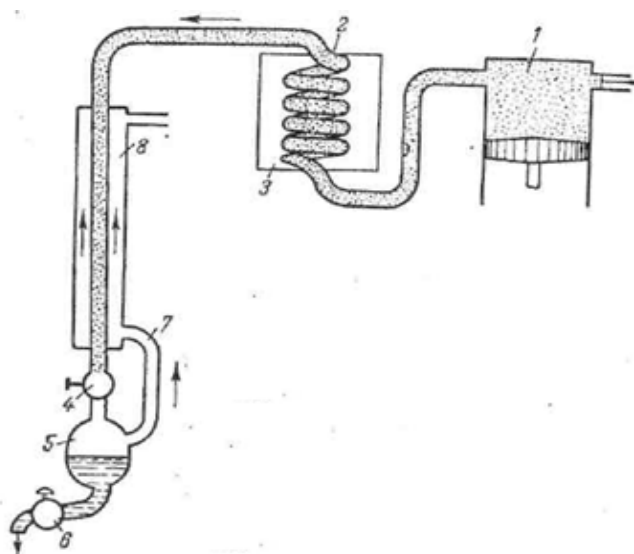


Рисунок 28.1 – Схема установки для отримання кисню і азоту

Цей процес називають дроселюванням, тобто пропусканням стислого повітря через вузький отвір із метою зменшення його тиску. Витрата енергії, що відбувається при цьому, зумовлена подоланням сил взаємодії між молекулами повітря під час його розширення та спричиняє охолодження повітря. Після дросельного вентиля охоложене повітря прямує до резервуару (5), у якому пари його відділяються від зрідженої частини й відводяться по трубці (7) до теплообмінника, де, як вже було зазначено, вони використовуються для подальшого охолодження нових порцій стислого повітря, що надходить із холодильника. Шляхом отримання рідкого повітря в резервуарі (5) закінчується перша стадія процесу.

Розділення рідкого повітря засноване на відмінності температур кипіння й випаровування його складників. При атмосферному тиску



кисень кипить (зріджується) при  $-183\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а азот при  $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Повітря кипить при  $-194\text{ }^{\circ}\text{C}$ , тобто при нижчій температурі, ніж кисень, і вищій, ніж азот. Коли повітря кипить, кисень і азот випаровуються з нього не однаковою мірою. Більшою мірою випаровується азот. Коли значна частина азоту вже випарується, рідке повітря збагатиться киснем.

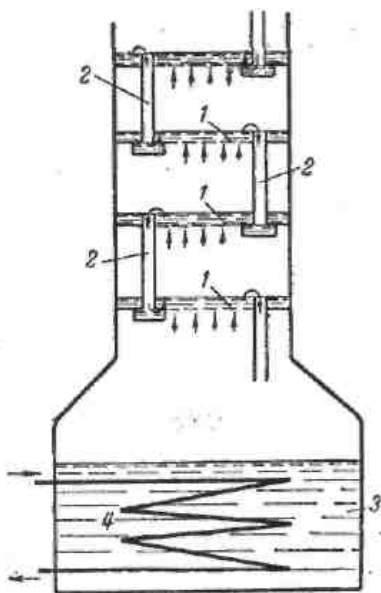


Рисунок 28.2 – Схема ректифікаційної колони

Багатократною конденсацією та випаровуванням повітря можна розділити його на азот і кисень. Такий спосіб розділення називають **ректифікацією**.

У виробництві цей процес здійснюється у ректифікаційних колонах (рис. 28.2.).

Ці колони забезпечені великою кількістю горизонтальних перегородок (тарілок). Кипляче рідке повітря поступає в «випарну судину» і безперервно з нього випаровується. Оскільки азот кипить при нижчій температурі, ніж кисень, то в продуктах випаровування міститься більше

азоту, ніж кисню; а в киплячій рідині міститься більше кисню, ніж азоту. Пари, поступово збагачуючись азотом, піднімаються через отвори в тарілках до вершу колони. Кисень, що міститься в парах, конденсується на тарілках у рідину та стікає з тарілки на тарілку вниз колони. У нижній частині колони поступово скупчується рідкий кисень, а у верхній частині – газоподібний азот.

Розділення повітря проводять за системою одноразової та двократної ректифікації. За першою системою можна отримувати кисень і азот, один із яких на 6–7 % забруднений іншим. За другою системою можна отримувати обидва гази в практично чистому вигляді.

Аналогічно можна одержати інші необхідні для електролампового виробництва гази – аргон і криптон. Одною з основних труднощів при цьому є доволі низька їх концентрація у повітрі.

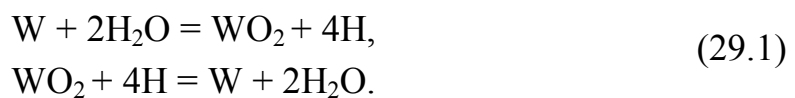
## Контрольні питання

1. Головні стадії одержання газів з повітря.
2. Робота промислової установки.
3. Принцип дії ректифікаційної колони.

## 29 ПРОМИВАННЯ ТА ВІДКАЧУВАННЯ ЛАМП

До шкідливих газів у газонаповних лампах належать насамперед кисень, пари води й вуглекислий газ, які можуть залишатися в лампах із атмосферного повітря, що містилося в них. До шкідливих газів належать також водень, окисел вуглецю та вуглеводні (пари масла), які можуть проникнути в лампи під час технологічного процесу.

Найнебезпечнішою для газонаповної лампи є водяна пара. На холодну вольфрамову нитку вона практично не діє, а на розжарену нитку діє руйнівню. Молекули води розкладаються поблизу розжареного вольфраму на кисень і водень, до того ж останній утворюється не у вигляді молекул, а у вигляді атомів, тобто в хімічно активній формі. Кисень окисляє вольфрам, оксиди вольфраму випаровуються з поверхні нитки до стінок колби, а атомний водень їх відновлює. Унаслідок цього на колбі осідають частинки відновленого вольфраму, а всередині лампи знов утворюється водяна пара. Водяна пара під дією високої температури знову розкладається на кисень і атомний водень, кисень окисляє наступні частинки розжареного вольфраму, а атомний водень їх знову відновлює з утворенням водяної пари. Описана реакція здійснюється замкнутими циклами й тому називається **циклічною**:



Отже, навіть незначна кількість водяної пари в лампі викликає перенесення частинок вольфраму з поверхні тіла розжарювання на внутрішню поверхню колби. Унаслідок циклічної реакції частинки вольфраму скупчуються на поверхні колби, поступово знижуючи прозорість скла, а тіло розжарювання дедалі більш тоншає. Тобто водяна пара знижує як світлотехнічні, так і експлуатаційні характеристики ЛР.

Особливо шкідливою водяна пара є для лампи з тонкою вольфрамовою ниттю.

Дія водню в лампі за наявності кисню майже співпадає з дією водяної пари. Нікелеві ланки електродів завжди містять адсорбований водень. Якщо вони нагріті та хоча б трошки окислені, то водень, виділяючись під час горіння лампи, відновлює оксиди й утворює водяну пару. За відсутністю в лампі кисню водень не викликає хімічного розпилювання вольфраму, але його висока теплопровідність і дисоціація його молекул на атоми під впливом високої температури нитки спричиняє додаткові теплові втрати в лампі.

Шкідлива дія газів, що містять вуглець, спричинена їх розкладанням під дією високої температури. Вуглець реагує з розжареним вольфрамом і утворює карбід, що спричиняє крихкість спіралі та схильність до викривлення.

Тиск кожного з компонентів газової суміші на стінки колби називають **парціальним**. Парціальний тиск шкідливих газів у газонаповних лампах повинен бути нижчим, ніж тиск залишкових газів у вакуумних лампах, оскільки у вакуумних лампах видалення залишкових газів завершують газопоглиначами (гетерами), а в газонаповних лампах газопоглиначі не діють так ефективно, як у вакуумних. Тому шкідливі гази з газонаповних ламп доводиться ретельно видаляти в процесі самого відкачування.

