

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О.М. БЕКЕТОВА**

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ТА ЗАВДАННЯ
для виконання контрольної роботи і самостійної роботи
з навчальної дисципліни

«ТЕХНОЛОГІЯ СВІЛОТЕХНІЧНОГО ВИРОБНИЦТВА»

*(для студентів денної і заочної форм навчання першого (бакалаврського) рівня
вищої освіти за спеціальністю*

141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка)

**Харків
ХНУМГ ім. О. М. Бекетова
2021**

Методичні рекомендації та завдання для виконання контрольної роботи і самостійної роботи з навчальної дисципліни «Технологія світлотехнічного виробництва» для студентів денної і заочної форм навчання першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 141 – електроенергетика, електротехніка та електромеханіка) / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова ; уклад. : Г. О. Петченко, О. М. Ляшенко. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2021. – 44 с.

Укладачі: д-р фіз.-мат. наук, проф. Г. О. Петченко,
канд. техн. наук, ст. викл. О. М. Ляшенко

Рецензент:

А. С. Литвиненко, кандидат технічних наук, доцент Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова

*Рекомендовано кафедрою світлотехніки і джерел світла,
протокол № 4 від 27.12.2019.*

ЗМІСТ

Вступ.....	4
1 Теоретичний матеріал для самостійного вивчення.....	5
1.1 Загальні поняття про організацію світлотехнічного підприємства.....	5
1.2 Холодна штамповка.....	6
1.3 Металургійне виробництво.....	12
1.4 Виробництво деталей світлових приладів з полімерних матеріалів.....	16
1.5 Виготовлення скляних елементів світлових приладів.....	21
1.6 Світлотехнічні й захисні покриття.....	27
1.7 Дзеркалізація відбивачів світлових приладів.....	32
1.8 Складання світлових приладів.....	38
2 Завдання для виконання контрольних робіт студентів денної та заочної форм навчання.....	41
3 Завдання для самостійних занять.....	43

ВСТУП

Вказівки розраховані на самостійне вивчення студентами курсу «Технологія світлотехнічного виробництва». Весь курс розбито на вісім головних тем. У них по кожній темі стисло висвітлюється її сутність, формулюються контрольні запитання і рекомендується відповідна література.

Цей курс розглядає напрямки розробки і конструювання світлових приладів, висвітлює сутність виробничих методик виготовлення конструктивних елементів світлових приладів, розповсюджених на світлотехнічних підприємствах.

Вказівки містять необхідну інформацію, якою має оволодіти студент для складання заліку, і визначає завдання для самостійної роботи, має завдання для контрольних робіт і є основою для підготовки до дипломного проектування за даним напрямком.

1 ТЕОРЕТИЧНИЙ МАТЕРІАЛ ДЛЯ САМОСТІЙНОГО ВИВЧЕННЯ

1.1 Загальні поняття про організацію світлотехнічного підприємства

Виробничі процеси на будь-якому підприємстві розділяють на поточні й непоточні. Для поточного виробництва, на відміну від непоточного, характерний незмінний такт випуску (інтервал часу, за який виробляються деталі певної номенклатури). Особливістю складовою виробничого процесу є технологічний процес. Технологічний процес містить у собі прямі (виготовлення деталей і вузлів) 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, штамповка, лиття тощо), тобто за ознакою застосованого методу виготовлення виробу. Технологічний процес виконують на робочому місці (ділянці виробничої площі), де розміщені 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, які залучаються до роботи, найменування і кількість обладнання та необхідність у виробничому просторі. Технологічний процес має головну характеристику – трудомісткість. Зниження її за умов збереження якості й собівартості продукції є важливим напрямком енергозбереження у світлотехнічному виробництві. Таке зменшення трудомісткості можливе в першу чергу внаслідок упровадження у виробництво передових технологій і сучасних матеріалів.

Світлотехнічне виробництво, як і будь-яке інше, розділяють 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.

Контрольні питання

1. Види технологічного процесу.
2. Типи світлотехнічного виробництва.
3. Технологічна операція.

Рекомендована література

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

2. Козлов В. Н. Технология производства световых приборов / В. Н. Козлов. – М. : Энергоатомиздат, 1991. – 271 с.

1.2 Холодна штамповка

Холодною штамповкою називають технологічний процес одержання деталей чи готових виробів з листового матеріалу шляхом їх вирубки або пробиття з вихідної заготовки, а також подальшої зміни їх форми внаслідок витяжки чи згинання.

Розрізняють такі види холодної штамповки:

1. Вирубка (із заготовки деталі вирізають виріб заданої форми).
2. Пробивка (у заготовці здійснюють вирубку отвору необхідної форми).
3. Згинання (зміна форми деталі чи заготовки в одній чи кількох площинах).
4. Витяжка (виготовлення порожнистої деталі з листової заготовки).
5. Чеканення (нанесення на поверхню деталі рельєфного рисунка).

б. Формовка (спосіб надання конструкції додаткової жорсткості).

Вирубка і пробивка

Вирубкою називається вирізка матеріалу за замкнутим контуром на пресах із застосуванням штампів при одержанні зовнішнього контуру деталі, а пробивка – при одержанні внутрішнього контура деталі. Преси, які застосовують при вказаних операціях, за способом дії розділяються на механічні, електромагнітні, пневматичні й гідравлічні, а за режимом роботи – звичайної, подвійної і потрійної дії. Преси звичайної дії призначені для вирубки, пробивки, згинання та неглибокої витяжки. Преси подвійної і потрійної дії оснащені відповідно двома й трьома повзунами замість одного і використовуються при глибоких витяжних і давильних роботах.

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

За конструктивною ознакою штампи бувають відкритого або закритого типу. Відкриті штампи використовують тільки в дослідному виробництві. Вони найпростіші за конструкцією, але це їх єдина перевага в порівнянні з іншими. Хід пуансона в таких штампах ніщо не спрямовує, а отже точність вирубки деталей у них мізерна, крім того робочі елементи швидко псується. До того ж ці штампи небезпечні для робочого персоналу. Закриті штампи тому й називаються закритими, що рухома плита не має зайвих ступенів свободи. Тут спостерігаються висока точність роботи і знижене спрацювання обладнання. Ці штампи поділяють на блочні (рух пуансона обмежується спрямовуючими колонками) й 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 штамів найбільшого розповсюдження набули штампи з валковим поданням матеріалу (який згорнутий у рулон). При робочому ході пуансона (вниз) валки (дві пари зверху листа заготовки і дві пари знизу) не обертаються і працюють на фіксацію заготовки. При зворотньому ході спрацьовує система передач і валки починають обертатися. Їх рух просуває рулонний матеріал на певну (відрегульовану) відстань. Ця схема набула особливого застосування при штампуванні деталей з металічної стрічки. Валкова штамповка також зручна у плані нанесення мастила на робочі елементи преса (що зменшує їх спрацьовування). Для цього достатньо пропускати стрічку через посудину з мастилом (нижні валки мають бути занурені в мастило, а верхні – ні). При перемотці рулона мастило постійно наноситься на матрицю з пуансоном.

Згинання і витяжка

Ці операції є найбільш розповсюдженими серед формозмінних операцій, що засновані на пластичному деформуванні матеріалу.

