

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ "ОДЕСЬКА ПОЛІТЕХНІКА"

КАФЕДРА «МАТЕРІАЛОЗНАВСТВА ТА ІНЖЕНЕРІЇ  
МАТЕРІАЛІВ»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ  
до лабораторних занять з дисципліни:  
«ТЕОРІЯ ТА ПРАКТИКА ОДЕРЖАННЯ ХУДОЖНІХ ТА  
ЮВЕЛІРНИХ ВИРОБІВ»  
для студентів спеціальності 136 - Металургія  
«Художнє та ювелірне литво»

Одеса 2023

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ "ОДЕСЬКА ПОЛІТЕХНІКА"

КАФЕДРА «МАТЕРІАЛОЗНАВСТВА ТА ІНЖЕНЕРІЇ  
МАТЕРІАЛІВ»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ  
до лабораторних занять з дисципліни:  
«ТЕОРІЯ ТА ПРАКТИКА ОДЕРЖАННЯ ХУДОЖНІХ ТА  
ЮВЕЛІРНИХ ВИРОБІВ»  
для студентів спеціальності 136 - Металургія  
«Художнє та ювелірне литво»

Затверджено  
на засідання кафедри МІМ  
Протокол №7 від 25.04.2023

Одеса 2023

Методичні вказівки по виконанню лабораторних робіт з дисципліни "Теорія та практика одержання художніх та ювелірних виробів" для студентів спеціальності 136 - Металургія «Художнє та ювелірне литво» / Укладач: М.П. Тур, Т.В. Лисенко, В.П. Доценко, В.В. Ясюков Одеса: Одеська політехніка, 2023.- 49 с.

Укладач: М.П. Тур, ст. викл.  
Т.В. Лисенко, д.т.н. професор  
В.П. Доценко, к.т.н. доцент  
В.В. Ясюков, к.т.н. доцент

Методичні вказівки містять завдання до проведення лабораторних робіт з дисципліни «Теорія та практика одержання художніх та ювелірних виробів» для студентів напряму підготовки 136 - Металургія «Художнє та ювелірне литво».

На другому етапі студенти освоюють технологію виготовлення ювелірних виробів, що дозволяє їм ознайомитись з навичками та технологічними особливостями одержання ювелірних виробів одержуваних за допомогою лиття в ливарні форми — моноліти.

Розроблені завдання служать для розвитку у студентів розуміння роботи в ювелірних майстернях, шукати шляхи більш раціонального усунення можливих труднощів при виготовленні прикрас.

Призначаються для студентів денної форми навчання.

## Зміст

ВСТУП .....	5
Лабораторна робота №1 <i>Виготовлення еластичних прес-форм</i> .....	6
Лабораторна робота №2 <i>Одержання виплавлених моделей</i> .....	11
Лабораторна робота №3 <i>Готування сумішей і одержання форм-монолітів</i> .....	14
Лабораторна робота №4 <i>Термообробка ливарних форм-монолітів</i> .....	25
Лабораторна робота №5 <i>Формоутворення виливків під впливом примусового тиску</i> .....	31
Лабораторна робота №6 <i>Очищення і термообробка виливків</i> .....	34

## ВСТУП

До ливарного виробництва відносяться різноманітні засоби виготовлення фасонних виробів (відливок) шляхом заливки ливарних форм рідким металом. Виробництво фасонних виробів безпосередньо з рідкого металу є одним із самих дешевих засобів виготовлення різноманітних деталей машин, конструкцій, приладів, предметів народного споживання. Тому ливарне виробництво знаходить широке застосування в різноманітних галузях народного господарства: машинобудуванні, металургії, станкобудуванні, будівельної промисловості та ін. В станкобудуванні маса відливок досягає 80 %, у машинобудуванні від 40 % до 80 % від загальної маси верстатів та машин. Перевагою ливарного виробництва у порівнянні з іншими засобами виготовлення металевих деталей (ковкою, штамповкою, прокаткою) є:

1) виготовлення виробів з будь-яких металів і сплавів, що володіють різними механічними властивостями: високою міцністю та пластичністю, різноманітними фізичними, хімічними і особливими властивостями, наприклад, високою або низькою електропровідністю, магнітною проникністю, жаростійкістю, жароміцністю, стійкістю в агресивних середовищах;

2) можливість одержання відливок різноманітної конфігурації, розмірів і маси;

3) можливість виготовлення виробів з високою розмірною точністю, що значно зменшує обсяг механічної обробки відливок;

4) порівняльна дешевина литєвих виробів;

5) можливість широкої механізації та автоматизації виробничих процесів.

## Лабораторна робота №1 *Виготовлення еластичних прес-форм*

Для одержання відливків високої якості вкрай необхідні якісні гумові прес-форми. У продажі є багато видів гуми для виготовлення прес - форм - від натуральної та синтетичної до силіконової гуми. Кожен вид має різні властивості і використовується в різних випадках у залежності від потреб. Деякі типи гум є більш довговічними, гнучкими і з меншим ступенем деформують або перекручують воскові моделі під час їхнього витягу, інші можуть бути більш твердими і краще відтворювати дуже гладкі поверхні, але мати менший термін служби і легше розтріскуватися.

При виборі найбільш підходящого для визначеного виробу виду гуми рекомендується поцікавитися думкою продавця гуми. У продажі є також силіконова гума, яка твердіє на холоді, і рідка

«гума», що твердіє при кімнатній температурі і не вимагає гарячої вулканізації - цей тип придатний для виготовлення форм для делікатних та чутливих до температури моделей, або для оригінальних добутоків.

Під час розрахунку розмірів моделі потрібно враховувати типovu для деяких видів гуми усадку, навіть якщо в розпорядженні є без усадочна гума. Рекомендується використовувати силіконову гуму, тому що вона легше в обробці, відбитки поверхні виходять більш високої якості, і воскові моделі витягаються з більшою легкістю. З іншого боку, вони легше руйнуються і можуть перешкоджати виходові повітря під час інжекції воску. Ця проблема може бути вирішена утворенням отворів для випуску повітря з форми - випоров.

При використанні гумові прес-форми повинні утримуватися в ідеальній чистоті, присутність сторонніх матеріалів (наприклад, порошку тальку і пилу) утворить на воску поверхневі дефекти, що передаються потім готовому відливку.

У залежності від типу конструкції еластичних прес-форм (розрізні або рознімні) застосовують спеціальні металеві обойми або рамки для виготовлення еластичних прес-форм. Звичайно вулканізаційні обойми мають робочу порожнину круглої або прямокутної форми. Найчастіше вони виготовляються зі сталі або високоміцних алюмінієвих сплавів. Конструкція вулканізаційної рами повинна відповідати всім необхідним вимогам: швидко і зручно збиратися, забезпечує достатню герметичність при вулканізації сирової гуми, легко розбиратися. Тому конструкція вулканізаційних рамок проста - це опокі з направляючими штирями, що центрують. Обойми більш складні - це металева прес-форма з порожниною, що відповідає зовнішньому контурові майбутньої еластичної прес-форми. З метою зменшення типорозмірів вулканізаційних рамок-обойм і зниження витрати сирової гуми використовуються спеціальні складальні пластини, що установлюються в усередину рам-обойм із метою зменшення товщини гумової прес-форми.