Спочатку лампи попередньо відкачують, не ставлячи за мету одержати високий вакуум. Декілька десятих долей міліметра й навіть декілька міліметрів ртутного стовпа вважається в цьому разі цілком достатнім остаточним тиском у колбі. Далі звільняються від шкідливих газів шляхом промивання.

Ця операція полягає в тому, що лампи після відкачування наповнюють азотом, і потім відкачують азот, потім знову наповнюють азотом і знову відкачують. Так поступають кілька разів, поки кількість шкідливих газів буде доведена до такого парціального тиску, при якому вони великої шкоди вже принести не зможуть. При кожному наповненні ламп промивальним азотом залишкові шкідливі гази змішуються з ним і разом віддаляються з лампи при подальшому відкачуванні. Парціальний тиск шкідливих газів у лампі після декількох промивок можна визначити за рівнянням:

$$P = P_0 \left( \frac{P_x}{P_a} \right)^n, \quad (29.2)$$

де  $P$  – парціальний тиск шкідливих газів у лампі після останнього промивання;

$P_0$  – тиск у лампі перед першим промиванням;

$P_x$  – тиск у лампі після відкачування промивального азоту;

$P_a$  – тиск у лампі після наповнення промивальним азотом;

$n$  – кількість промивань. Оскільки  $\frac{P_x}{P_a} < 1$ , зрозуміло, що на зменшення

парціального тиску шкідливих газів особливо впливає зростання показника ступеня  $n$ , тобто збільшення кількості промивань. Шляхом багатократного промивання можна створити такий низький тиск шкідливих газів, якого не можна досягти ніякими досконалими насосами.

Лампи відкачують, промивають і наповнюють на одних і тих самих відкачних автоматах, в основі яких лежать вакуумні насоси, найчастіше – пластинчато-роторні, принципова схема якого наведена на рисунку 29.1.

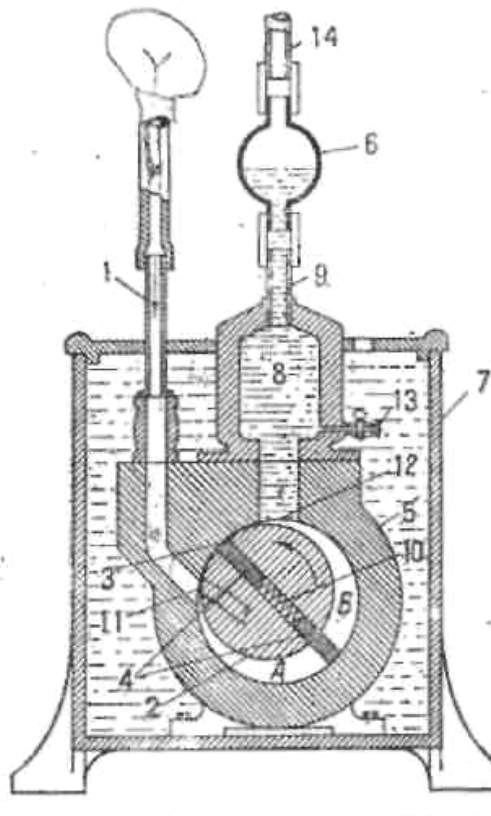


Рисунок 29.1 – Схема пластинчато-роторного насоса

Пластинчато-роторний насос становить статор (1) і ротор (2). Центр тяжіння ротора зміщено. У роторі є отвір з двома широкими пластинами (4), що розпираються за допомогою пружини (10). Насос з'єднується з відкачним об'ємом, наприклад, з колбою лампи. У разі такого з'єднання газ виходить із колби через канал (11), де його захоплює пластина, унаслідок чого газ потрапляє до камери А. Далі газ при обертанні ротора підходить догори – до випускного отвору, і за допомогою нагнітальних зусиль пластин долає прошарок масла й потрапляє до резервуара (6), де накопичується масло. Масло у резервуарі (8) використовується як регулятор одностороннього руху газу та змащувач частин насосу.

### **Контрольні питання**

1. Гази, що шкідливі для ламп.
2. Призначення відкачування та промивання.
3. Принцип дії пластинчато-роторного насосу.

### **30 ГАЗОПОГЛИНАЧІ ТА СПОСОБИ ЇХ НАНЕСЕННЯ. ВИГОТОВЛЕННЯ ЦОКОЛІВ ЛАМП**

Газопоглиначами або гетерами називають хімічні речовини, що вводяться всередину ламп із метою поглинання та знешкодження залишкових парів і газів. У вакуумних лампах поглиначі покращують вакуум, підтримують його на необхідному рівні та зменшують темний наліт вольфраму на колбі. У газонаповних лампах поглиначі поглинають шкідливі домішки в наповнювальному газі. Деякі поглиначі позитивно впливають на збільшення міцності тіла розжарювання та підвищення пробивної напруги лампи.

Поглиначі для ламп розжарювання мають відповідати таким вимогам:

- 1) активно поглинати й міцно утримувати шкідливі гази;
- 2) не давати непрозорого нальоту на внутрішніх стінках колби;
- 3) не впливати на світлові й електричні параметри ламп;
- 4) не зменшувати механічну міцність тіла розжарювання;
- 5) не вступати в хімічну сполуку з матеріалом тіла розжарювання;

б) мати при робочій температурі лампи низьку пружність насиченої пари;

7) поглинати гази при певному інтервалі температур.

Газопоглиначі можуть бути випаровуваними і невиваровуваними. Перші наносять безпосередньо на тіло розжарювання, другі – на електроди поблизу тіла розжарювання. Перші діють переважно в газоподібному стані при першому запаленні ламп. Другі – у твердому стані протягом усього терміну служби ламп. До перших належать червоний фосфор, кріоліт, вуглекислий барій, газова сажа; до других – металеві цирконій, титан і алюміній. У вакуумних лампах застосовують фосфорно-кріолитовий газопоглинач, у газонаповних – переважно фосфорний, барієвий, цирконієвий, титановий і алюмінієвий.

Для поєднання порошкоподібних гетерів у єдину масу, тобто для зчеплення мікрочастинок поміж собою використовують *біндери*. Біндери оточують тонким шаром кожен частинку поглинача й додають поглиначу вологостійкість і клейкість, полегшуючи його рівномірний розподіл і закріплення на поверхні спіралі. Як біндер застосовують нітролак. Заготовлені компоненти поглинача перемішують у необхідній пропорції та розтирають у фарфоровому кульовому млині. Поглинач діє в лампах зі швидкістю, прямо пропорційній до величини його поверхні, тому чим тонше розтертий поглинач, тим рівномірніше його можна наносити на тіло розжарювання чи електроди й тим активніше він діятиме в лампі. Розтертий поглинач зберігають у закритих скляних банках. Усі компоненти поглинача містяться в біндері в зваженому стані. Вони розподіляються в його об'ємі у вигляді найдрібніших, не зв'язаних один з одним окремих частинок. Подібні малопрозорі або непрозорі каламутні рідини, що містять дрібнорозділені тверді зважені частинки, називають суспензіями. Усі поглиначі для ламп є більш-менш густими суспензіями, у яких тверді компоненти розподілені у вигляді найдрібніших суспензій. При зберіганні розбавлених поглиначів їхні тверді частинки з тим більшою швидкістю осідають на дно, чим вони більші й важчі. Для рівномірного розподілу їх у всій масі рідини поглинач перед вживанням і періодично під час роботи збовтують.

Під час приготування поглинача потрібно дотримувати чистоту. Забруднення поглинача негативно впливає на термін служби ламп, особливо з тонкою вольфрамовою ниткою. Усі поглиначі гігроскопічні, тобто легко поглинають вологу з атмосферного повітря. Тому їх потрібно

зберігати в прохолодному місці не довше 2–3 діб. Невикористаний, несвіжий поглинач необхідно викидати. На заводах, розташованих в місцевостях з підвищеною вологістю повітря, необхідно з особливою ретельністю приймати заходи проти зволоження поглинача.

Поглинач наносять на спіралі фонтанним способом.