Під згинанням розуміють процес повороту частини заготовки відносно лінії згину в одній чи кількох площинах. Згинанням виготовляють такі елементи СП як різноманітні кронштейни, затвори, корпуси СП з ЛЛ тощо. У виробничому масштабі згинання автоматизоване і виконується на прес-автоматах.

Витяжкою з плоскої заготовки виготовляють порожнисті деталі замкнутого контура. Для витяжних робіт для збільшення часу експлуатації витяжного обладнання використовують мастила – графіт, тальк чи крейду.

В одиничному й серійному світлотехнічному виробництві часто виникає потреба у виготовленні деталей осесиметричної форми (наприклад, відбивачі СП промислового освітлення, прожектори). Крім витяжного обладнання, для такої роботи використовують давильні стани.

Механічна обробка

Механічна обробка є процесом руйнування матеріалу заготовки, результатом якого є готова деталь.

Розповсюдженими механічними операціями в світлотехнічному виробництві є токарні, фрезерні й сверлильні. Токарні застосовують для обробки деталей з формою тіла обертання (вали, втулки, диски). Сверлильні операції використовують для обробки корпусних деталей СП і забезпечують 6 клас шорсткості ($R_a = 2,5$) поверхні й точність обробки за діаметром 0,05–0,08 мм. Різновидами сверлильних операцій є розсвердлювання, розгортання, зенкерування і цекування. Фрезерні операції застосовують для проточки деталей СП. На світлотехнічних підприємствах широко використовуються високопродуктивні фрезерні верстати з ЧПК (числовим програмним керуванням). У таких верстатів вся інформація, необхідна для виконання обробки деталі, задається у числовому вигляді і вводиться у керуючий орган.

Розглядаючи грубі методи механічної обробки, звернемо увагу на електрофізичний спосіб різання. Цей метод часто використовується у допоміжному світлотехнічному виробництві – при виготовленні штампів і ливарних форм. Сутність цього методу полягає в наступному. При підведенні напруги до електродів, одним з яких є інструмент (форма), а другим – власне деталь, у міжелектродному проміжку середньою шириною d виникає електричне поле. Це поле є неоднорідним, воно збільшується на ділянках з меншою міжелектродною відстанню (тобто там, де є виступи на деталі чи формі). При певному значенні напруження і 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, 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 мікроступів заготовки досягає величезних значень ($5 \cdot 10^3 \text{ }^\circ\text{C}$ – $4 \cdot 10^4 \text{ }^\circ\text{C}$) і перебільшує температуру плавлення будь-якого металу чи сплаву. Розряд триває, поки є причини, що його підтримують (потужне електричне поле поблизу мікроступів). Після виплавлення «зайвого» матеріалу заготовки в даній області розряд «перекидається» на інші «зайві» ділянки. Тобто електрод-форма фактично здійснює самоконтроль процесів розрядної обробки матеріала.

Шліфування і полірування поверхонь

Ці операції є операціями тонкої високопрецизійної обробки деталей. Необхідність в них виникає у зв'язку з потребою в точних розмірах, плоскопаралельності й відповідному зовнішньому вигляді деталей. Шліфування забезпечує 9–11 класи точності ($R_a = 0,2\text{--}0,05$), а полірування 11–13 класи точності ($R_a = 0,01\text{--}0,08$). Ці операції пов'язані з впливом на оброблювальний матеріал абразивного інструменту, в основу якого покладено використання в абразивних пастах (для полірування) і 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 єдине ціле і поверхня набуває гладкості. З часом зерна стираються, але на їх місце виходять нові з глибини круга. Круги маркуються за ознаками, що стосуються абразиву (матеріал, величина і кількість зерен, їх геометрія і міцність), і власне круга (рекомендована кутова швидкість його обертання).

Абразивні матеріали розділяють на природні (алмаз, корунд, оксид хрому) й 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

використовують для більш тонких робіт, вони мають загальну назву пасти ДОІ (ГОИ) (рос. – «Государственный оптический институт»). Абразивний порошок у пасті замішаний на кислоті (звичайно, 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. У результаті обробки абразивною пастою поверхня стає «дзеркальною». Таку обробку використовують у цехах, відповідальних за виготовлення відбивачів СП. Коефіцієнт відбиття поверхні після такої обробки є високим, і складає 0,54–0,95. Щоправда, така поверхня швидко окислюється і тьм'яніє. Для запобігання цим ефектам її захищають лаковим чи плівочним додатковим покриттям. Шліфування і полірування невеликих деталей СП здійснюють в обертальних барабанах, в які деталі завантажують разом з абразивним матеріалом – дробленими кружками, сталевими кульками та обрізками шкіри. Для прискорення перебігу процесів механічної обробки в барабани заливають гас чи бензин.

Контрольні питання

1. Види холодної штамповки.
2. Різні типи штампів.
3. Сутність згинання і витяжки.
4. Механічна обробка.
5. Електрофізична обробка.
6. Сутність шліфування і полірування.

Рекомендована література

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

2. Козлов В. Н. Технология производства световых приборов / В. Н. Козлов. – М. : Энергоатомиздат, 1991. – 271 с.

3. Малов А. Н. Технология холодной штамповки / А. Н. Малов. – М. : Машиностроение, 1969. – 568 с.

4. Суворов С. Г. Машиностроительное черчение в вопросах и ответах. Справочник. / С. Г. Суворов, Н. С. Суворова. – М. : Машиностроение, 1985. – 352 с.

1.3 Металургійне виробництво

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 є не придатними чи недоцільними.

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

Технологічний процес лиття починається з приготування сплаву. Сукупність всіх 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 і через це з нього менше випаровуються легколеткі компоненти. Взагалі 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 % Na+55 % KCl. Вона, по-перше, відокремлює (фізично) розплав від повітря, і, по-друге, вилучає з розплаву існуючі окисли (хімічно). На відміну від

сплавів АЛ-8 і АЛ-2, існують інші АЛ-4В і АЛ-9В тощо. Вони відрізняються тим, що виготовлені з відходів виробництва (відходи ливарних, механічних і штампувальних цехів). При вживанні таких матеріалів звертають увагу на їх чистоту. Великі фрагменти вторинних матеріалів практично не відчищають від бруду, менші – переплавляють, висушують і брикетують перед використанням. Крім алюмінієвих сплавів у світлотехнічному виробництві є розповсюдженими і сплави на основі міді. Їх використовують для виробництва арматури декоративних світильників (люстр) та елементів морських СП (які виготовляють з матеріалів, що мають суттєвий супротив корозійному впливу агресивного середовища – морського повітря).

У ливарному виробництві розповсюджені разові й сталі форми. Необхідність у тій чи іншій формі виникає при вирішенні конкретного промислового завдання. Так, при експериментальному виробництві зручніші разові, при поточному – сталі.

Лиття в разові й сталі форми

Разові форми розділяють на земляні й оболонкові. Заготовки, одержані литтям у земляні форми, найзручніше очищувати піскоструминною обробкою. При цьому висвітлюються поверхневі дефекти литва. Контроль деталей, одержаних ливарним способом, здійснюється візуально або, при необхідності, за допомогою методів рентгенівської і ультразвукової дефектоскопії.