Частіше рамки прес-форм виточуються з товстого алюмінію, щоб витримувати прикладені до гуми тиску преса, що вулканізує. Покупні рамки прес-форм бувають різної товщини з вирізом стандартного розміру. Маються також вирізи спеціального розміру. Однак, у більшості випадків виріз стандартного розміру достатній. Якнайбільше, що ви можете зробити - це змінювати товщину в залежності від того, чи робите Ви прес-форму для невеликої серги або великого кільця. Використання потрібної товщини для прес-форми має дві переваги. Якщо Ви не робите прес-форму товстішою, ніж необхідно, Ви заощаджуєте на гумі й одержуєте велику гнучкість. Корпуси виконані з алюмінію, тому гума не буде приставати в процесі та після вулканізації.

Гуми для виготовлення прес-форми повинні відповідати специфічним вимогам. Насамперед, вони не повинні викликати корозію майстер - моделей, а самі прес-форми, виготовлені з таких гум, повинні мати низьку адгезію до модельного складу і мати високі фізико-механічні властивості. У залежності від призначення гумові суміші можуть містити від п'яти до двадцяти компонентів. Гуми для виготовлення прес-форм

складаються з наповнювача, пластифікатора, вулканізуючого агента. У якості вулканізуючого агента можуть використовуватися пероксиди органічних сполук.

Найчастіше гумові прес-форми виготовляють із сирової гуми, до складу якої входить до 20 компонентів. Основний компонент - це різні каучуки: бутадієн-нитрильні (СКИЗ, СКМ26, СКМ40М) і бутадієні-стирольні. Також входять різні пластифікатори, барвники, наповнювач (біла сажа) і агент, що вулканізує. Як правило, гума продається у виді смужок, ширина яких відповідає вирізові рамки прес-форми з поліетиленовою плівкою по обидва боки. Гума повинна бути чистою і вільною від прилиплих сторонніх речовин, у противному випадку ці дефекти виявляться в гумовій прес-формі і не дадуть шарам гуми сліпатися. Для цього поліетиленові плівки закривають обидві сторони і повинні залишатися до моменту використання гуми в рамках.

Процес виготовлення гумових прес-форм полягає у наступному. Спочатку укладають майстер - модель між аркушами гуми в підходящу рамку з алюмінію (рис.1).

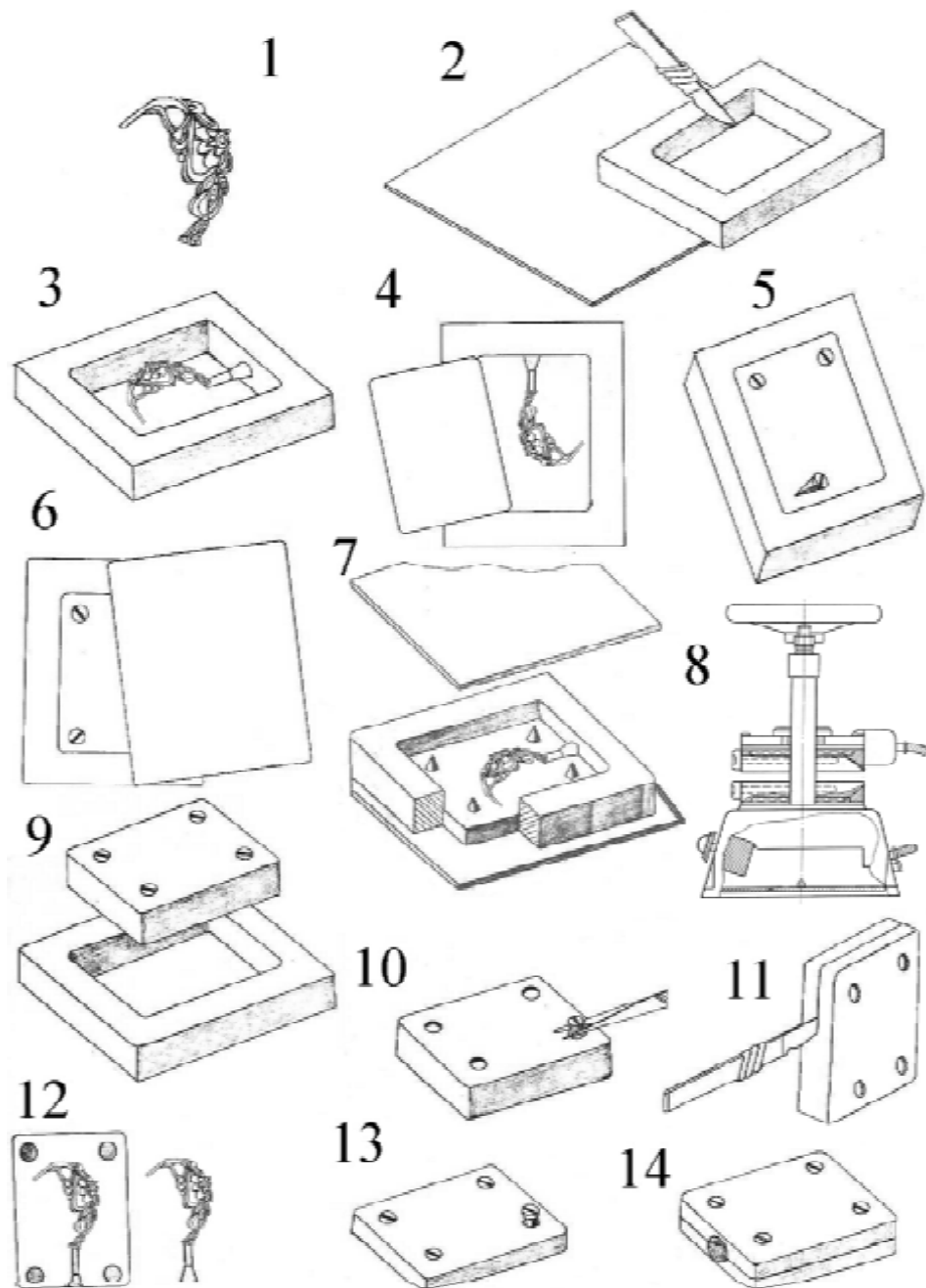


Рис. 1 Процес виготовлення гумових прес-форм

Майстер-модель із заповненими шматочками сирової гуми внутрішніми порожнинами поміщують на приготовлений шар. Необхідно оцінити, скільки шарів гуми (товщиною приблизно 3,2 мм) потрібно, щоб сформувати прес-форму. Розділите це число наполовину, і ця кількість аркушів покладете в нижню половину рамки прес-форми. Всі захисні плівки з гуми повинні бути вилучені та смужки розміщуються одна поверх іншої на половину глибини прес-форми. Кожна смужка гуми буде приклеюватися. Потім ливниковий конус насаджується на стрижень літника і металева майстер-модель встановлюється в рамку прес-форми на гуму так, щоб ливниковий конус був доступний з одного кінця прес-форми. Дуже обережно попередньо нарізані гумові смужки в кількості достатнім для утворення другої половини містяться зверху майстер - моделі, поки гума не буде до верхньої поверхні рамки прес-форми. Тепер треба переконатися, що гума буде утиснена в всі дрібні тріщини рамки й у дрібні елементи майстер – моделі.