При цьому обладнання складається з латунної воронки, куди завантажують спіралі, пульверизатора, скляного циліндра, чашки й установки для очищення повітря. Воронку заповнюють спіралями та накривають циліндром. У чашку наливають поглинач. Поворотом крана подають дозу гетера у канал, по якому у воронку поступає стиснуте очищене повітря. Порція повітря розпилює поглинач і піднімає спіралі догори. Спіралі перемішуються та рівномірно покриваються шаром газопоглинача. Циліндр обмежує рух спіралей і не дає їм вилітати за обмежений ним простір. За один раз можна завантажувати від 500 до 12 000 спіралей при тиску стислого повітря 2–3 атм. Чим більше завантаження, тим вище потрібний тиск повітря. У фонтанного методу є недоліки – тонкі спіралі розтягуються, згинаються та ламаються; спіралі з великим кроком іноді сплутуються. Цих недоліків немає у способі масового занурення, згідно до якого спіралі укладають в алюмінієву чашку з великою кількістю отворів у дні. В іншу посудину більшого розміру, наливають поглинач. Чашку зі спіралями занурюють у посудину з поглиначем. Після двократного занурення покриті спіралі витягують із чашки та сушать на фільтрувальному папері або в струмені очищеного стислого повітря.

Кожен пакет спіралей до й після покриття зважують на аналітичних вагах. Надбавка у вазі, отримана після покриття, носить назву **приросту поглинача**. Якщо вона виражена у відсотках до ваги непокритих спіралей, її називають **відсотком приросту** поглинача. Для нормальних освітлювальних вакуумних ламп наносять фосфорно-кріолитовий поглинач із приростом 5–15 %. Для газонаповних ламп потужністю 75–150 Вт – фосфорний поглинач із приростом 0,15–0,50 %. Необхідний відсоток приросту встановлюють шляхом виготовлення пробних ламп. На підставі результатів проб коректують приріст. Під час встановлення співвідношення між фосфором і кріолітом керуються тим, що кількість фосфору повинна бути пропорційне площі поверхні колби, а кількість кріоліту пропорційна до швидкості випаровування спіралі.

Спіралі з нанесеним поглиначем мають задовольняти таким вимогам:

- 1) поглинач має бути добре просушений;
- 2) спіралі не повинні прилипати одна до одної;
- 3) поглинач повинен бути рівномірно розподілений по всій поверхні спіралі;
- 4) поглинач не повинен містити твердих крупинок;
- 5) поглинач не повинен обсіпатися зі спіралей;
- 6) відсоток приросту поглинача повинен відповідати нормам;
- 7) спіралі не повинні мати механічних пошкоджень;
- 8) спіралі не повинні бути забруднені.

Спіралі, покриті газопоглиначем при тривалому зберіганні, особливо у вологому повітрі, абсорбують вологу, окислюються та втрачають свої якості. Тому негайно після нанесення поглинача спіралі поміщають у вологонепроникну обгортку або в щільно закриті скляні пробірки. Поглинач потрібно наносити незадовго до монтажу спіралей. Спіралі, що довго зберігалися після нанесення поглинача, слід відмивати й повторно покривати новим поглиначем.

#### *Виготовлення цоколів ламп*

Цоколь слугує для механічного й електричного з'єднань лампи з патроном. Більшість ламп виготовляють із різьбовими або штифтовими цоколями (рис. 30.1), у деяких випадках є потреба у фокусуєчих цоколях (рис. 30.2).

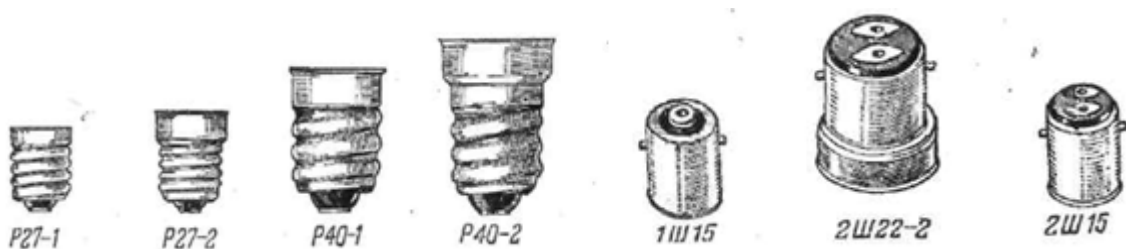


Рисунок 30.1 – Різьбові та штифтові цоколі ламп



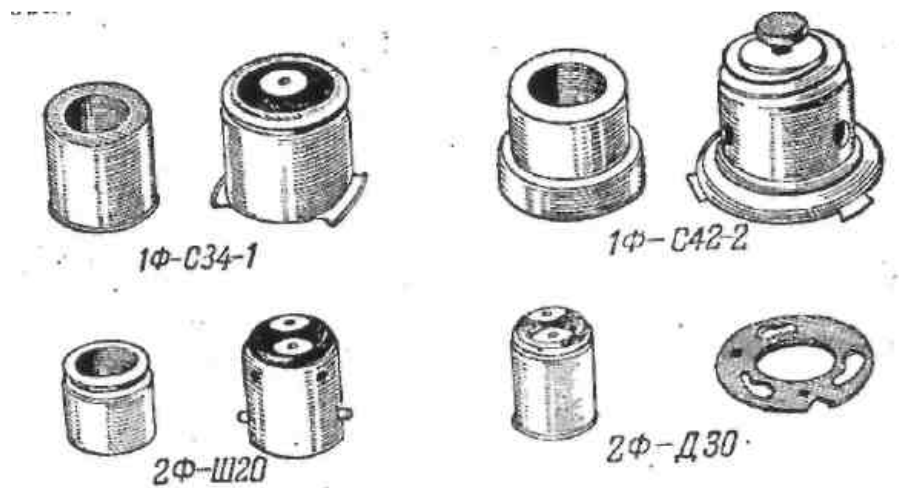


Рисунок 30.2 – Фокусуючі цоколі ламп

Корпуси, контактні пластинки та штифти повинні бути виготовлені з металу, що не боїться корозії. Зазвичай ці деталі виготовляють з латуні, що складається зі сплаву міді й цинку. При вмісті міді 68 % і цинку 32 % сплав виходить найбільш пластичним. Корпуси та штифти виготовляють також із м'якої сталі, але покривають шаром захисного металу. Ізоляція цоколів повинна бути виготовлена з волого та теплостійкої механічно міцної неелектропровідної маси. Вона повинна міцно сполучати корпус цокolia з контактною пластинкою. Зазвичай цю частину цокolia виготовляють з скла і, рідко, з пластмаси або фарфору.

Цоколі виготовляються зі штампованого металу. Для підвищення продуктивності замість простих одноопераційних штампів користуються многорядними штампами, що проводять за один хід преса декілька однакових операцій одночасно з декількома заготовками, комбінованими або суміщеними штампами, що проводять за один хід преса декілька різних операцій одночасно з однією й тією самою заготовкою та послідовними штампами, що проводять за один хід преса декілька різних операцій одночасно з декількома заготовками, що послідовно переміщаються від однієї операції до іншої. Для створення належних умов безпеки встановлюють огорожі, що ізолюють штампи й рухомі механізми преса від обслуговчого персоналу. З цією самою метою застосовують автоматичні пристосування, що подають матеріал або заготовки під штамп. Такі пристосування, крім того, значно підвищують продуктивність праці та скорочують втрати матеріалу під час штампування. У виробництві цоколів зустрічається різний рівень механізації та автоматизації штампувальних операцій. Разом із простими пристроями для подачі

штампованих заготовок застосовують повну автоматизацію. Для штампування цоколів застосовують латунь і низковуглецеву сталь у вигляді стрічки, згорнутої в рулони. Латунна стрічка повинна бути марки Л68 або Л62 за ГОСТ 2208-49 і сталева мазкі ОМ (особливо м'яка холоднокатана) за ГОСТ 503-41. Поверхня стрічки має бути чистою, без шорсткостей, нерівностей, окалини й іржі. Кромки стрічки мають бути обрізані та не повинні мати задирок. Витяжні властивості стрічки, тобто здатність її витягуватися без розриву, визначають випробуванням на приладі Еріксена. Дія цього приладу заснована на поступовому продавлюванні зразка металу, затиснутого між пуансоном і матрицею певних розмірів, до появи на поверхні сферичної лунки. За глибиною лунки в момент появи в ній першої тріщини судять про придатність металу для витяжки. Латунна та сталева стрічки для цоколів повинні мати глибину витяжки за Еріксом при пуансоні діаметром 10 мм не менше 5,5 мм. Стрічка має мати товщину 0,2–0,4 мм. Вона повинна бути тим товще, чим менше її витяжка по Еріксену, чим більше цоколь і чим більше відношення висоти корпусу цокolia до його діаметра. Ширина стрічки повинна бути такою, щоб відходи після штампування вийшли мінімальні.