На відміну від земляної форми, яку зручно використовувати для одержання суцільних деталей, оболонкові форми призначені для одержання деталей складнішої форми – з порожнинами. Оболонкові форми виготовляють з суміші дрібнозернистого піску і синтетичної термореактивної смоли. Сполучення цих компонент здійснюється гарячим або холодним способом. У першому випадку нагрівають пісок ($T \sim 100^\circ\text{C}$) і насипають на нього порошкоподібну смолу. Нагріваючись, смола склеює пісок. У другому випадку нагрівають смолу ($T \sim 100^\circ\text{C}$) і, розчиняючи її спиртом чи ацетоном, змішують з піском. Формовочну суміш наносять на модель (форма, яка копіюється)

пульверизатором. Затверділа і відпалена оболонкова форма є зовнішньою границею деталі. Внутрішньою границею часто є циліндричний стрижень, виготовлений з того ж матеріалу, що і форма. Розплав заливають у простір між стрижнем і оболонкою. Охолодження розплаву здійснюється за рахунок відводу 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 і в поточному світлотехнічному виробництві практично не використовуються. Область 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. Форма кокіля визначає конфігурацію деталі.

Лиття під тиском у світлотехнічному виробництві розповсюджене досить широко. Можна відзначити такі недоліки і переваги методів лиття під тиском.

Недоліки:

1. Висока вартість обладнання.
2. Обмеження розмірів і маси литва, зумовлене потужністю ливарної машини.
3. Проблематичність одержання деталей з 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 чистота поверхні литва.

2. Можливість одержання тонкостінного литва складної конфігурації.
3. Можливість автоматизації процесу.
4. Можливість використання сплавів із зниженою рідкоплинністю (для методів лиття під тиском).

Для певних модифікацій СП використовують специфічні процеси ливарного виробництва. По-перше, це штамповка рідкого металу. Даний процес поєднує в собі елементи лиття під тиском і об'ємної штамповки. За цим методом на залитий у бак розплав діє зусилля пуансона, що створює умови для об'ємно-стиснутого стану металу і його спрямованої кристалізації. Як пуансон використовують металічний стрижень з циліндричною порожниною, в якому розміщено суцільний коаксіальний циліндр меншого діаметра. Рідкий метал витісняється у простір між циліндрами, в результаті чого з'являється заготовка для деталі СП з покращеними експлуатаційними характеристиками. У такий спосіб виготовляють корпуси шахтних СП і світильників для підводних човнів (тобто в першу чергу там, де є необхідною міцність конструкції).

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

Контрольні питання

1. Приготування розплаву.
2. Лиття в земляні й оболонкові форми.
3. Лиття під тиском. Недоліки й переваги.
4. Специфічні процеси лиття.

Рекомендована література

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

2. Козлов В. Н. Технология производства световых приборов / В. Н. Козлов. – М. : Энергоатомиздат, 1991. – 271 с.

1.4 Виробництво деталей світлових приладів з полімерних матеріалів

У порівнянні з металічними матеріалами у пластмас є ряд суттєвих переваг:

1. Деталі з пластмас мають тверду й гладку поверхню, не потребують додаткової механічної обробки.

2. Пластмаси не потребують фарбування, оскільки їх колір одержують додаванням 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 при нагріванні пластмаси розділяють на два класи – реактопласти й термопласти. Реактопласти набувають пластичності при нагріванні, а після охолодження втрачають її назавжди, тобто їх подальша переробка неможлива. Термопласти при нагріванні завжди набувають пластичності. Відходи деталей з термопластів широко використовують як вторинні матеріали.

Формоутворення деталей з пластмас

1. Компресорне пресування. За цим методом нагрітий матеріал завантажують у відкриту прес-форму – матрицю. Під тиском пуансона матеріал пластифікується і заповнює робочий простір прес-форми. Продуктивність даного способу формоутворення низька і визначається часом пластифікації і

витримки матеріалу в прес-формі. Деталь, одержана в такий спосіб, потребує подальшої доробки – зняття задирок з поверхні. Для підвищення якості продукції матрицю періодично змащують рослинними мастилами і нагрівають в індукційній пічі.

2. Лиття виробів з пластмас під тиском. Цей метод набув поширення у світлотехнічному виробництві. Практично він реалізований у промисловому варіанті термопластавтомата. Вихідний гранульований чи порошкоподібний матеріал завантажують до воронки бункера, з якого після об'ємного дозування він надходить до робочого циліндра ливарної машини. Тут матеріал за допомогою серії нагрівальних елементів набуває пластичного стану. Робочий інтервал температур нагріву обмежується температурами розм'якшення і плинності. Для прискорення прогріву і якісного перемішування матеріалу в робочому циліндрі передбачено обтічники з черв'ячно-шнековим ходом.

Пластифікований матеріал під тиском поршня подається через мундштук до форми. Форма охолоджується водою.

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 суттєве значення має попередня підготовка матеріалу. Виділяють три етапи попередньої підготовки матеріалу: фарбування, сушіння і магнітна сепарація.

Фарбування здійснюють шляхом змішування фарбника (у вигляді дрібнодисперсного порошку) з основною сировиною і 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 при індукційному нагріві пластичної маси можуть намагнічуватися, що призведе до забруднення ливарного каналу. Слід окремо виділити загальновідомий процес безперервної переробки термопластів, що знаходяться у в'язкоплинному стані, – екструзію. Формоутворення пластмас при цьому здійснюють шляхом просування

нагрітого пресс-матеріалу через фільтри – деталі (звичайно, металічні) із внутрішньою порожниною, форма якої відповідає необхідній формі деталі.

Після виходу з фільтри профіль охолоджують і ріжуть на заготовки необхідної довжини.

Існує таке поняття, як продуктивність роботи екструдера. Вона виражається масою матеріалу, що пройшов через фільтру за годину.

Екструзійні методи набули широкого розповсюдження при виготовленні елементів СП з люмінесцентними лампами. Екструзія також зручна для виготовлення листів і трубок СП побутового призначення.

Формування листових матеріалів

У світлотехнічному виробництві листові й плівкові пластмаси перероблюють методами штампування, пневмоформування і вакуумформування, що дозволяє доповнити технологічні можливості лиття під тиском й 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 і під тиском 1 МН/м^2 формується за допомогою матриці й пуансона. Штампування пластмас якісно не відрізняється від штампування металів, з тією тільки відмінною, що нагрів заготовки є обов'язковим. Це легко зрозуміти, коли згадати, що тверде тіло (метал) є анізотропним, воно за своєю природою 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 $1\ 000 \text{ кПа}$).

Пневмоформування. Це один з найбільш розповсюджених методів формоутворення листових матеріалів, сутність якого полягає в тому, що матеріал заповнює порожнину форми під тиском стиснутого повітря. Пневмоформування буває двох типів – негативне, коли матеріал вдавлюється в

заглиблення форми, і позитивне, коли матеріал формується на опуклій поверхні.

Вакуумне формування. Тут функцію стиснутого повітря виконує зовнішнє середовище. Заготовку з листової пластмаси закріплюють на столі вакуумної машини. Спочатку включають нагрівач і заготовка набуває пластичності. Після цього відкачують камеру і завдяки різниці між атмосферним тиском і остаточним тиском у камері після відкачки відбувається формоутворення деталі.