Потім гума вулканізується під тиском, створюваним пресом, що нагрівається, при необхідній температурі. Для вулканізації існує оптимальна температура. У випадку звичайної гуми, вона звичайно складає 158°C з прийнятним результатом від 143 до 173°C. У будь-якому випадку, найбільш підходяща температура залежить від типу гуми, і необхідно витримувати рекомендації продавця гуми. Час вулканізації в залежності від розміру прес-форми складає 30...45 хв.

Прес-форма, у яку укладається гума, повинна знаходитися в пресі кілька хвилин до початку циклу нагрівання, тиск повинний підніматися поступово. Час витримки при досягненні температури залежить від товщини форми. Наприклад, 30 хвилин для прес-форми товщиною 12 мм, 45 хвилин для 18 мм і 75 хвилин для 36 мм (максимальна товщина форми, що рекомендується – 36 мм). Варто пам'ятати, що гума – поганий провідник тепла і необхідне час, щоб у центрі прес-форми температура піднялася до необхідного рівня. Час від часу варто калібрувати температуру преса. У деяких пресах розподіл нагрівання і регулювання температури залишає очікувати кращого.

Коли процес вулканізації буде кінчений, прес-форма віддаляється з вулканізатора, і їй дають остигнути при кімнатній температурі. Рамки досить масивні, тому зберігають тепло протягом деякого часу. Крім того, оскільки гума - це поганий провідник тепла, що знаходиться усередині гумова прес-форма буде гарячою, коли рамки ще теплі.

Після охолодження у воді гумову прес-форму з запечатаною в ній майстер — моделлю розрізають у такий спосіб, щоб не було зсуву двох половинок форми (однієї щодо іншої) при одержанні воскових моделей. У деяких випадках додатково вирізують вкладиші, що полегшують витяг восків, роблять надрізи (випори) з лицьової поверхні для поліпшення заповнення модельним складом тонких перетинів порожнини прес-форми.

Кваліфікація різьбяра гумової прес-форми полягає в тому, що він повинний розрізати по складній площині прес-форму, провівши лінію рознімання строго по середині моделі. У випадку складних внутрішніх порожнин необхідно передбачити стрижень, що вирізує по конфігурації порожнини. Стрижні найчастіше розрізаються на кілька частин, щоб їх можна було легко вийняти з восківки, не зламавши неї. Після видалення оригіналу і установа стрижнів, прес-форма готова до заливання розплавленим воском.

Щоб розрізати прес-форми мається багато способів. Можна порекомендувати найпоширеніший метод. Необхідно запам'ятати три речі: кожна прес-форма повинна мати спеціальний розріз по кутах або сторонам, щоб дві половини були правильно сполучені перед вприскуванням воску. В друге, гума повинна різатися дуже гострим ножом, звичайно це робиться скальпелем зі змінними лезами і при розрізуванні гума розтягується і треться, розріз (або "лінія поділу") між двома половинами повинна бути в центрі моделі, так щоб восковий дублікат міг залишатися в будь-якій половині прес-форми, коли інша половина відгинається при розкритій прес-форми. Найкраще розрізати прес-форму поки гума ще тепла - у цьому стані вона більш гнучка. Тому прес-форма видавлюється з рамок і



надлишкова гума відрізається ножицями. Спочатку робиться первісний розріз розділової лінії на глибину 5 мм навколо всієї гумової прес-форми і по середній крапці між краями. Після виконання цього розрізу, прес-форма надійно стискується в невеликих тисках для розрізування. Використовуючи розділову лінію в якості направляючої, у кожному з 4 кутів прес-форми робляться вирізи для вирівнювання. Ці вирізи робляться по краях, так щоб не одержати порожнину. Щоб вирізувати ці купола, гума розтягується в сторони при розрізуванні протилежної половини прес-форми. Ще одною можливістю для вирівнювання можуть бути діагональні розрізи по кутах прес-форми. Вибір системи вирівнювання визначається перевагами виготовлювача прес-форми. Після того як ці елементи були вирізані в кожному куті, прес-форма розташується ливниковим конусом нагору і розрізування продовжується поперек літника. Розріз робиться все глибше і глибше поки не буде досягнута модель. Процес полягає в розтягуванні гуми пальцями й у виконанні довгих розрізів кінчиком леза від літника до краю прес-форми, де був виконаний 5 мм розріз.

У результаті будуть отримані рівнобіжні розрізи. У міру того як виробляється розрізування, досягаються краю моделі і розрізування повинне робитися ретельно, щоб виключити різання майстер моделі і затуплення ножа. Ціль полягає в тому, що зробити розріз у середній крапці товщини моделі.

Конфігурація виробу відслідковується навколо прес-форми при повороті прес-форми на 180 градусів у тисках. Кожен розріз продовжується до краю прес-форми, за винятком тих кінців, де виникають вирізи для вирівнювання. Прес-форма перевертається на іншу сторону і, починаючи з протилежної сторони літника, прес-форма ріжеться з відстеженням форми моделі, поки не буде досягнутий попередній нижній розріз, і прес-форма не буде розділена на двох частин. Після того як прес-форма була розділена, на двох половинках посипається звичайна пудра, щоб запобігти злипанню розрізаних поверхонь. Отже, ми маємо дві готові частини прес-форми. Дві половини прес-форми відмінно сполучаються і підготовлені до вприскування воску. Важливість вирівнювання неможливо переоцінити, тому що без нього модель буде деформована, і віск буде текти між двома секціями в ході процесу вприскування, що приведе до погіршення якості.

По описанні - це дуже простий процес і насправді, прес-форма цього типу дуже легко ріжеться, але це вимагає практики, і перш ніж Ви придбаєте навички, будуть зроблені деякі помилки. Наприклад, на початку перша дюжина прес-форм розрізається приблизно за 30...45 хвилин, якщо Ви учитеся самі, і в межах цієї кількості, чим більше помилок Ви зробите, тим швидше Ви засвоїте техніку. Після першої дюжини, або навіть швидше, для розрізування однієї прес-форми буде потрібно п'ять хвилин. Потім, у міру того як Ви будете переходити до більш складних моделей, часові буде витрачатися більше, причому більше часу буде займати планування і малювання проведених розрізів, чим власне розрізування. Для складної моделі може знадобитися дві або три моделі для одержання якісного розрізу, що дозволять Вам виготовляти воскову модель без ушкоджень або навіть модель, що складається з трьох або чотирьох частин. Помніть, що вулканізовані прес-форми служать роками і призначені для одержання багатьох моделей, що є деякою розрадою за роботу і витрати.