Стакан цокolia неможливо повністю витягнути за одну операцію без того, щоб він не розірвався. Тому його витягують у два-три переходи. Спочатку зі сталевий або латунної стрічки вирубують комбінованим штампом плоский кружок і одночасно з кружка витягають стаканчик. На другому й третьому переходах діаметр стаканчика поступово зменшується, а висота збільшується. Щоб штамп не перегрівався, стрічку періодично змочують 10 %-ю мильною емульсією. Змочена заготівка до того ж легко виходить зі штампу та не прилипає до нього. Корпуси цоколів після операцій витяжки й виходять із нерівними хвилястими кромками, тому їх обрізають для отримання однакової висоти по всьому колу ранта. На корпусах різьбових цоколів видавлюють гвинтове різьблення. Різьбодавильний автомат складається з накатного гвинта, на який надягають гладкий корпус цокolia, і сталевий накатний ролик з такою самою різьбою, що й у гвинта, але більшого діаметра. Гвинт має праву різьбу, а ролик ліву. Гвинт і ролик обертаються навколо своїх осей у різних напрямках, до того ж гвинт обертається на закріпленій осі, а ролик, не припиняючи свого обертання, відходить від гвинта у момент надягання та знімання корпусу. Виступи різьби гвинта точно співпадають із западинами різьби ролика.

## Контрольні питання

1. Вимоги до газопоглиначів.
2. Призначення газопоглиначів та способи їх нанесення.
3. Вимоги до спіралей із прошарком газопоглиначів.
4. Принцип дії приладу Еріксена.
5. Дія витяжного штампуги при виробництві цоколів.
6. Накатка різьби на цоколь.

## 31 ПРАКТИЧНІ ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

### Основи побудови технологічних схем на прикладі виготовлення промислового скла

#### *Побудова технологічної схеми виготовлення скла*

Метою цього розділу є ознайомлення студентів із головними положеннями технології виготовлення різних видів скла й розроблення технологічної схеми виготовлення певного виду промислового скла.

#### *Головні положення технології виготовлення скла.*

Хімічний склад скла.

«Звичайне скло»:

- 68–75 %  $\text{SiO}_2$ ;
- 10–17 %  $\text{Na}_2\text{O}$ ;
- 5–10 %  $\text{CaO}$ ;
- до 4 %  $\text{MgO}$ ;
- до 3 %  $\text{K}_2\text{O}$ ;
- 1–4 %  $\text{Al}_2\text{O}_3$  і  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ .

Виробництво скла складається з процесів: підготовки сировинних компонентів, отримання шихти, варки скла, охолодження скломаси, формування виробів, їх відпалу й обробки (термічної, хімічної, механічної). До головних компонентів належать склоутворюючі речовини (природні, наприклад  $\text{SiO}_2$ , і штучні, наприклад  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), що містять основні (лужні й лужноземельні) й кислотні оксиди. Головний компонент більшості промислових видів скла – кремнезем (кремнію двоокис), вміст якого в склі становить від 40 % до 80 % (за масою), а в кварцових і кварцоїдних – від 96 % до 100 %. У скловарінні звичайно як джерело кремнезему використовують кварцові скляні піски, які в разі потреби

збагачують. Сировиною, що містить борний ангідрид, є борна кислота, бура тощо. Глинозем вводиться з польовими шпатами, нефеліном тощо; лужні оксиди – з кальцинованою содою та поташем; лужноземельні оксиди – з крейдою, доломітом і т.п. Допоміжні компоненти – з'єднання, що додають ту або іншу властивість, наприклад забарвлення, прискорення процес варіння тощо. Наприклад, з'єднання марганцю, кобальту, хрому, нікелю використовуються як фарбники, церію, неодіма, празеодіма, миш'яку, сурми – як знебарвлювачі й окислювачі, фтору, фосфору, олово, цирконію – як глушники (речовини, що обумовлюють інтенсивне розсіювання світла); як освітлювачі застосовують хлорид натрію, сульфат і нітрат амонію тощо. Усі компоненти перед варінням просівають, сушать, за необхідності подрібнюють, змішують до повністю однорідної порошкоподібної шихти, яку подають у скловарну піч. Процес скловаріння умовно розподіляють на декілька стадій: силікатоутворення, склоутворення, освітлювання, гомогенізація й охолодження (студінню).

Під час нагрівання шихти спочатку випаровується гігроскопічна та хімічно зв'язана вода. На стадії силікатоутворення відбувається термічне розкладання компонентів, реакції у твердій і рідкій фазі з утворенням силікатів, які спочатку є спеченим конгломератом, що включає й компоненти, які не вступили в реакцію. У процесі підвищення температури окремі силікати плавляться і, розчиняючись один в одному, утворюють непрозорий розплав, що містить значну кількість газів і частинки компонентів шихти. Стадія силікатоутворення завершується при 1 100–1 200 °С.

На стадії склоутворення розчиняються залишки шихти й видаляється піна – розплав стає прозорим; стадія поєднується з кінцевим етапом – силікатоутворенням та перебігу при температурі 1 150–1 200 °С. Власне склоутворенням називають процес розчинення залишкових зернин кварцу в силікатному розплаві, унаслідок чого утворюється порівняно однорідна скломаса. У звичайному силікатному склі міститься близько 25 % кремнезему, хімічно не зв'язаного в силікати (тільки таке скло виявляється придатним за своєю хімічною стійкістю для практичного використання). Склоутворення перебуває значно повільніше, ніж силікатоутворення, воно становить близько 90 % від часу, витраченого на проварювання шихти та близько 30 % від загальної тривалості скловаріння.

Таблиця 31.1 – Склад промислових видів скла

Вид скла	Хімічний склад, %										
	SiO <sub>2</sub>	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	BaO	PbO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SO <sub>3</sub>
Віконне	71,8	–	2	4,1	6,7	–	–	14,8	–	0,1	0,5
Тарне	71,5	–	3,3	3,2	5,2	–	–	16	–	0,6	0,2
Посудне	74	–	0,5	–	7,45	–	–	16	2	0,05	–
Кришталъ	56,5	–	0,48	–	1	–	27	6	10	0,02	–
Хіміко-лабораторне	68,4	2,7	3,9	–	8,5	–	-	9,4	7,1	–	–
Оптичне	41,4	–	–	–	–	–	53,2	–	5,4	–	–
Кварцове	96	3,5	–	–	–	–	–	0,5	–	–	–
Електроколбове	71,9	–	–	3,5	5,5	2	–	16,1	1	–	–
Електровакуумне	66,9	20,3	3,5	–	–	–	–	3,9	5,4	–	–
Медичне	73	4	4,5	1	7	–	–	8,5	2	–	–
Жаростійке	57,6	–	25	8	7,4	–	–	-	2	–	–
Термостійке	80,5	12	2	–	0,5	–	–	4	1	–	–
Термометричне	57,1	10,1	20,6	4,6	7,6	–	–	-	-	–	–
Захисне	12	–	–	–	–	–	86	-	2	–	–
Радіаційно-стійке	48,2	4	0,65	–	0,15	29,5	м	1	7,5	–	–
Скляне волокно	71	–	3	3	8	–	–	15	–	–	–

Звична скляна шихта містить близько 18 % хімічно зв'язаних газів ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{O}_2$  тощо). У процесі проварювання шихти ці гази переважно видаляються, проте частина їх залишається у скломасі, утворюючи великі й дрібні пухирці.