З'єднання виробів із пластмас

Для з'єднання деталей з пластмас використовують різноманітні способи їх зварювання і склеювання. Ці способи найбільш придатні для плівкових матеріалів, що використовуються при виробництві абажурів СП побутового призначення. Зварювання – це спосіб з'єднання елементів, при якому межа розділу між поверхнями, що приводяться в контакт, зникає. Найбільш розповсюджені високочастотне зварювання (за рахунок джоулевого тепла) і зварювання контактним нагрівом. При зварюванні відповідні елементи притискають один до одного для щільнішого контакту. Склеювання вважають менш надійним способом з'єднання матеріалів, так 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 й не є стійким до температурного впливу. Склеювання використовують звичайно при експериментальному виробництві.

Декоративні пластмаси

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. Найбільш розповсюдженим випадком декорування пластмаси є металізація (гальванічна чи вакуумна). Перед нею на вироби наносять прошарок ґрунтового лаку. Якщо є необхідність у витравлюванні узорів, у ґрунті додають розчинники, що витравлюють

поверхню пластмаси в необхідних місцях. Іноді виготовляють декоративні пластмаси шляхом додавання до основної сировини таких компонентів, як карбонат свинцю або фосфат. У результаті виріб набуває перлинного відтінку. До сировини можна додати алюмінієву чи бронзову пудру, в результаті 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. Переваги пластмас.
2. Формування таблетованих пластмас.
3. Формування листових матеріалів.
4. Спільне і відмінне у вакуум-формуванні й пневмоформуванні.
5. Позитивне і негативне вакуум-формуванні й пневмоформуванні.
6. З'єднання і декорація пластмас.

Рекомендована література

1. Петченко Г. О. Технологія світлотехнічного виробництва : навч. посібник / Г. О. Петченко, А. С. Литвиненко, О. М. Ляшенко, О. М. Діденко; Харк. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. – 147 с.
2. Козлов В. Н. Технология производства световых приборов / В. Н. Козлов. – М. : Энергоатомиздат, 1991. – 271 с.
3. Яковлев А. Д. Технология изготовления изделий из пластмасс / А. Д. Яковлев. – Л. : Химия, 1977. – 356 с.

1.5 Виготовлення скляних елементів світлових приладів

З фізичного погляду скло являє собою переохолоджену рідину. Більшість промислового скла – це охолоджені склотвірні окисли. Якщо це окисли кремнію 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 відзначається високим коефіцієнтом пропускання у видимій області спектра і високим коефіцієнтом заломлення. Воно має щільно заповнювати форму, в якій відбувається пресування виробів, а також відзначається підвищеною чистотою і однорідністю складу. Для виготовлення люстр, призначених для освітлення театрів, концертних залів, станцій метро, використовують кришталеве скло (див. табл. 8), тобто скло, до хімічного складу якого введено домішки, що утворюють ефект «гри» світла.

Світлорозсіювальне скло використовують для зниження видимої яскравості джерел світла і обмеження засліплюючої дії світильників. Трьома типами світлорозсіювального скла є матове, молочне і опалове скло. Матове скло отримують при травленні його поверхні фтористими кислотами або піскоструминною обробкою. Опалове і молочне скло одержують при додаванні в скломасу глушника на основі фтористих сполучень чи інших окислів. Глушники не розчиняються у процесі варіння скломаси і перетворюються при її охолодженні в дрібні кристалики (розміром 0,2–20 мкм). Глушене скло відзначається спрямованим пропусканням світла, що відрізняє його від матового скла. Останнє скло використовують для виготовлення захисних ковпаків промислових світильників, а молочне й опалове скло – для виготовлення розсіювачів СП з лампами розжарювання, призначеними для освітлення адміністративних та виробничих приміщень, а також при виготовленні розсіювачів вуличних світильників. Скляні елементи СП виготовляють різними способами, з яких найбільш розповсюдженими є

молювання, пресування, видування і пресовидування. Незважаючи на деякі відмінності в цих методиках, технологічний процес однаковий і складається з таких операцій: підготовка сировини і приготування шихти (однорідної суміші необхідних матеріалів, взятих у певних пропорціях), варіння скла, формування виробів, відпал, кінцева обробка (механічна обробка, хімічне полірування, декорування).

Перед приготуванням шихти вихідні матеріали відчищають від бруду і домішок, сушать і перетворюють у порошок. До шихти додають до 30 % скляного бою. Розігрів і плавку скломаси в печах здійснюють за рахунок згоряння природного газу. Якщо є потреба у склі підвищеної чистоти, підігрів здійснюють електричним шляхом.

Розглянемо основні способи формоутворення виробів із скла.

Молювання. Це технологічний процес формоутворення скляних виробів з листових заготовок, при якому прогибання листової заготовки відбувається під дією власної ваги. Заготовку вирізають з листа алмазом і вміщують в піч, де її кладуть на чавунну чашку, внутрішня форма якої відповідає необхідній формі деталі. Після включення електронагрівача температура в печі досягає 550–600 °С і заготовка починає плавитися, приймаючи форму чашки. Внутрішню поверхню чашки слід намастити протипригарними мастилами (крейда, графіт, сажа). Це дозволяє 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.

Пресування. Цей спосіб широко використовують при виготовленні призматичних рефракторів СП зовнішнього освітлення, кришталевих розсіювачів і елементів люстр, скляних ковпаків вибухозахисних СП. Як правило, цим методом виготовляють товстостінні елементи. 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. Поверхню пуансона і матриці змащують протипригарними мастилами. Для високої якості виробів скломаса має відзначатися значною швидкістю охолодження, а різниця температур скла і прес-форми бути незначною.

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

Пресовидування. Це гібрид двох вказаних вище способів. Дозовану порцію скломаси вносять до чорнової форми, у верхній частині якої зімкнуті горлові щипці. Попереднє пресування здійснюється пуансоном, який далі відводять догори і переносять напівфабрикат щипцями до чистової видувної форми. Остаточне формування заготовки здійснюється стиснутим повітрям, яке подають через спеціальний канал.

Декорування скловиробів

Декорування виробів із скла є поширеним при виробництві СП для освітлення адміністративних приміщень і світильників побутового призначення. Існують два способи нанесення декоративного узору на світильник – з частковим руйнуванням поверхні його розсіювача (хімічна обробка, абразивне утворення матової поверхні, полірування та шліфування) і без руйнування (нанесення фарби). При хімічній обробці може бути утворена матова чи полірована поверхня внаслідок взаємодії травника (плавикової кислоти) з 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 і 10 %-му розчині плавикової кислоти. Якщо матовими мають бути і внутрішня, і зовнішня поверхні деталі СП, як травник беруть рідину, в яку занурюють деталь. Якщо ж протравити треба тільки одну з поверхонь, як травник беруть пасту, яку

наносять щіткою. Якщо на деталі має бути вибіркоче травлення, тобто витравлення окремих ділянок, користуються спеціальним лаком, який є стійким до даного травника і його потім можна змити розчинником. Іноді зручно використовувати віск. Спочатку воском покривають всю поверхню, а потім з тих ділянок, які мають бути протравлені, прошарок воску знімають. Після цього заготовку занурюють у травник. Таке травління називають світлим.