Необхідно також уникати влучення ліній поділу прес-форми на основні поверхні воскової моделі, тому що це зажадає додаткового полірування відливків. При різанні гумових прес-форм варто побоюватися ушкодження моделі. Різання штампа вимагає високого ступеня підготовки працівника.

У випадку, якщо майстер-модель має виражені поглиблення, наприклад, кільце з виїмкою з перетином у виді букви С, після вулканізації необхідно буде розрізати більш складну прес-форму, що має три сторони або більш. Для різання гумової форми такого типу і виготовлення якісних воскових моделей необхідний досвід.

Можна застосувати металеві штампи, з вже встановленими опорними штифтами або установити під час підготовки прес-форми до її вулканізації кубики вулканізованої

гуми, що будуть служити опорними штифтами (рис. 1). Процес виготовлення еластичної розрізної прес-форми зі штифтами починали з закладки в металеву обойму сирі гми до площини рознімання, укладання і вдавнення в неї моделі-еталона, а також втулок з направляючими штирями. В другу половину обойми також укладається сира гума, потім роблять вулканізацію гумової прес-форми в обоймі на гідравлічному вулканізаторі. Після завершення вулканізації й охолодження обойми з неї витягають еластичну прес-форму. Далі видаляють направляючі штирі з прес-форми і здійснюють її розрізування на двох половинок. Після різання гуми витягається металева модель-еталон. Потім установлюється на місце направляючі штирі і виробляється зборка еластичної прес-форми. Виготовлена подібним чином прес-форма може бути використана для виготовлення тисяч виробів, не сумніваючись у точності її закриття і зсуву при інжекції воску.

Мета роботи - придбання навиків у виготовленні розрізних еластичних прес-форм.

Устаткування, інструменти і матеріали: вулканізаційний прес, обойми, струбцини, моделі-еталони, сира гума, присипки

Хід роботи:

1. Одержати сиру гуму і модель-еталон, обойму
  2. Перекласти прошарками сирі гми модель-еталон в обоймі
  3. Вулканізувати гуму з моделлю
  4. Остудити обойму з еластичною прес-формою
  5. Зробити розрізку прес-форми і видалення моделі-еталона
  6. Запротоколювати результати роботи
  7. Зробити висновки по роботі
- Робота розрахована на 2 години

## Лабораторна робота №2 Одержання виплавлених моделей

У ювелірній промисловості впроваджений і широко використовується технологічний процес одержання воскових моделей у розрізних гумових прес-формах, що дозволяє одержувати мініатюрні вироби з точним відтворенням складної конфігурації та швидко міняти асортимент. Процес виготовлення воскових моделей для ювелірних виробів - один із самих трудомістких, вимагає високої кваліфікації модельника. У процесі виготовлення воскових моделей потрібно постійно контролювати технологічний режим їх одержання. Для кожного виробу досвідченим шляхом підбирається температурний режим розплавленого воску, прес-форми, витягу моделі. А також режими заповнення прес-форм, витримки моделі в ній, так само тиску розплавленого воску. Усе це дозволяє одержувати відливки зі стабільними розмірами і мінімальними відхиленнями по вазі, що важливо для відливок зі дорогоцінних металів.

Як приклад одержання точних виплавлених моделей може служити заповнення гумових прес-форм при тиражуванні масових ювелірних виробів. Заповнення еластичних прес-форм розплавленим воском виробляється на спеціальних установках - інжекторах (рис.2).

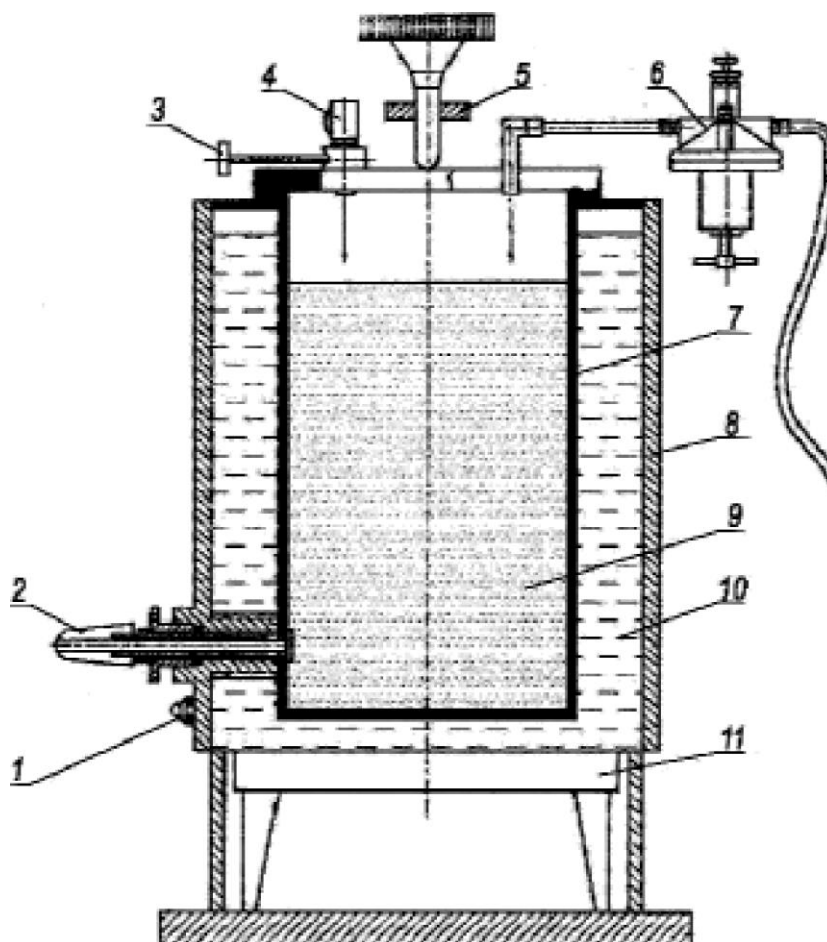


Рис.2 Восковий інжектор

1 - індикатор «Живлення включене», 2 - сопло інжектора, 3 - ручка регулятора тиску, 4 - манометр, 5 - притиск кришки, 6 - редуктор, 7 - внутрішня склянка, 8 - корпус інжектора, 9 - модельний склад, 10 - олія, 11 - нагрівач

Інжектор призначено для виготовлення воскових моделей шляхом заливання розплавленого воску під тиском у гумові прес-форми. Установка складається з двох, що поміщаються один в іншій, резервуарів, простір між якими заповнюється

трансформаторною олією. Електронагрівники через олію підігрівають модельний віск, температура якого задається теплорегулюючим пристроєм. Прес-форма заповнюється воском через спеціальний клапан 2 - сопло інжектора під дією стислого повітря, тиск якого контролюється манометром. Стиснене повітря подається від компресора через редуктор. Ємність з воском поміщають в олію для того, щоб підтримувати постійну температуру розплавленого воску. На початку температуру підвищують не вище 120°C, щоб цілком розплавити віск і в теж час уникнути деструкції компонентів. А потім температуру воску знижують до 70...85 °С - оптимальної температури для заповнення прес-форм. Щоб не спостерігалось замерзання воску в соплі інжектора, передбачений його нагрів знижують до температури 90...95°C. Тиск стиснутого повітря над воском, у залежності від габаритів і ваги восківок, коливається в межах від 0,05 до 0,2 МПа. Власне процес виготовлення воскових моделей на інжекторах включає наступні етапи:

Еластичну прес-форму затискають між двома пластинами.