На стадії освітлювання при тривалій витримці при температурі 1 500–1 600 °С зменшується ступінь перенасичення скломаси газами, унаслідок чого пухирі великих розмірів піднімаються на поверхню скломаси, а малі розчиняються в ній. Для прискорення освітлювання в шихту вводять освітлювачі, які знижують поверхнєве натягіння скломаси; скломаса перемішується за допомогою спеціальних вогнетривких змішувачів або через неї пропускають стисле повітря чи інший газ.

Одночасно з освітлюванням відбувається гомогенізація – усереднювання скломаси по складу. Неоднорідність скломаси зазвичай утворюється внаслідок поганого перемішування компонентів шихти, високої в'язкості розплаву, сповільненості дифузійних процесів. Гомогенізації сприяють газові пухирці, що виділяються зі скломаси, які перемішують неоднорідні мікроділянки й полегшують взаємну дифузію, вирівнюючи концентрацію розплаву. Найінтенсивніше гомогенізація здійснюється у разі механічного перемішування (найпоширенішою ця операція є у виробництві оптичного скла).

Остання стадія скловаріння – охолодження скломаси (студінню) до в'язкості, необхідної для формування, що відповідає температурі 700–1 000 °С. Головна вимога для студінню – безперервне повільне зниження температури без зміни складу й тиску газового середовища; у разі порушення сталої рівноваги газів утворюється так звана вторинна мошка (дрібні пухирці).

Процес отримання деяких видів скла відрізняється специфічними особливостями. Наприклад, плавлення оптичного кварцового скла в електричних скловарильних печах ведеться спочатку у вакуумі, а в кінці плавлення – в атмосфері інертних газів під тиском. Виробництво кожного типу скла визначається технологічною нормаллю.

Формування виробів з скломаси здійснюється механічним способом (плющенням, пресуванням, пресовидуванням, видуванням тощо) на склоформувальних машинах. Після формування виріб піддають термічній обробці (відпалу).

Унаслідок відпалення (витримки виробів при температурі, близькій до температури розм'якшення скла) і подальшого повільного охолодження відбувається релаксація напружень, що з'являються у склі у разі швидкого

охолодження. Унаслідок так званого загартовування у склі виникають залишкові напруги, що забезпечують його підвищену механічну міцність, термостійкість і специфічний (безпечний) характер руйнування порівняно зі звичайним склом (загартовані типи скла застосовують для скління автомобілів, вагонів та інших).

Скловарильна піч, призначена для варіння скла та його підготовки до формування ВСп шихта (сировинні компоненти) у процесі нагрівання (зазвичай до 1 500–1 600 °С) проходить стадії силікатутворення, взаємного розчинення силікатів і залишкового кремнезему, освітлювання (знегажування), а потім перетворюється на скломасу, придатну для формування виробів. До періодичних скловарильних печей належать горшкові, а також невеликі ванні печі. Ці скловарильні печі застосовують для варіння спеціальних видів стекол (оптичного скла, кольорового, світлотехнічного скла, кришталю тощо), виробництво яких проводиться переважно вручну. Горшкові скловарильні печі зазвичай вміщують 6–8 горщиків (вогнетримкі посудини із шамоту, каоліну або кварцу місткістю від 100 кг до 1000 кг скломаси), рідше 12–16 горщиків (при виробництві литтєвого скла). У процесі роботи піч нагрівають, у горщики засипають скляний бій і шихту, скломасу варять до готовності, потім скло використовують, і процес поновлюється. Горшкові скловарильні печі вельми неекономічні (ККД близько 8 %), але в них можна одночасно варити види скла різного складу, до того ж у горщиках порівняно легко здійснити перемішування й одержати однорідну скломасу, необхідну для виготовлення оптичного та іншого скла. Більш економічні періодичні ванні – скловарильні печі, які переважно застосовують для варіння тугоплавких, кольорових та інших видів скла.

У безперервно діючих ваннах здійснюється варіння масового промислового скла (лишкове скло, тарне тощо), що виконується машинним способом (склоформувальна машина). У таких скловарильних печах стадії варіння перебігають у певних зонах при подальшому переміщенні розплаву по довжині печі. Варильна частина печі об'єднує зони варіння, освітлювання та гомогенізації, вироблювальна – зони студінню та вироблення. Конструкції ванн скловарильних печей розрізняються за напрямом полум'я (поперечне, підковоподібне тощо), способом виділення варильної та вироблювальної частин у скляному розплаві (наприклад, плаваючих шамотних тіл) і способом розділення підведеного газового простору печі (зниження зведення, екран тощо). Наприклад, для виробництва листового скла застосовують безперервно діючі ванні печі з поперечним полум'ям; довжина басейну – до 60 м, ширина –

10 м, глибина до 1,5 м, басейн вміщує до 2,5 тис. т скломаси. Продуктивність безперервних ванн скловарильних печей до 300 т/доб і більше скломаси. Басейни ванних печей споруджують із вогнетривів.

#### *Технологічна схема промислового виробництва скла*

Традиційна технологія промислового способу отримання скла складається з підготовки сировинних матеріалів; підготовки шихти; варіння скла; охолодження скломаси; формування виробів; їх відпалення та обробка (термічна, хімічна або механічна). Потім скло піддають контролю якості, пакують і складають (рис. 31.1)

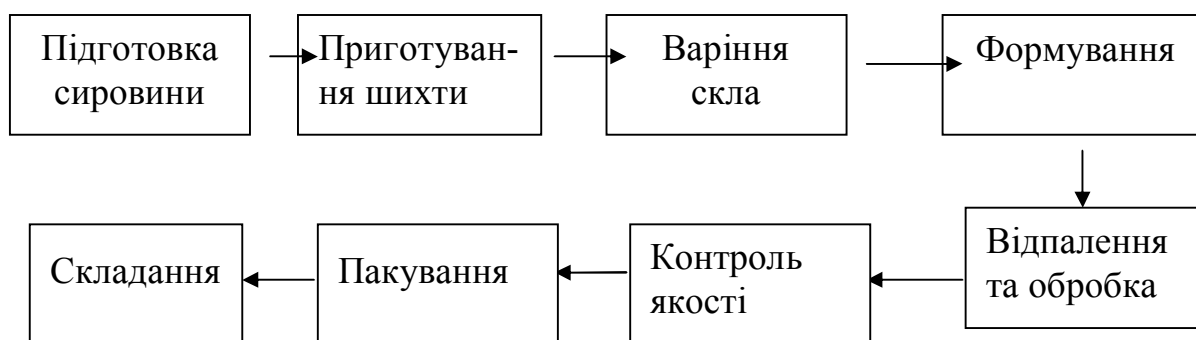


Рисунок 31.1 – Типова технологічна схема промислового способу отримання скла

#### *Підготовка сировини*

Основну підготовку сировини для скла виконують безпосередньо на скло-варильних заводах. Цей процес включає такі операції:

- змелення та подрібнення матеріалів, що потрапляють на завод у вигляді шматків (доломіт, вапняк тощо)
- сушіння тих матеріалів, що потрапляють на завод вологими (пісок, доломіт, вапняк);
- просіювання всіх потрапляючих на завод матеріалів через сита необхідного розміру.

У тих випадках, коли пісок потрапляє зі збагачувальних фабрик, він піддається тільки просіюванню. Після просіювання всі сировинні матеріали подають у бункери зберігання підготовленої сировини, звідки вона потрапляє на дозування.



### *Приготування скляної шихти*

Скляною шихтою називають однорідну суміш, попередньо підготовлених і зважених за заданим рецептом сировинних матеріалів.

На сьогодні на скляних заводах приготування шихти ведуться в механізованих цехах, у яких передбачається повний цикл операцій із підготовки й усереднення сировини, до складу яких входить склад сировини з приймальним павільйоном і дозаторно-змішувальне відділення. Останнє складається з витратних бункерів сировини, приміщення розподілу матеріалів із силосів (та інших місць зберігання) у витратні бункери в дозувально-змішувальній лінії. У склад такої лінії входять автоматичні ваги, змішувачі, транспортувальні пристрої та бункери зберігання шихти.

Важливими стадіями приготування скляної шихти є такі:

- дозування компонентів;
- змішування і зволоження шихти;
- введення скляного бою;
- контроль якості.