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

Для травлення використовують два баки різної ємкості. У першому баці меншої ємкості зроблено отвори. Сюди вміщують деталі, що підлягають поліруванню. У другому баці знаходиться 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. Оптимальний режим травлення підбирають після проведення пробного полірування на невеликих партіях розсіювачів. Як правило, процеси хімічного полірування добре автоматизовані і їх виконують на спеціальних лініях.

Якщо габарити елементів люстр, що підлягають поліруванню, значні, зручніше використовувати вогняне полірування. При нагріві скла до температури розм'якшення і повільному охолодженні поверхня скла набуває гладкості й блиску. З цією метою деталі зі скла нагрівають полум'ям газового пальника, або намащують сажею і нагрівають у печі (сажа вигорає і 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 з серією пальників. Механічне шліфування і полірування застосовують для одержання

рельєфних рисунків. Полум'я пальників і швидкість руху деталей контролюють.

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

Для одержання на виробах кольорових рисунків використовують муфельні фарби, що являють собою дрібнодисперсні легкотопки 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 звичайно є окисли металів (олово, титан, сурьма, церій). Їх відпалюють у вигляді порошку при температурі 800–1300 °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 притискують до деталі і зверху намащують прошарком фарби, яку витісняють через трафарет гумовим шпателем або валиком. Якщо треба зробити багатокольоровий рисунок, використовують кілька сіток-трафаретів.

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

Спосіб рухомих деколей полягає у наступному. 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'ягшення 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. Звичайно люстри наносять розпиленням, з подальшим відпалом для закріплення на деталі тонкого прошарку. При використанні люстр слід пом'ятати, що вони знижують коефіцієнт пропускання скла на 20–30 %. Тобто для світильників, які відіграють роль прикраси, люстри зручні, а для реальних освітлювальних приладів – ні.

Контрольні питання

1. Фізична сутність і різні типи скла.
2. Дефекти скла.
3. Формування скла з розплаву і листів.
4. Обробка скла.
5. Декорування скла

Рекомендована література

1. Петченко Г. О. Технологія світлотехнічного виробництва : конспект лекцій напряму підготовки 6.050701 – Електротехніка та електротехнології та спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. / Г. О. Петченко, А. С. Литвиненко, О. М. Ляшенко. – Харків : ХНАМГ, 2018. – 102 с.

2. Козлов В. Н. Технология производства световых приборов / В. Н. Козлов. – М. : Энергоатомиздат, 1991. – 271 с.

3. Ходкевич Л. П. Кварцевое стекло в производстве электровакуумных изделий / Л. П. Ходкевич, В. К. Леко. – М. : Энергоатомиздат, 1981. – 88 с.

4. Мельников Ю. Ф. Светотехнические материалы / Ю. Ф. Мельников. – М. : Высш. Шк., 1976. – 151 с.

1.6 Світлотехнічні й захисні покриття

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

Найбільш поширеними у світлотехнічному виробництві є лакофарбові покриття.

Перед нанесенням покриття треба підготувати поверхню. Існує декілька видів підготовки поверхні: механічна, термічна і хімічна (травлення, знежирення і фосфатування). Травленням знімають окалину й іржу. Знежирення вилучає з поверхні бруд. Для знежирення використовують уайт-спірит. Фосфатування є процесом нанесення на поверхню чорних металів плівок з фосфорно-кислих солей, які покращують адгезію покриття до робочої поверхні.

Методи і обладнання для нанесення лакофарбового покриття

Пневматичне розпилення. Це один з найбільш розповсюджених способів фарбування. Його сутність полягає у розпиленні фарби стиснутим повітрям. Він забезпечує високу рівномірність нанесення прошарку фарби і високу продуктивність роботи.

Метод пневматичного розпилення має недоліки. По-перше, це токсичність і пожежонебезпечність, по-друге, значні втрати фарби. Для

усунення цих недоліків призначені фарбувальні камери – тупикові чи прохідні (залежно від того, яким способом здійснюється подання деталей – відповідно вручну чи автоматично). Фарбувальна камера містить систему вентиляції, фільтри для очищення повітря, пристрої для відбору фарби і СП місцевого освітлення.

Фарбування в електростатичному полі. На рухомий заземлений конвеєр навішують деталі, що мають бути пофарбовані. Фарбу до розпилювачів подають з окремого баку. Розпилювачі виконано таким чином, що вони можуть обертатися навколо своєї осі, що збільшує ефективну площу фарбування. На трубку, через яку надходить фарба, подають напругу 80 кВ негативної полярності, так що частинки фарби набувають електричного заряду і прискорюються електричним полем, рухаючись до позитивно зарядженої поверхні деталі. Міжелектродна відстань складає 2–3 см. Рівномірний рух конвеєра забезпечує рівномірність покриття. За цим способом фарба може наноситись на деталі і в сухому вигляді (порошкове фарбування). Після обсіпання фарбовим порошком деталі на конвеєрі проходять через піч. Зберігання фарби тут значне.

Занурення деталей у фарбу. Це найбільш простий і вельми продуктивний з погляду техніки виконання спосіб. Він придатний для деталей обтічної форми (на яких не утримується фарба, що призводить до різнотовщинного фарбування). При фарбуванні цим способом необхідно контролювати в'язкість фарби, що впливає на товщину прошарку фарби і швидкість її стікання з вже пофарбованої поверхні. Слід зазначити, що спосіб занурення не підходить для одержання фарбованих поверхонь високої якості. При зануренні під прошарок фарби попадають повітряні бульбашки, часто трапляються напливи фарби.

Фарбування електроосадженням. Це гібрид способів занурення деталей у фарбу і фарбування в електростатичному полі. Оптимальний режим електроосадження такий: густина струму – 0,2–0,6 А/дм², температура фарби у баці 25 °С, час електроосадження – 1–3 хв. Після електроосадження деталі

промивають водою, витримують на повітрі близько півгодини і висушують при температурі 120–200 °С. Цей процес легко піддається автоматизації, витрати фарби незначні.

Струминний облив. Принципово фарбування обливом мало чим відрізняється від фарбування зануренням. Цей спосіб застосовують для фарбування деталей, до якості яких немає строгих вимог. Деталі на рухомому конвеєрі просуваються до фарбувальної камери, де їх обливають фарбою через форсунки. Зайва фарба стікає в бак, звідки може нагнітатися насосом знову до форсунок. Вхідний і вихідний тамбури (для подання заготовок і виведення виробів) оснащені повітряними завісами, які не пропускають токсичні випаровування до приміщення цеху. Тривалість обливу складає 1–2 хв.

Гальванічне покриття

Як відомо, під дією електричного струму молекули електроліту (розчин солі металу) розпадаються на складові – позитивні й негативні іони. Це явище називається електролізом, воно знайшло застосування в 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 треба покрити предмет. Перед гальванообробкою поверхні необхідна її попередня підготовка (механічна, хімічна, електролітична). До механічної обробки відносять шліфування, полірування, піскоструминну обробку й крацевання (обробка металічними щітками). Для хімічної обробки, тобто знежирення використовують уайт-спірит, бензин, скипидар і лужні розчини. Способи нанесення розчинника різні: занурення у ванну, обробка парами розчинника, розпилення розчинника на робочу поверхню. При знежиренні треба 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 результаті хімічних

реакції активно виділяється водень, який механічно знімає із забрудненої поверхні жирову плівку. Оптимальний режим електролітичного знежирення такий: густина струму 3–8 А/дм², температура електроліту 60–75 °С, тривалість процесу – 5–10 хв. Якщо перераховані способи не очищують 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 при травленні чорних металів, їдкий натр при травленні алюмінію тощо. Для активізації дії травника доцільно використовувати ультразвук (ультразвукове очищення).