Підносять прес-форму (у місці виходу ливникового каналу) до сопла інжектора і злегка надавлюють на нього. Клапан інжектора відкривається і за рахунок тиску стиснутого повітря, розплавлений віск надходить у порожнину прес-форми. Час заповнення складає 1...5 с.

Плавно відводять заповнену прес-форму від сопла та встановлюють на стіл для охолодження. Крім природного охолодження застосовують примусове охолодження, шляхом обдуву холодним повітрям або охолодження в холодильнику. Якщо температура прес-форми буде занадто висока (більш 40°C), то спостерігаються усадочні раковини в місцях стовщення воскових моделей.

Після охолодження моделі до температури - 30...35°C проводять витяг воскової моделі з прес-форми. При високій температурі моделі, що витягається, вона деформується. Якщо температура занадто низька, то модель прилипає до поверхні прес-форми, що часто веде до її поломки.

Після витягу моделі, прес-форму очищають від залишків воску і присипають тальком по всій площині рознімання. Варто залишати мінімальний шар тальку на внутрішній поверхні порожнини прес-форми, а надрізи і випори в прес-формі заповнювати тальком, що поліпшує умови її заповнюваності розплавленим воском. Часто замість тальку для змазування прес-форм використовують силіконові рідини, суміш гліцерину з водою, евкаліптова олія. Після цього прес-форма готова до наступного уприскування.

Виготовлення воскових моделей у гумових прес-формах - трудомісткий і кропіткий процес, що вимагає високої кваліфікації працівника. Від досвіду модельника залежить якість одержуваних воскових моделей, точне відтворення деталей, з яких будуть отримані потім ювелірні вироби. На якість виготовлення воскових моделей великий вплив роблять суб'єктивні фактори, який необхідно звести до мінімуму. Це можливо при автоматизації процесу.

Проблема при уприскуванні воску та їхнє рішення. Для кожної конфігурації восківки і типу воску необхідно підібрати оптимальний тиск заливання, температуру воску і час витримки восківки в прес-формі. Вірна комбінація усіх факторів може бути досягнута тільки в процесі роботи, варіюваннями ними з кожною прес-формою і кожним воском. До того ж, характеристики прес-форм міняються після того, як гарячий віск повторно впорскується в її порожнину. Тому підходяща комбінація факторів для холодної прес-форми може бути неприйнятною для тієї ж прес-форми після її нагрівання шляхом повторного використання. Занадто велике або занадто короткий час охолодження між уприскуваннями теж є одним з факторів, що впливають. Температуру воску необхідно вимірювати безпосередньо в контакт з розплавленим воском. Вимір температури без контакту дає тільки приблизні дані про температуру воску. Крім усього, розплавлені воски легко спалахуються при температурі, що перевищує 175°C.

Ціль роботи - вивчення процесу формоутворення дрібних моделей, які

виплавляються Устаткування, інструменти і матеріали інжекційна установка, гумові прес-форми, шпателі, віск, розділювальне мастило

#### Хід роботи

1. Одержати гумову прес-форму, інструменти і матеріали
2. Встановити оптимальну температуру розплавленого воску
3. Провести попередні запресовки воску в прес-форму
4. Відпрацювати режими виготовлення воскової моделі на інжекційної установці
5. Закріпити воскові моделі на стояку, установленому на подопчному конусі
6. Запротоколювати технологію виготовлення моделей, які виплавляються
7. Зробити висновки про пророблену роботу Робота розрахована на 2 години
8. Контрольні питання
9. Яка сутність формоутворення ажурних тонких моделей?
10. Які основні компоненти модельних составів?
11. Що таке інжекційна установка?
12. Які параметри визначають якість моделі, яка виплавляється?
13. Які принципи проектування модельного блоку?

### Лабораторна робота №3 Готування сумішей і одержання форм-монолітів

Широке застосування для одержання ливарних форм-монолітів самотверднучих гіпсових сумішей. Основним сполучним матеріалом у таких сумішах є високоміцний  $\alpha$ -гіпс. Його міцні показники визначаються невеликим розміром напівгідрату гіпсу з волокнистою структурою, що одержують за рахунок термообробки в автоклавах при температурі  $130^{\circ}\text{C}$  і тиску 2 атм. Це дозволяє при зниженні кількості води, що зачинає, при рівній рідко рухомій суміші одержувати міцність у 2...5 разів вище, ніж у сумішей на  $\beta$ -гіпсу (медичний, будівельний). При змішуванні порошкоподібного гіпсу з водою утвориться дигідрат  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , що твердіє у виді твердої кам'яної речовини. Гіпс частково розчиняється у воді, маючи найбільшу розчинність при  $38^{\circ}\text{C}$ .

Хімічна реакція розкладання гіпсу (дводного сульфату кальцію) теоретично протікає при температурі  $107^{\circ}\text{C}$  по реакції  $\text{CaO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} = \text{CaO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O} + 1,5\text{H}_2\text{O}$ . В інтервалі температур  $170...200^{\circ}\text{C}$  відбувається подальша втрата гіпсом кристалізаційної води, утвориться так названий розчинний ангідрит  $\text{CaSO}_4$ , що активно з'єднується з водою. При температурі  $200...400^{\circ}\text{C}$  відбувається майже повне видалення з гіпсу кристалізаційної води. Утвориться суміш нерозчинного і розчинного ангідриту. При температурі вище  $450^{\circ}\text{C}$  гіпс переходить у намертво обпалений гіпс - ангідрит  $\text{CaSO}_4$ . При більш високих температурах ( $750...800^{\circ}\text{C}$ ) утвориться естрих-гіпс, що і дав найменування "Естрих-процесу": лиття в гіпсо-динасової форми. Міцність гіпсу визначається тим, наскільки тісно кристали зчеплені один з одним, а також формою і розміром кристалів.

Після змішування порошкоподібного гіпсу з водою й утворення камневидного тіла міцність гіпсу досягає максимуму при сушінні його до постійної маси. Уповільнення схоплювання гіпсу може бути досягнуто введенням гашеного вапна в кількості 1...2%, а також борної кислоти 1,0...1,5% та інших з'єднань. Для додання термостійкості ливарним формам і компенсації усадки гіпсу, що виникає в наслідок втрати кристалізаційної вологи при температурі  $200...240^{\circ}\text{C}$ , необхідне застосування вогнетривкого наповнювача. Найчастіше застосовуються кремнеземні мінерали. Одним з найбільш підходящих мінералів є кристоболіт. Кристоболіт в інтервалі температур  $225...240^{\circ}\text{C}$  перетерплює модифікаційне перетворення зі збільшенням на 1,8% його лінійних розмірів. Це поліморфна модифікація кремнезему одержувана з єдиного природного родовища в Сан-Кристобале (Мексика). Виготовлення кристоболіта термообробкою аморфного кварцу в присутності лугів робить його досить дорогим, і він не має стабільні властивості. Тому використовують іншу модифікацію кремнезему - кварц, що має термічне розширення 1,4% унаслідок поліморфного перетворення  $\beta$ -кварцу в  $\alpha$ -кварц при температурі  $573^{\circ}\text{C}$ . Оскільки його термічне розширення нижче, ніж у кристоболіта і спостерігається не в інтервалі втрат кристалізованої вологи гіпсом, суміші з таким наповнювачем мають гірші показники, чим суміші на кристоболіті. Тому використовують суміші з кварцу та кристоболіту, що трохи знижує їхню вартість і схильність до тріщин будування.