### *Дозування компонентів скляної шихти*

Дозування компонентів шихти здійснюється дозаторами, які повинні забезпечити високу точність процесу в умовах його високої продуктивності, а також надійність роботи й гнучку переналадку.

Процес дозування в сучасних механізованих цехах здійснюється за трьома технологічними схемами:

- лінійне розташування дозаторів під витратними бункерами сировини з подачею відвісів на горизонтальний збірний транспортер;
- лінійне розташування витратних бункерів і проведення процесу дозування у ваги-візок;
- баштове розташування витратних бункерів сировини та проведення процесу дозування всіх компонентів шихти за допомогою вагів.

Варто зазначити, що остання схема не знайшла застосування на вітчизняних заводах, тоді як за кордоном вона широко використовується.

### *Змішування та зволоження скляної шихти*

Зважені відповідно до заданого складу компоненти шихти за допомогою стрічкового конвеєру подають у змішувач, розташований під зважувальною лінією.

Для перемішування зважених компонентів у світовій практиці застосовують таке обладнання:

- змішувачі тарілкового типу з рухомою та нерухомою чашами;
- барабанні або конусні змішувачі грушоподібної форми (бетонозмішувачі) зазвичай всього із горизонтальною та нахиленою віссю обертання;
- безперервно діючі шнекові змішувачі;
- пневматичні змішувачі.

Найрозповсюдженішими у скляній промисловості є тарілкові змішувачі. Змішування матеріалів у них відбувається в кільцевому обсязі чаші шляхом кругового обертання підгрібаючих і обертаючих лопаток з одночасним самостійним обертанням їх відносно внутрішньої поверхні кільцевої чаші.

Зволоження шихти виконують на стадії змішування для надання матеріалу вологості, яка змінюється в діапазоні 3,5–4,5 %. При цьому нижня межа вологості обумовлена розшаруванням сухої шихти під час транспортування й завантаження в піч, а верхня є оптимальною як для швидкості варіння шихти, так і з погляду утримання вологи в сипкому матеріалі. За умови більшої вологості шихти потрібна додаткова енергія на її випаровування та швидкість варіння при цьому знижується.

На скляних заводах застосовують такі варіанти зволоження шихти:

- попереднє зволоження одного піску й подальша подача в змішувач інших компонентів;
- попереднє зволоження суміші піску з доломітом і подальша подача в змішувач інших компонентів;
- зволоження всієї шихти приблизно в середині процесу її змішування (саме цей метод є найрозповсюдженішим).

#### *Уведення бою у скляну шихту*

Традиційно в скловарильну піч шихта подається зі скляним боєм у співвідношенні 75–85% шихти – 25–35 % скляного бою. Однак за останні десять років ці пропорції на вітчизняних заводах суттєво змінилися, на сьогодні частка бою виросла до 30-50%, а іноді й більше.

Практикують декілька варіантів введення бою у шихту:

- змішування скляного бою з шихтою у змішувачах, для чого бой попередньо подрібнюють до розмірів шматків не більше 10–15 мм, що забезпечує необхідну текучість;

- створення шарів шихти й бою на стрічковому транспортері, звідки вони надходять у бункери завантажувачів, частково змішуючись під час скиданні;
- змішування бою з шихтою в особливому змішувачі, який розташований поблизу завантажувального кармана скловарильної печі (цей варіант широко застосовується в іноземних проектах);
- завантаження шихти на прошарок бою за допомогою роторних завантажувачів (цей варіант потребує складного механічного обладнання, що стримує його розповсюдження).

#### *Контроль якості скляної шихти*

Головними показниками якості скляної шихти є відповідність її заданому хімічному складу та хімічна однорідність.

Існує два варіанти контролю якості шихти: поточний і періодичний (табл. 31.2).

Таблиця 31.2 – Порядок відбору проб шихти для контролю її якості

Параметри контролю	Поточний контроль	Періодичний контроль
Мета контролю	Перевірка відповідності шихти заданому рецепту	Перевірка роботи змішувача й однорідності шихти
Параметри, що контролюються	Сода, сума карбонатів кальцію та магнію, сума нерозчинних у HCl компонентів, сульфат натрію, волога	–
Місце відбору проби	На виході зі змішувача, із витратних бункерів шихти, транспортер	Змішувач, вагонетка, бункер завантажувача, транспортер
Маса середньої проби, кг	До 10	2–10
Маса приватної проби, кг	0,2	0,2
Кількість приватних проб	4–6	До 10
Маса лабораторної проби, г	100	100

Відбір проб шихти на контрольні аналізи виконують після завершення процесу її змішування.

Найпрогресивним методом контролю шихти є рентгеноспектральний аналіз. Тільки цей метод дає змогу отримати інформацію про вміст у шихті окремих окислів із точністю 0,2–0,3 % протягом 30 хв, тоді як проведення подібного аналізу хімічним методом може тривати від 45 хв до 1,5 год.

### *Варіння скла*

У загальному випадку під варіння скла розуміють термічний процес, у наслідок якого суміш різнорідних компонентів утворюють однорідний розплав. Сутність процесу полягає в нагріванні шихти в печах різних конструкцій, унаслідок чого вона перетворюється в рідку скломасу, витримуючи складні фізико-хімічні взаємодії компонентів, що відбуваються протягом значного часового інтервалу.

Розрізняють п'ять головних етапів варіння скла:

1) силікатоутворення, на стадії якого утворюються силікати та інші проміжні сполуки. Для видів скла звичайного складу цей етап завершується при температурі 950 – 1 150 °С

2) склоутворення, в ході якого утворений на першому етапі спек при підвищенні температури розплавлюється, завершуються реакції силікатоутворення, а також відбувається взаємне розчинення силікатів. У розплаві силікатів протікає досить повільне розчинення залишкового кварцу, яке є головним змістом цього етапу. До моменту його закінчення утворюється прозорий неоднорідний за складом розплав, що містить багато пухирів. У загальному випадку етап склоутворення завершується при температурі 1 200–1 250 °С;

3) освітлення (дегазація), протягом якого з розплаву видаляються видимі газові домішки – великі й малі пухирці. Для звичайного скла етап завершується при 1 500 – 1 600 °С.

4) гомогенізація (усереднення), на стадії якої відбувається усереднення розплаву за складом і він стає хімічно однорідним. Важливо відзначити, що гомогенізація перебігає одночасно з освітленням і в тому самому діапазоні температур;

5) студіння (охолодження), у ході якої відбувається підготовка скломаси до формування, для чого температуру знижують до 300–400 °С, добиваючись у такий спосіб необхідної в'язкості скла.

Розподілення процесу скловаріння на п'ять етапів є умовним – у реальних промислових умовах вони накладаються один на одного. Тільки перший і п'ятий етапи розподілені в печах часом і простором, тоді як перша та друга стадії скловаріння одночасно починаються й суміщаються до завершення склоутворення, а потім третій і четвертий етапи йдуть нерозривно.

### *Формування скла*

Процес формування скла є головною та найважливішою після скловаріння технологічною стадією, сукупність цих двох безпосередньо пов'язаних процесів визначають механізоване скляне виробництво, профіль його спеціалізації, технічний рівень і економічну ефективність.

Процес формування складається з двох етапів, що визначають його перебіг: деформування скломаси та її поступове затвердіння, яке розвивається та продовжується протягом всього формування.

### *Порядок виконання роботи*

1. Обрати вид промислового скла за варіантом з таблиці 31.1.
2. Ознайомитися з головними стадіями виробництва промислового скла.
3. Визначити головні складники обраного типу скла.
4. Скласти технологічну схему виготовлення певного виду промислового скла.
5. Описати кожну операцію в технологічній схемі виробництва виду скла.

### **Контрольні питання**

1. З яких процесів складається виробництво скла? Опишіть кожний із процесів.
2. Які вимоги щодо компонентів, із яких виготовляється скло?
3. Яке обладнання та методи застосовують під час виготовлення скла?
4. Які компоненти були вибрані для виготовлення виду промислового скла, для якого була складена технологічна схема й чому?