Розглянемо основні гальванічні процеси в світлотехнічному виробництві:

Цинкування. Є основним способом захисту від корозії виробів з чорних металів. У процесі виготовлення СП цинкують всі 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 вона – 42 мкм. Для гальванічного цинкування використовують в основному сульфатні електроліти і в меншій мірі – ціаністі й цинкатні (через їх токсичність).

Кадмірування. Використовують при захисті 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 і пружин. Недоліком покриття цього типу є його висока собівартість.

Нікелювання. Ці покриття відзначаються рядом переваг – вони добре поліруються до дзеркального блиску, мають добру механічну й корозійну стійкість. Нікелювання знайшло широке застосування при виробництві СП

житлових і громадських приміщень як спосіб декоративного покриття окремих елементів світильників.

Хромування. Використовують 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/дм² і температурі електроліту до 70 °С. Залежно від співвідношення між температурою електроліту і густиною струму хромуванням можна одержувати різні поверхні: молочні (густина струму 50 А/дм², температура 70 °С), блискучі (густина струму 65 А/дм², температура 45–60 °С), матові (густина струму 80 А/дм², 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 підігріву ванн передбачено зміяки. На бортах ванн вмонтовано витяжки для захисту від токсичних випаровувань. Як джерела постійного струму використовують генератори постійного струму й випрямлячі. На світлотехнічних заводах гальванічні ванни вишикують у лінії, вздовж яких зроблено прохід для підйомно-транспортних засобів.

Контрольні питання

1. Пневматичне розпилення фарби. Недоліки й переваги. Фарбування в камері.
2. Недоліки фарбування зануренням. Коли воно припустиме?
3. Сутність методів нанесення фарби (рідкої і сухої) в електростатичному полі.
4. Струминний облив і електроосадження фарби.
5. Сушіння покриттів.
6. Гальванічні процеси у світлотехнічному виробництві.

Рекомендована література

1. Петченко Г. О. Технологія світлотехнічного виробництва. Конспект лекцій для студентів денної і заочної форм навчання для студентів денної і заочної форм навчання напряму підготовки 6.050701 Електротехніка та електротехнології та спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / Г. О. Петченко, А. С. Литвиненко, О. М. Ляшенко. – Харків : ХНАМГ, 2018. – 102 с.

2. Козлов В. Н. Технология производства световых приборов / В. Н. Козлов. – М. : Энергоатомиздат, 1991. – 271 с.

1.7 Дзеркалізація відбивачів світлових приладів

Дзеркальні відбивачі застосовують при виготовленні світильників і прожекторів, призначених для освітлення промислових підприємств і відкритого простору. Дзеркальні відбивачі потужних прожекторів з 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 в деяких випадках для освітлення промислових приміщень.

Спосіб електрохімічного полірування і подальшого напилення використовують для дзеркальних відбивачів з ЛВІ типу ДРІ і ДНаТ. Для виготовлення відбивачів придатні лише ті метали, що мають високий коефіцієнт відбиття, відзначаються значною механічною та корозійною стійкістю і недефіцитні. З усіх металів цими властивостями характеризується лише алюміній. Його коефіцієнт відбиття 0,94. Разом з цим алюміній має цінну властивість самопасавації, тобто здатність утворювати на своїй поверхні оксидні плівки Al_2O_3 , які прозорі й захищають більш глибокі прошарки алюмінію від корозійних процесів. Так, уже через 2–3 хв. на свіжополірованій поверхні алюмінію утворюється плівка Al_2O_3 затовшки 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 самопасавації активізують штучно, для чого до складу технологічних процесів виготовлення відбивачів додають додаткові операції. За кордоном штучне підсилення самопасавації називається альзак-процесом, у нас – електрохімічним поліруванням. Сутність цих процесів одна – полірування покриття і створення товстого прошарку плівки Al_2O_3 . Найбільш простим методом підсилення самопасавації в алюмінія є окисдування в лужно-кислому електроліті (3 % розчин лужної кислоти $HOOC-COOH$) при густині струму 2–4,5 А/дм² протягом 30–60 с. При цьому утворюється плівка Al_2O_3 товщиною 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 нагрів до +300 °С, але має недолік – знижує до 5 % коефіцієнт ρ , який після такої операції не перебільшує 0,93. Кварцування не зовсім зручне і для виробництва – необхідність створення високого вакууму і високої температури на випаровувачах (до 1 800 °С), а також строгий контроль за дозуванням пасти, що містить двоокис кремнію.

З урахуванням того, що алюміній є м'яким металом, для його обробки підбирають м'який абразивний інструмент (войлочні круги, змащені пастою ГОИ). Після механічного полірування виконують хімічну чи електрохімічну обробку поверхні.

Разом з гальванічною часто використовують вакуумну дзеркалізацію. При вакуумному напиленні слід враховувати наступне. По-перше, плівка металу точно копіює рельєф поверхні і якщо він недосконалий, неможливо одержати відбивачі з коефіцієнтом відбиття вище 0,4–0,45. По-друге, слід враховувати низьку адгезію алюмінію до сталі. Тому перед металізацію треба

спочатку згладити поверхню (нанести на метал відбивача емаль для грубого й лак для тонкого згладжування поверхні). Після цього можна нанести покриття методом катодного розпилення у вакуумі, яке вкрити лаком для зовнішнього захисту. Лакове покриття металічної плівки є перевіреним способом захисту від впливу експлуатаційних чинників. Найбільш розповсюдженими є лаки марок УВЛ-3, МЛ-255, МЧ-52, МЛ-133. Меламіноалкідний лак МЛ-133 найбільш часто застосовують у світлотехнічному виробництві і наносять на робочу поверхню за технологією занурення. Товщина лакової захисної плівки складає 14–18 мкм. Зниження коефіцієнта відбиття ρ на 4–6 % компенсується збільшенням терміну служби відбивачів до 8 років. Захистом алюмінієвого відбивача може бути і рідке скло. За цією технологією готові дзеркалізовані відбивачі занурюють у ванни з рідким склом. Час занурення не перебільшує 5 с, час сушіння складає 60–90 хв.

Як підкладка до виготовлення відбивачів з алюмінізованою поверхнею використовують тонколистову сталь товщиною 0,6–0,8 мм і листовий алюміній товщиною 1–2,5 мм.