Тріщина будування в ливарних формах-монолітах на гіпсових сполучних звичайно спостерігається при втраті кристалізованої вологи, особливо велика небезпека утворення тріщин у кристоболітових сумішей, тому що одночасно йдуть два процеси: усадка гіпсу і розширення кристоболіта. Тому в інтервалі температур  $230...250^{\circ}\text{C}$  роблять тимчасову витримку для повного протікання цих процесів. При температурах поліморфного перетворення кварцу також необхідна тимчасова витримка, але вона по тривалості може бути менше.

У вітчизняних ювелірних сумішах використовують природний матеріал динас, що містить у різних пропорціях кристоболіт, кварц і триміт. Даний матеріал має стабільне термічне розширення 1,1%, що дозволяє компенсувати усадку гіпсу при його максимальному змісті до 20%. Однак нестабільний мінералогічний склад приведе до низької плинності та пластичності формувальних сумішей на його основі. Тому необхідно додавати кислоти, що допомагають понизити рН сумішей, що виникає через наявність

лужноземельних металів.

Компонентами для готування даної формувальної суміші є: динас - вогнетривкий матеріал, виготовлений із промислових кварцитів з додаванням мінералізуючої речовини, що клеять, високоміцний гіпс марок Г-10, 12, 20, 22 і заміщувачем - суміш соляної й ортофосфорної кислот (2...4мл/л) з дистильованою водою. Динас являє собою природне з'єднання з окислів кремнію SiO<sub>2</sub> (96%), кальцію СаО, алюмінію Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> і заліза Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. У якості мінералізуючої добавки використовують окисли кальцію і заліза, а добавкою, що клеїть, служить сульфатно-спиртова барда. Зазначені добавки вводяться в динас у виді вапняно-залозистої суміші. Динасовий порошок одержують також розмелом електродинасу ЕД за ГОСТ 1566 - 71, що має обмежений зміст з'єднань заліза і кальцію. Процес готування формувальної суміші складеться в ретельному перемішуванні вручну або механізовано порошкоподібної суміші динасу - 80% і гіпсу - 20%, з наступним змішуванням із заміщувачем (0,32 л на 1 кг сухих компонентів).

При виборі наповнювача важливим є їх фракційний склад. Для готування суспензій можна застосовувати наповнювач із двома або трьома різними по величині зерна фракціями. За допомогою фракційного складу регулюються газопроникність форми, розмірна точність відливків і якість їхньої поверхні, витрата сполучного, міцність матеріалу форми і т.д. Як правило, вогнетривкі матеріали до їхнього використання піддають попередній обробці: промиванню, сушінню, прожарюванню і просіванню. У ливарному виробництві споживачеві поставляють стандартні вогнетривкі суміші, що мають строго регламентований фракційний склад. Практично всієї суміші для одержання ювелірних відливків мають мінімальний розмір фракцій - не більш 100 мкм.

Довгий час на підприємствах ювелірної промисловості використовували формувальну суміш тільки імпортного виробництва марок «Сатінкаст», «Суперкаст», «Керр-90» (США) або «Інвестрайт» (Англія). Імпортні гіпсові суміші звичайно містять 25% гіпсу, 35% кварцу, 40% кристобаліта. Буру, борну кислоту, азбест або силікат натрію використовують, як зміцнювані добавки. Однак при точному литті по воскових моделях при введенні у формувальну суміш  $N > 2SiO_2 \cdot 9H_2O + H_3BO_3$  спостерігається деяке зниження якості поверхні відливків. У 1982 р. ВНИИ Ювеліпрот розробив формувальну суміш марки «Ювелірна-2». Її склад: 85% динасу, 15% - високоміцний гіпс.

Таблиця 1. Властивості формувальних сумішей для одержання ювелірних відливків

Показники формувальних сумішей	STONECAST	CLASSIC	Ювелірна-2
Співвідношення порошок/вода	100/38	100/40	100/40
Робочий цикл при 22°C	8...9 хв	8...9 хв	6...8 хв
Час первинного схоплювання	10...12 хв	10...12 хв	12...15 хв
Термічне розширення при 750°C	0,73%	0,73%	0,52%
Розширення через 2 години після схоплювання	0,45%	0,45%	0,22%
Обсяг суспензії з 1 кг порошку	795 мл	790 мл	740 мл

ARTCAST спеціально розроблена для лиття великих художніх скульптурних композицій або їхніх частин із бронзи, латуні або срібла. Формувальна суміш розрахована на заливання форм із розважуванням лиття до 150 кг із використанням технології лиття по виплавлених моделях. ARTCAST легко перемішується та вакуумується у великих кількостях. ARTCAST уже містить змочувальні та піногасінні реагенти й отже немає необхідності їхній додавати самостійно. ARTCAST дає згладжену поверхню відлитої деталі та володіє зробленою репродуктивною здатністю до воскових моделей. ARTCAST легко віддаляється після кристалізації відливка. CLASSIC виділяється наступними перевагами при литті: підвищена термостійкість, що дає найвищу стійкість до термічного удару під час випалу форм-монолітів і заливання. Велика технологічна гнучкість, що

дозволяє змінювати параметри лиття. Підходить до всіх ювелірних сплавам, особливо золотим 750° і для тонких філігранних робіт. Більш висока чистота поверхні відливка - потрібна менше шліфування і полірування. Дає однорідну кремову консистенцію під час перемішування суспензії та легко заповнює опоки. STONECAST - формувальна суміш для лиття ювелірних виробів з каменями, попередньо закріпленими у воскову модель.

Ця суміш зі спеціальними властивостями, що охороняють камені від впливу температури під час циклу випалу ливарних форм-монолітів. При використанні STONECAST ювелір може закріплювати камені у воскову модель, збільшуючи в такий спосіб продуктивність. STONECAST має наступні переваги: забезпечує тепловий захист для діамантів при температурі ливарних форм аж до 630°C, робочий цикл суміші до твердіння дозволяє спокійно провести змішування і вакуумування суспензії. Суспензія з даної суміші має знижену в'язкість і миттєво схоплюється, що збільшують міцність форм. Властивості гіпсових формувальних сумішей. Відмінною рисою формувальних сумішей на основі гіпсу є гарна плинність їх при змішуванні з водою. Важливою властивістю гіпсу, є його здатність обволікати грубі частки наповнювача, навіть при значній кількості їх у формувальній суміші до 70%, що забезпечує одержання гладкої поверхні робочої порожнини форми. Гарна плинність цих сумішей, забезпечує точність відтворення моделі та гладку поверхню форми після затвердіння, дає можливість одержання форм при будь-якій складності моделі. Висока міцність гіпсової форми в нагрітому стані - до температури 750...800°C дозволяє робити заливання тонкостінних деталей у гарячі форми. Важливою властивістю гіпсових формувальних сумішей є їх більш низька, чим у всіх застосовуваних у даний час формувальних матеріалів теплопровідність.