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Боленок В. Е. Производство электроосветительных приборов / В. Е. Боленок. – М. : Энергоиздат, 1981. – 305 с.
2. Мельников Ю. Ф. Светотехнические материалы / Ю. Ф. Мельников. – М. : Высшая школа, 1976. – 151 с.
3. Козлов В. Н. Технология производства световых приборов / В. Н. Козлов. – М. : Энергоатомиздат, 1991. – 271 с.
4. Айзенберг Ю. Б. Основы конструирования световых приборов : учебное пособие для вузов / Ю. Б. Айзенберг. – М. : Энергоатомиздат, 1996. – 704 с.
5. Айзенберг Ю. Б. Световые приборы : учебник для электромеханических техникумов / Ю. Б. Айзенберг. – М. : Энергия, 1980. – 464 с.
6. Справочная книга по светотехнике / Под ред. Ю. Б. Айзенберга. – М. : Знак, 2006. – 972 с.
7. Литвиненко А. С. Світлові прилади : навч. посібник для студентів вищих технічних навчальних закладів / А. С. Литвиненко, О. Л. Черкашина ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2015. – 125 с.
8. Баландаева Л. Г. Эффективная методика расчета формы зеркального отражателя светильника с требуемой КСС / Л. Г. Баландаева, Г. А. Петченко, А. И. Токмань // Коммунальное хозяйство городов : науч.-техн. сборник – Харьков : «Техніка», 2003. – Вип. 53. – С. 207–210.
9. Решение обратной задачи применительно к нахождению оптимального профиля зеркального круглосимметричного отражателя в рамках метода элементарных отображений / Г. А. Петченко, Л. Д. Гуракова, Л. Г. Баландаева, и др. // Світлотехніка та електроенергетика. – Харьков : ХНАГХ , 2007. – № 1(9). – С. 40–44.
10. Дмитренко Т. В. Расчет световых приборов с экологически перспективными источниками света / Т. В. Дмитренко, Г. А. Петченко // Коммунальное хозяйство городов : науч.-техн. сборник. – Харьков : Техніка, 2006. – Вип. 74. – С. 381–384.
11. Апробация методики решения обратной задачи применительно к нахождению оптимальных габаритов отражателя светильника с заданным светораспределением / Г. А. Петченко, Л. Д. Гуракова, Л. Г. Баландаева, В. И. Степура // Тези допов. на XXXIV науково-техн. конференції / Харків. нац.

акад. міськ госп-ва, Харків, квітень 2008 р. – Харків : ХНАМГ, 2008. – С. 40–41.

12. Петченко Г. О. Технологія світлотехнічного виробництва : конспект лекцій для студентів 4 курсу денної і заочної форм навчання спец. 7.090605 / Г. О. Петченко, О. М. Ляшенко ; Харків. нац. акад. міськ. госп-ва. – Харків : ХНАМГ, 2009. – 157 с.

13. Balandayeva L. G. Effective method for calculating the shape of specular reflector of the luminaire with the required luminous intensity distribution curve / L. G. Balandayeva, G. A. Petchenko, A. I. Tokman // Municipal services of cities. – Kharkiv : Technica, 2003. – № 53. – P. 207–210.

14. Литвиненко А. С. Автономна система освітлення гібридного типу / А. С. Литвиненко, О. М. Діденко, Ю. О. Васильєва та ін. // Світлотехніка та електроенергетика / Харків. нац. ун-т. міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2016. – № 1 (45). – С. 12–18.

15. Забезпечення дозиметричного контролю лазерного випромінювання / А. С. Литвиненко, О. М. Ляшенко, В. М. Балабан, Є. П. Тимофеев // Український Метрологічний журнал – ННЦ «Інститут метрології». – Харків : ННЦ «Інститут метрології», 2017. – № 2 (45). – С. 27–32.

16. Литвиненко А. С. Обзор детекторов оптического излучения со 100 % квантовой эффективностью / А. С. Литвиненко, Д. Н. Татьяна, Е. П. Тимофеев // Актуальні проблеми світлотехніки : матеріали VI міжнарод. наук.-техн. конф. (Харків, 4–6 жовтня 2017 р.) / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017 – С. 27–28.

17. Литвиненко А. С. Світильники комбінованого освітлення / А. С. Литвиненко // Актуальні проблеми світлотехніки : матеріали VI міжнарод. наук.-техн. конф. (Харків, 4–6 жовтня 2017 р.) / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017. – С. 81.

18. Литвиненко А. С. Альтернативные конструкции светодиодов / А. С. Литвиненко // Актуальні проблеми світлотехніки : матеріали VI міжнар. наук.-техн. конф. / Харків. нац. ун-т. міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова, Харків, жовтень 2017 р. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017. – С. 82–83.

19. Забезпечення дозиметричного контролю лазерного випромінювання / В. М. Балабан, Є. П. Тимофеев, А. С. Литвиненко, О. М. Ляшенко // Метрологія та вимірювальна техніка : матеріали X міжнар. наук.-техн. конф. , Харків, 5 – 7 жовтня 2016 р. / ННЦ «Інститут метрології» – Харків : ННЦ «Інститут метрології», 2016. – С. 122.

20. Світлотехнічні розрахунки: навч. посібник / Л. А. Назаренко, Т. В. Можаровська, В. С. Чернець; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017. – 142 с.
21. Назаренко Л. А. Штучне зовнішнє освітлення : навч. посібник / Л. А. Назаренко, К. І. Іоффе ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017. – 88 с.
22. Petchenko G. A. Phonon damping of dislocations in potassium bromide crystals at different dislocation density values / G. A. Petchenko // *Functional Materials*. – 2000. – V. 7–№ 4(2). – P. 785–789.
23. Petchenko G. A. Study of ultrasound absorption by dislocations in KBr single crystals under low static stresses / G. A. Petchenko // *Functional Materials*. – 2001.–V. 8 – P. 483–487.
24. Petchenko A. M. Dynamic damping of dislocations with phonons in KBr single crystals / A. M. Petchenko, G. A. Petchenko // *Functional Materials*. – 2006. – V. 13 – № 3. – P. 403–405.
25. Petchenko A. M. Features of resonance absorption of longitudinal ultrasound in strained crystals KBr at temperature variations / A. M. Petchenko, G. A. Petchenko // *Functional Materials*. – 2007. – V. 14–№ 4. – P. 475–479.
26. Petchenko A. M. Effect of crystal pre-straining on phonon damping of dislocations / A. M. Petchenko, G. A. Petchenko // *Functional Materials*. – 2008. – V. 15–№ 4. – P. 481–486.
27. Petchenko G. A. The dislocation resonance absorption of ultrasound in KBr crystals at low temperatures / G. A. Petchenko, A. M. Petchenko // *Functional Materials*. – 2009.–V. 16 – № 3. – P. 253–257.
28. Петченко А. М. Особенности поглощения ультразвука в кристаллах LiF при варьировании плотности дислокаций / А. М. Петченко, Г. А. Петченко // *Вісник ХНУ ім. В.Н. Каразіна*. – 2009. – Вип. 12–№ 865. С. 39–44. Серія «Фізика».
29. Petchenko O. M. Phonon drag of dislocation in KCl crystals with various dislocation structure states / O. M. Petchenko, G. O. Petchenko // *Ukrainian journal of physics*. – 2010. – V. 55–№ 6. – P. 716–721.
30. Petchenko G. A. The study of the dislocation resonance in LiF crystals under the influence of the low-dose X-irradiation / G. A. Petchenko, A. M. Petchenko // *Functional Materials*. – 2010. –V. 17, № 4. – P. 421–424.
31. Petchenko G. O. Acoustic studies of the effect of X-ray irradiation on the dynamic drag of dislocations in LiF crystals / G. O. Petchenko // *Ukrainian journal of physics*. – 2011. – V. 56–№ 4. – P. 339–343.



32. Петченко Г. А. Исследование дислокационных потерь ультразвука в облученных монокристаллах LiF в интервале доз облучения 0...400 Р / Г. А. Петченко // Вопросы атомной науки и техники. – 2012. – № 2(78). – С. 36–39.