Гаряче емалювання

Гаряче емалювання є окремим ефективним способом захисту металічної поверхні відбивача. В основному 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 при очищенні. Емаль за своїм складом мало відрізняється від скла (основні компоненти: кварцовий пісок, польовий шпат, сода). Для підвищення коефіцієнта відбиття (для емалей він у середньому складає 0,8) до основних компонентів додають такі: плавиковий шпат, кріоліт, кремнефтористий натрій, окисли олова, сурьми і цирконію. У результаті змішування цих компонентів шихта втрачає прозорість – набуває відтінку. Процес приготування шихти стандартний: ретельне очищення, сушіння і дозування складових. Зварювання складових шихти здійснюється при температурі $\sim 1\,400$ °С і триває кілька годин. Коли

розплав готовий, його виливають у бак з холодною водою. Скло швидко охолоджується і розтріскується на дрібні шматки – гранули. Емаль у стані гранул називають фриттою. Для того, щоб емаль можна було використовувати як покриття, її треба 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 воно вже перетворюється на емаль. Шлікер ніколи не використовують одразу після приготування, його фізичні властивості мають стабілізуватися, на що потрібен деякий час. Цей процес називають старінням шлікеру. При нанесенні шлікеру на метал його відпалюють, внаслідок чого поверхня металу суттєво нагрівається. Для того, щоб цей локальний нагрів не призвів до руйнації металу, останній має відзначатися високою теплопровідністю і пластичністю (тобто можливостями швидко «скинути» зайві напруження, викликані 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 високими технологічними чи експлуатаційними показниками, тому її треба 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. Сушку і відпал можна здійснювати у муфельній печі, вона зручна можливістю послідовного підтримування різних температурних режимів. На якість відпалу шлікера суттєво впливає якість його попереднього помелу. Якщо шлікер змолотий недбало, трапляються незмолоті крупні фракції, при нагріві шлікера до температури плавлення на поверхні металу утворюються краплі емалі. На

відміну від ґрунтового, покривний шлікер має інше призначення. Він має забезпечити максимальний коефіцієнт відбиття відбивача світлового приладу і 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 покрита зовнішня, опукла поверхня відбивача, має бути дещо іншого складу, ніж «внутрішня», бо її коефіцієнт лінійного розширення повинен бути вищий, ніж у емалей, розглянутих раніше. Після нанесення покривного шлікеру його знову сушать і відпалюють. Температурні режими для цих технологічних операцій приблизно такі, як і для ґрунтового шлікеру.

Відбивачі, виготовлені гарячим емалюванням, ретельно контролюють (геометричні розміри, товщина покриття, коефіцієнт відбиття, щільність покриття).

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

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

Слід зазначити, що за допомогою емалювання можна одержати поверхню і з спрямованим розсіюванням (глянцева поверхня емалі) і дифузним розсіюванням (шорстка поверхня). Рельєф поверхні залежить не тільки від складу шлікеру, але й від способу нанесення покриття. Таких способів при гарячому емалюванні застосовують чотири: занурення, облив, пневматичне розпилення і розпилення в електростатичному полі.

Контрольні питання

1. Переваги алюмінію як основи дзеркальної поверхні.
2. Шліфування і полірування алюмінієвих відбивачів ротаційним способом.
3. Алюмінізація катодним розпиленням у вакуумі.
4. Вимоги до вакуумної металізації.
5. Способи захисту дзеркальної поверхні.
6. Гаряче емалювання і його контроль.

Рекомендована література

1. Петченко Г. О. Технологія світлотехнічного виробництва : конспект лекцій напряму підготовки 6.050701 Електротехніка та електротехнології та спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / Г. О. Петченко, А. С. Литвиненко, О. М. Ляшенко. – Харків : ХНАМГ, 2018. – 102 с.
2. Козлов В. Н. Технология производства световых приборов / В. Н. Козлов. – М. : Энергоатомиздат, 1991. – 271 с.

1.8 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.

Типовий процес складання СП такий:

1. Комплектування і подання деталей на місце складання.
2. Заготовка проводів.
3. Складання патронів.
4. Складання СП.
5. Випробування СП.
6. Транспортування готових виробів.
7. Упаковка.

Складання є етапом виробництва, на якому елементи СП з'єднуються у готовий виріб. Контроль є комплексом заходів перевірки якості СП поелементно і в цілому, його експлуатаційних і технічних характеристик. Упаковка світильників є необхідною при їх зберіганні на складах і при транспортуванні.

Вироби розділяють на деталі, складальні одиниці, комплекси й комплекти. Деталь – це однорідний виріб, виготовлений без додаткових операцій складання. Складальна одиниця – це частина виробу, одержана складанням. Комплекс – це кілька виробів, не з'єднаних складанням, що призначені для виконання взаємозв'язаних експлуатаційних функцій. Комплект – це кілька виробів, не з'єднаних складанням, що мають спільні властивості допоміжного характеру.

При складанні використовують різні типи з'єднання. Вони бувають рухомі (одна деталь може обертатись навколо іншої) й нерухомі. Нерухомі розділяють на рознімні (гвинтове (різьба) й штифтове з'єднання, шліцові й шпоночні з'єднання, пружинні затискачі, защіпки тощо) й нерознімні (з'єднання заклепуванням, склеюванням, зваркою, пайкою, заливкою компаундами тощо).

Іноді здійснення нерознімних з'єднань називають чорновим складанням, а рознімних з'єднань і електромонтажних робіт – чистовим. Чорнове складання виконують до нанесення лакофарбових покриттів, звичайно у допоміжних цехах. Найбільш розповсюдженим з'єднанням при виробництві СП є рознімне гвинтове з'єднання, а також з'єднання пайкою і зварюванням. При виконанні цих робіт керуються робочою документацією. Такою є складальні й деталіровочні креслення, схеми технологічного процесу виготовлення і складання СП, технічне завдання на приймання і випробування виробів, виробнича програма складання; специфікація деталей і вузлів, що підлягають складанню. Креслення мають містити розміри елементів СП і допуски на їх виготовлення і обробку, чітку інформацію (проекції, розрізи) щодо взаємного розташування деталей, конструктивні зазори тощо. Технічні завдання на приймання і контроль виробів мають відповідати вимогам ЄСКД стосовно СП даного типу. Виробнича програма має висвітлювати інформацію стосовно типу і маси елементів СП та річного обсягу їх випуску. Специфікації на деталі і вузли показують, яка їх кількість необхідна для складання одного виробу і номер цеху, в якому вони були виготовлені. При розробці технологічного процесу враховують характер робіт, що підлягають виконанню, і способи цього виконання (методологія, інструмент, устаткування), час на виготовлення одного виробу, кількість і кваліфікація працівників. Залежно від типу виробництва використовують складання як на основі максимальної концентрації операцій (всі операції виконують при можливості найменшою кількістю працівників (часто одним або невеликою бригадою) і на мінімальній виробничій площі (іноді на одному робочому місці), так і на основі їх максимального розчленування (складні операції розділено на елементарні, кожна виконується одним чи більшою кількістю працівників). Перший тип доцільно використовувати при експериментальному виробництві, другий є зручним для поточного – масового чи серійного виробництва.

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

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

Упаковка СП

Упаковка СП здійснюється відповідно до технічних вимог і спрямована на вирішення низки виробничо-організаційних питань: зберігання готової продукції на складах (з урахуванням особливостей стану приміщень, відведених згідно з виробничим процесом для цього), транспортування (з урахуванням засобів транспортування до замовника) і реалізації (вибір упаковки має бути зроблений не тільки з урахуванням функціональних, але і естетичних вимог до продукції).