Змінюючи склад формувальної суміші, можна регулювати міцність гіпсової форми-моноліту: від максимальної міцності на стиск 3...4 МПа до 0,1 МПа. А також додавати їй піддатливість, що дозволяє різко зменшити напругу у відливках, знизити їхнє короблення, чим при інших ливарних процесах (у тім, числі і литті в керамічні оболонкові форми по воскових моделях). Деяка втрата міцності форми-моноліту під впливом високої температури дозволяє легко зруйнувати її та очищувати відлинок від формувальної суміші.

Формувальні керамічні суміші на гіпсі твердіють за рахунок утворення кристалогідратів. Отже, зміни процесу твердіння можна домогтися введенням добавок. Для формувальних керамічних сумішей на гіпсу твердіння визначається ступенем гідратації напівгідрату гіпсу. Процес гідратації являє собою безперервний процес розчинення напівгідрату та кристалізуватися з розчину дигідрата. В міру росту кристалогідратів гіпсу та їхнього переплетення формується полікристалічна структура затверділого гіпсу. Підвищена міцність автоклавного гіпсу визначається тим, наскільки тісно кристали двогідрата сплелися один з одним, зрослись у кристалічні групи й агрегати. Чималу роль при цьому грають форма і розмір кристалів. Так, висока міцність гіпсів о-модифікації визначається їхньою поплутано-волокнутою структурою. Кристали мають щільне упакування, гладкий рельєф поверхні з незначною кількістю пір і капілярів. Цими властивостями і порозумівається знижена водопотреба о - модифікації напівводного гіпсу при однаковій з b-модифікацією пластичності. Друга істотна причина збільшення міцності в'язкою, отриманою обробкою під тиском 1,2...1,3 атм, порозумівається тим, що гладкий рельєф поверхні о - напівгідрату забезпечує велику повноту його переходу в двоводний гіпс. Недоліком о - напівводного гіпсу є його велике об'ємне розширення порядку 0,3 %. Розходження в кристалічній будівлі о- і § - напівгідрату визначає розходження фізико-механічних властивостей будівельного і високоміцного гіпсів. У високоміцний гіпс додається 35...45%(по вазі) води для додання йому необхідної ливарної консистенції, а у будівельний гіпс - 60...70%. При цьому об'ємне розширення першого в'язких складає 0,2...0,3%, другого - 0,1...0,15% межа міцності при стиску зразків, висушених при 60°C до постійної ваги, 25...40 МПа і до 5,5 МПа відповідно.

Терміни схоплювання в'язких: для високоміцного гіпсу початок схоплювання при



додаванні води через 3...4 хв, кінець - через 8...9 хв. Для будівельного гіпсу - початок схоплювання через 6...10 хв, кінець 10...25 хвилин. Міцність гіпсу збільшується, поступово при перетворенні напівгідрату в двогідрат, наростання її закінчується після кристалоутворення, приблизно через добу після змішування гіпсу з водою. Тому гіпсові форми не можна відразу після затвердіння сушити або прожарювати, щоб не зменшити їхню міцність.

При змішуванні порошкоподібного гіпсу з водою утвориться двогідрат  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  - тверде кам'яне тіло. У процесі твердіння гіпсу відбувається ряд хімічних і фізичних змін. Зовні процес твердіння полягає в тому, що гіпсове тісто, що представляє собою механічну суміш порошкоподібного гіпсу (напівгідрату) і води, перетворюється в кам'яне тіло. Це перетворення відбувається не відразу, а поступово. Спочатку, пластичне тісто, що володіє великою рухливістю, починає густіти й ущільнюватися. Це буде початок схоплювання гіпсу. Далі гіпсове тісто усе більш ущільнюється й остаточно утрачає свою рухливість. У цьому стані гіпсове тісто не володіє помітною механічною міцністю. Цей момент відповідає кінцеві схоплювання гіпсу. Весь процес твердіння гіпсу можна розділити на два періоди: перший період схоплювання гіпсу, або сплетення кристалів, що виділилися, двогідрата, другий період ущільнення зв'язків, тобто цементування кристалів солями, що виділяються при випарі надлишкової, вільної, вологи.

Терміни схоплювання гіпсу залежать від ряду факторів: від якості сировини, тонкості розмелу, умов випалу, температури гіпсу і води для змішування, величини водогіпсової відносини, тривалості й умов збереження. Терміни схоплювання можна регулювати спеціальними що сповільнюють або прискорюють добавками. Для порівняння різних гіпсових в'язких один з одним необхідно всі іспити робити при одній і тій же консистенції формувальної суміші, а саме, при так називаній "нормальній густоті". "Нормальна пустота" це така консистенція суспензії, що забезпечується цілком визначеним водогіпсовою співвідношенням. Вона визначається стандартним циліндричним вискозиметром висотою 100 мм і внутрішнім діаметром 50 мм.

Наша вітчизняна промисловість випускає високоміцний гіпс марок 200, 300 і 350 (з межею міцності на стиск від 19,6 до 34,3 МПа). За рубежом виробляється високоміцний гіпс, межа міцності на стиск яких від 78,4 до 98 МПа. Марка гіпсу відповідає межі міцності на стиску зразків, висушених до постійної ваги при 50...60°C, вираженому в кг/см<sup>2</sup>.

На відміну від керамічної обмазки цей матеріал після, заповнення форми металом і охолодження відливка, легко вибивається, вимивається водою (особливо після 10...20 годинного намокання) або віддаляється паром (із внутрішніх порожнин відливіків). Міцність гіпсової формувальної суміші можна змінювати, додаючи різну кількість води. Чим більше води в гіпсовій суміші, тим нижче її міцність. Для різних сортів гіпсу мається максимальна і мінімальна межа кількості води, що вводиться. Якщо ця межа перевищена, то гіпсова суспензія стала негідною. При максимально можливій кількості води гіпсова суспензія виходить занадто рідкої, з підвищеною плинністю і твердіє з низькою міцністю. Час схоплювання збільшується. При мінімально можливому: кількості води гіпсова суміш швидко схоплюється, дає велике розширення при затвердінні та більш міцну форму. Різні гіпсові суміші для одержання робочої консистенції споживають різну кількість води. Наприклад, для одержання максимальної міцності гіпсо-піщаної суміші, що складає з 80% піску і 20% високоміцного гіпсу додають 23 частини води на 100 частин сухої гіпсової суміші в той час, як до гіпсової суміші, що складає з 80% високоміцного гіпсу і 20% азбесту, додають на ту ж кількість суміші 55...60 частин води.