33. Методичні рекомендації до виконання лабораторних та контрольних робіт, самостійного вивчення курсу з навчальної дисципліни «Системи керування світлотехнічними пристроями» (для магістрів денної і заочної форм навчання спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка освітньо-професійної програми «Світлотехніка і джерела світла») / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова; уклад. : К. І. Суворова, А. І. Колесник. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. – 27 с.

34. Petchenko G. A. Dynamic damping of dislocations in the irradiated LiF crystals / G. A. Petchenko // Functional Materials. – 2012. – V. 19, № 4. – P. 473–477.

35. Petchenko G. A. Research of the preliminary deformation and irradiation effect on the viscous damping of dislocation in LiF crystals / G. A. Petchenko // Functional Materials. – 2013. – V. 20 – № 3. – P. 315–320.

36. Petchenko G. O. Research of the elastic wave velocity dispersion in X-ray-irradiated LiF crystals / G. O. Petchenko, O. M. Petchenko // Ukrainian journal of physics. – 2013. – V. 58–№ 10. – P. 974–979.

37. Петченко Г. А. Изучение природы радиационных дефектов в облученных кристаллах LiF / Г. А. Петченко // Вісник ХНУ ім. В.Н. Каразіна.– 2013. – Вип. 18, № 1075. – С. 50–54. Серія «Фізика».

38. Petchenko G. A. The effect of preliminary deformation and irradiation on the optical absorption in LiF crystals / G. A. Petchenko, S. S. Ovchinnikov // Problems of atomic science and technology. – 2014. – № 2(90). – P. 29–33.

39. Petchenko G. A. Dependence of electronic color center concentration on the state of irradiated LiF crystal dislocation structure / G. A. Petchenko, A. M. Petchenko // Problems of atomic science and technology. – 2015. – № 2(96).– P. 25–28.

40. Petchenko G. A. Influence of elastic stresses and temperature on the dislocation unpinning from the stoppers in KCl crystals / G. A. Petchenko, A. M. Petchenko // Functional Materials. – 2015. – № 3. – P. 293–298.

41. Petchenko G. A. Thermal activation analysis of the dislocation unpinning from stoppers in KCl crystals / G. A. Petchenko, A. M. Petchenko // Вісник ХНУ ім. В. Н. Каразіна. – 2015. – Вип. 23. – С. 28–31. Серія «Фізика».

42. Petchenko G. Color center concentration in irradiated and deformed functional materials / G. Petchenko. // Актуальні проблеми світлотехніки : матеріали VI міжнарод. наук.-техн. конф. (Харків, 4–6 жовтня 2017 р.) / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017 – С. 30–31.

43. Petchenko G. The optical absorption in functional materials / G. Petchenko, S. Ovchinnikov // Актуальні проблеми світлотехніки : матеріали VI міжнарод. наук.-техн. конф. (Харків, 4–6 жовтня 2017 р.) / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017. – С. 32–33.

44. Петченко Г. О. Вплив механічної обробки на оптичні характеристики функціональних матеріалів / Г. О. Петченко, О. М. Петченко // Фізичні явища в твердих тілах : матеріали 13-ї міжнар. конф. – Харків : ХНУ ім. В. Н. Каразіна , 2017. – С. 162.

45. Petchenko G. O. Nonmonotonical deformation dependence of color center concentration in functional materials / G. O. Petchenko, O. M. Petchenko, M. Ya. Rokhmanov // Світлотехніка та електроенергетика / Харків. нац. ун-т. міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017. – № 2 (49). – С. 22–24.

46. The optical absorption in irradiated by X-ray and deformed functional materials / G. O. Petchenko, O. M. Petchenko, S. S. Ovchinnikov, M. Ya. Rokhmanov // Світлотехніка та електроенергетика. / Харків. нац. ун-т. міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова . – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017. – № 2 (49). – С. 30–33.

47. Петченко Г. О. Вплив дислокаційної структури кристалів LiF на їх світлотехнічні і колориметричні характеристики / Г. О. Петченко, О. М. Петченко // Світлотехніка та електроенергетика. / Харків. нац. ун-т. міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова . – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017. – № 2 (49). – № 3 (50). – С. 25–30.

48. Колесник А. І. Методики та результати експериментальних досліджень відводу тепла від світлодіодного приладу / А. І. Колесник, Д. О. Усиченко, Л. А. Назаренко // Світлотехніка та електроенергетика. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017. – № 2 (49). – С. 25–29.

49. Kolesnyk A. I. Investigation of thermal characteristics of light-emitting diodes / A. I. Kolesnyk, L. A Nazarenko // Lighting engineering and power engineering. – Kharkiv. – 2016. – No. 46 (2). – P. 27–30.

50. Колесник А. І. Теплове дослідження профілю світлодіодного світильника в програмному середовищі Solidworks Simulation / А. І. Колесник,

Д. О. Усіченко, Л. А. Назаренко // Актуальні проблеми світлотехніки : матеріали VI міжнарод. наук.-техн. конф. (Харків 4–6 жовтня 2017 р.) / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017. – С. 51–53.

51. Колесник А. І. Методики та результати експериментальних досліджень відводу тепла від світлодіодного приладу / А. І. Колесник, Л. А. Назаренко // Актуальні проблеми світлотехніки : матеріали VI міжнарод. наук.-техн. конф. , Харків, 4–6 жовтня 2017 р. / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2017. – С. 71– 72.

52. Колесник А. І. Особливості розрахунку тепловідводу для світлодіодних вуличних світильників / А. І. Колесник, Л. А. Назаренко // Метрологія та виміррювальна техніка : матеріали X міжнарод. наук.-техн. конф. Харків 5 – 7 жовтня 2016 р. / ННЦ «Інститут метрології». – Харків : ННЦ «Інститут метрології», 2016. – С. 116.

53. Колесник А. І. Результати дослідження розподілу температурних полів світильника / А. І. Колесник, Д. О. Усіченко // Світлотехніка й електроенергетика : історія, проблеми, перспективи: матеріали VI міжнарод. наук.-техн. конф. м. Тернопіль, м. Яремче. – 30 січня – 2 лютого 2018 р. / м. Тернопіль, м. Яремче. – Тернопіль : ФОП Паляниця В. А., 2018. – С. 38.

54. Актуальні проблеми світлотехніки : матеріали VI Міжнарод. наук.-техн. конф. в рамках форуму «LIGHT FORUM 2017» , Харків, 4–6 жовтня 2017 р.) / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017. – 180 с.

55. Пат. № 121594 Україна, U 201705779. Світлодіодний світильник / Литвиненко А.С. (Україна) ; заявл. 02.05.17; опубл. 01.07.17 , Бюл. № 22. – 4. с.

56. Пат. № 121541 Україна, U 201705827. Фотометр двоканальний мезопічний / Литвиненко А. С. (Україна) ; заява. 02.05.17 ; опубл. 02.07.17, Бюл. № 22. – 4.с.

57. Пат. № 109986 Україна. Світлодіодний світильник / А. С. Литвиненко (Україна) ; заявл. 02.09.15; опубл. 26.10.2015 , Бюл. № 20. – 4. с.

*Навчальне видання*

**ПЕТЧЕНКО** Гліб Олександрович,  
**ЛИТВИНЕНКО** Анатолій Савелійович,  
**ЛЯШЕНКО** Олена Миколаївна,  
**ДІДЕНКО** Олена Михайлівна

**ТЕХНОЛОГІЯ  
СВІЛОТЕХНІЧНОГО ВИРОБНИЦТВА**

**НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК**

Відповідальний за випуск *Ю. О. Васильєва*

Редактор *В. І. Шалда*

Комп'ютерний набір *Г. О. Петченко*

Комп'ютерне верстання *О. М. Діденко*

Дизайн обкладинки *Т. А. Лазуренко*

Підп. до друку 10.05.2019. Формат 60×84/16.

Друк на ризографі. Ум. друк. арк. 6,7.

Тираж 60 пр. Зам. №

Видавець і виготовлювач:

Харківський національний університет  
міського господарства імені О. М. Бекетова,  
вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61002.

Електронна адреса: [rectorat@kname.edu.ua](mailto:rectorat@kname.edu.ua)

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:

ДК № 5328 від 11.04.2017.