Контрольні питання

1. Процес складання. Операції, що до нього відносяться.
2. Конвеєрне складання. Типи конвеєрів.
3. Оптимізація конвеєрного складання.
4. Контроль якості відбивачів. Принцип дії абсорографа.
5. Контроль фотометричних характеристик СП.

Рекомендована література

1. Петченко Г. О. Технологія світлотехнічного виробництва: навч. посібник / Г. О. Петченко, А. С. Литвиненко, О. М. Ляшенко, О. М. Діденко; Харк. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. – 147 с.
2. Козлов В. Н. Технология производства световых приборов / В. Н. Козлов. – М. : Энергоатомиздат, 1991. – 271 с.

2 ЗАВДАННЯ ДЛЯ ВИКОНАННЯ КОНТРОЛЬНИХ РОБІТ СТУДЕНТАМИ ДЕННОЇ ТА ЗАОЧНОЇ ФОРМ НАВЧАННЯ

1. Вакуумні лампи розжарювання (ЛР). Конструктивні елементи, їх призначення. Недоліки ЛР. Основні шляхи підвищення терміну використання і підвищення світлотехнічних характеристик ЛР. Вдосконалені модифікації ЛР: галогенні ЛР (ГЛР) і газоповні ЛР. Умови спрацьовування іодно-вольфрамового циклу в МГЛ. Порівняння світлотехнічних характеристик і терміну експлуатації для різних модифікацій ЛР.

2. Газорозрядні лампи. Принцип їх роботи, область застосування. Переваги і недоліки. Люмінесцентні лампи (ЛЛ), їх конструкція і світлотехнічні характеристики. ЛВІ високого і надвисокого тиску. Металогалогенні лампи (МГЛ), цикл їх роботи.

3. Технологічні й паливні гази. Одержання водню і кисню з дистильованої води. Електролізери. Одержання кисню і азоту з повітря. Дроселювання і ректифікація. Одержання аргону і криптону. Одержання газів з твердого палива.

4. Технічні вимоги до електролампового скла. Складові шихти для приготування скла. Вимоги до шихти. Дефекти скла (камені – шихтові й шамотні, пухирці, свілі). Шляхи уникнення вказаних дефектів.

5. Виготовлення колб ламп. Нанесення покриттів на колби (нанесення SiO_2 , внутрішнє фарбування, внутрішня металізація). Виготовлення дротів. Витягування дротів з розплаву, калібрування дротів, перевірка дротів на дефекти виготовлення (конусність, овальність, кривина). Нарізка дротів, вимоги до нарізки. Виготовлення тарілок на автоматі карусельного типу. Види браку при виготовленні тарілок.

6. Обґрунтування вибору матеріалу для спіралей ДС. Виготовлення заготовок з вольфраму. Волочіння вольфрамового дроту. Цепні й блочні верстати. Режим волочіння. Призначення аквадагу. Використання і виготовлення волок. Перевірка й випробування вольфрамових дротів.

Спіралізаційний верстат. Режим навивки спіралей з тире і без них. Виготовлення біспіралей. Контроль навивки спіралей. Розглядання умов мінімізації браку при спіралізації. Обробка спіралей (знежирення, відпал, різання). Запобігання браку спіралей при травленні. Формування і контроль спіралей. Розрахунок спіралей.

7. Виготовлення електродів. Технічні вимоги до електродів. Електроди з трьох ланцюгів, технологія їх виготовлення. Плавкі запобіжники.

8. Виготовлення цокелей для ЛР, ДРІ, ДНаТ і ДРЛ. Нарізка різьби й заливка цокелей. Автомат заливки цокелей. Відпал цокелей після заливки. Типові види браку цокелей при заливці. Цоколі з ізоляцією з пластмаси й фарфора. Травління і цинкування цокелей. Брак при цинкуванні.

9. Два типи газопоглиначів. Технологія їх одержання і способи нанесення на елементи ламп. Фонтанний апарат нанесення суспензії. Метод занурення спіралей у суспензію. Недоліки і переваги методів. Вимоги до нанесення прошарку геттера на елементи ламп.

10. Емісійні вимоги до катодів і типи катодів до ЛВІ. Технологія виготовлення оксидних катодів (приготування оксидного покриття, нанесення на керн).

11. Вимоги до спаяної поверхні. Види браку, що виникають при спаяванні. Конструкція спаїв (неузгоджені рантові спаї, стиснуті спаї, дискові спаї. Технологія спаїв. Підготовка скла. Виготовлення ножек ламп. Конструкції ножек. Монтаж тримачів. Заварювання ламп.

12. Дія остаточних газів на елементи ламп. Операції відкачки, промивки і наповнення ламп. Вакуумні насоси. Принцип дії і особливості роботи пластинчасто-роторного насоса.

13. Цоколювання ламп, способи цоколювання. Припайка електродів. Фокусування тіла розжарювання. Відпал та абліц ЛР й процеси у лампах при цих операціях. Зовнішня обробка ламп. Технологія витримки і упаковки ламп. Перевірка світлових і електричних параметрів. Механічні випробування ламп.

Контроль конструкційних матеріалів. Організація лампового виробництва.
Заходи з безпеки.

3 Завдання для самостійних занять

Завдання № 1 Вирубні та пробивні штампи.

Завдання № 2 Верстати для згинання та витяжні штампи.

Завдання № 3 Ротаційний спосіб видавлювання.

Завдання № 4 Лиття в оболонкові та земляні форми.

Завдання № 5 Кокільне та напівкокільне лиття.

Завдання № 6 Ливарні машини різних модифікацій.

Завдання № 7 Пресування через фільтру.

Завдання № 8 Робота шнекових машин.

Завдання № 9 Система шнеків при виготовленні розсіювачів.

Завдання № 10 Схеми машин для формування пластмас.

Завдання № 11 Кришталеве, опалове та молочне скло, їх склад.

Завдання № 12 Порівняння технологій виготовлення виробів зі скла.

Завдання № 13 Муфельна піч у конвейері.

Завдання № 14 Хімічне полірування, його режими.

Завдання № 15 Декоративне оформлення розсіювачів.

Завдання № 16 Порівняльний аналіз типів світлотехнічних покриттів.

Завдання № 17 Складальні роботи. Поелементне розглядання прибору прожекторного класу, та його опис.

Виробничо-практичне видання

Методичні рекомендації та завдання
для виконання контрольної роботи і самостійної роботи
із навчальної дисципліни

«ТЕХНОЛОГІЯ СВІЛОТЕХНІЧНОГО ВИРОБНИЦТВА»

*(для студентів денної і заочної форм навчання першого (бакалаврського) рівня
вищої освіти за спеціальністю
141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка)*

Укладачі: **ПЕТЧЕНКО** Гліб Олександрович,
ЛЯШЕНКО Олена Миколаївна

Відповідальний за випуск *Ю. О. Васильєва*

Редактор *О. А. Норик*

Комп'ютерне верстання *О. Г. Ткаченко*

План 2016, поз. 508 М

Підп. до друку 25.05.2018. Формат 60 × 84/16.
Електронне видання. Ум. друк. арк. 2,6.

Видавець і виготовлювач:
Харківський національний університет
міського господарства імені О. М. Бекетова,
вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61002.
Електронна адреса: office@kname.edu.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:
ДК № 5328 від 11.04.2017.