Максимальна міцність на стиск гіпсо-кристалитової суміші при додаванні до неї 40% води на 100 частин сухої суміші складає 5,8 МПа, у той час як максимальна міцність на стиск при додаванні 50% води складає лише 2,5 МПа. Різке падіння міцності гіпсової суміші при додаванні до неї великих кількостей води відбувається також і в гіпсо-шамотомаршалитової суміші, причому міцність суміші падає не тільки в зразків, висушених до

постійної ваги, але й у прожарених зразків. При цьому варто звернути увагу на більш різке падіння міцності зразків, виготовлених з гіпсо-шамото-маршалитової суміші та прожарених при температурі 800°C, чим тих же зразків, але висушених до постійної ваги при температурі 55...60°C.

Міцність гіпсової формувальної суміші можна підвищити введенням органічних і мінеральних присадок. Органічні присадки такі, як сульфітно-спиртова барда і формальдегідна смола, можуть збільшити міцність гіпсу в тому випадку, якщо форми-моноліти не обробляють паром і сушать при температурі не вище 200°C. Це зв'язано з тим, що зазначені органічні речовини піддаються піролізу при температурі вище 200°C, крім того, вони розчинні у воді.

Уведення мінеральних добавок для збільшення міцності гіпсових сумішей особливо доцільна в тому випадку, якщо суміші містять велике 60...70% кількість наповнювача і якщо форми прожарюють при високій температурі 500...800°C. Як мінеральні добавки застосовують борну кислоту  $H_2BO$  і кремнекислий натрій  $N 2SiO_3 \cdot 9H_2O$  в сполученні з борною кислотою. Невеликі кількості кремнекислого натрію та борної кислоти, додані в суміш, утворюють евтектику  $Na_2O \cdot B_2O_3$ , що розплавляється при температурі 520...600°C. Утворення рідкої фази при такій температурі сприяє підвищенню міцності форми-моноліту. Найбільше зміцнення форми-моноліту досягається при добавці кремнекислого натрію в сполученні з борною кислотою в кількості 3%. Міцність форми-моноліту при цьому приблизно в 6...7 разів вище, а терміни схоплювання збільшуються до 30...50 хв, що прийнятно для масового виробництва. Гіпсова суміш, що не містить кремнекислого натрію та борної кислоти, твердіє протягом 8...10хв. При введенні у формувальну суміш однієї лише борної кислоти дає вигравш у міцності значно менше - 1,5...2 разу. Терміни схоплювання подовжуються на 2...4хв. Необхідно вказати, що суміш борної кислоти та кремнекислого натрію є поверхнево-активною та пластифікуючи добавкою. Застосування такої суміші дає можливість зменшити кількість води, що додається у формувальну суміш для одержання необхідної консистенції. Однак при точному литті по воскових моделях при введенні у формувальну суміш  $Na_2SiO_3 \cdot 9H_2O + H_2BO$  спостерігається зниження чистоти поверхні відливків.

На міцність гіпсового формувального матеріалу впливає також фракційний склад його компонентів. Підвищення міцності зразків, приготовлених із суміші в яку піщаний наповнювач введений у виді двох фракцій, може бути пояснене більш щільним упакуванням зерен формувальної суміші та зменшеною кількістю води, необхідним для змішування суміші. Зразки, виготовлені з немеленої гіпсо-кристалитової суміші, мають низьку міцність і розтріскувалися при прожарюванні в печі. Зразки з тонко здрібненого наповнювача без додавання до нього великих фракцій, незважаючи на високу міцність, показали меншу стійкість у відношенні утворення тріщин при прожарюванні, тому тонке здрібнювання наповнювача при виготовленні гіпсових сумішей рекомендувати не можна. Фракційний склад наповнювача впливає на міцність формувального матеріалу, тому що зі збільшенням тонкості розмелу збільшується кількість води, що додається до суміші, у цьому випадку міцність суміші буде менше, ніж суміші з наповнювачем більш грубого розмелу. Необхідно застосовувати наповнювач, що складається з часток тонкого розмелу в сполученні з великою кількістю грубих часток, при готуванні рідкої гіпсової суміші та усунення її неоднорідності. На відміну від кераміки, міцність якої при високих 950...1050°C температурах нагрівання збільшується, міцність гіпсової формувальної суміші з підвищенням температури падає.

Найважливішою особливістю гіпсової формувальної суміші є здатність її давати дуже гладкий відбиток моделі в порожнині форми-моноліту. Ця особливість гіпсу залежить від тонкості його розмелу і, головним чином, від здатності тонких часток гіпсу оточувати грубі зерна піску, шамоту, кристалита і т.д. Поверхня робочої порожнини форми виходить гладкої не тільки завдяки тому, що модель відполірована, але також і завдяки тому, що гіпсова суспензія володіє високою рідкоплинністю. До деякої міри

гладкість поверхні порожнини форми залежить від кількості гіпсу, що вводиться в суміш, і його міцності: чим більше введено у формувальний матеріал гіпсу вищих марок, тим більше гладкою, виходить робоча поверхня форми. На чистоту поверхні форми великий вплив робить тонкість розмелу складової гіпсової суміші - її зерновий склад.

Великий недолік форм-монолітів на гіпсі полягає в тім, що вони майже не пропускають газів, що виділяються з розплавленого металу. Газопроникність підвищується при добавці таких матеріалів, як пісок, шамот та ін., завдяки яким гіпсова суміш стала менш щільною, а також від додавання води, оскільки в процесі сушіння вода, віддаляючись, утворить між частками формувальної суміші канали, що служать виходом для газів, що виділяються з розплавленого металу. Головними факторами, що різко поліпшують газопроникність гіпсових форм-монолітів, є збільшення кількості води для змішування та обробка форм паром при тиску 1,2...1,3 атм протягом 6...8 годин.

Тонкі порошки гіпсової формувальної суміші захоплюють значні кількості повітря, що виділяється у виді бульок при змішуванні сухої гіпсової суміші з водою. Якщо це повітря не видалити цілком з рідкої гіпсової суспензії, то він, піднімаючи нагору, буде прилипати до воскових моделей у тих місцях, де вихід його утруднений. Діаметр повітряних бульок коливається в межах 0,5...6 мм, а іноді вони мають більш значні розміри. Якщо повітряні бульки та піну не видалити з гіпсової суміші, то на поверхні порожнини форми-моноліту після її затвердіння утворять раковини, а на відливках - горбкуваті кулясті напливи металу, для видалення цих напливів металу потрібно додаткова механічна обробка деталей, що збільшує вартість відливок. При литті по восковій моделі видалення повітряних бульок з рідкої гіпсової суспензії утруднено, оскільки можливо полонку тендітних воскових частин. Крім того, у тонких довгих отворах і порожнинах повітряні бульки видалити не вдасться і приходиться прибігати до використання вакууму.

На утворення повітряних бульок у гіпсової формі-моноліті впливає цілий ряд факторів - розміри часток, способи готування гіпсової суміші, наявність газів, та ін. Значний вплив на здатність суспензії поглинати повітря робить розмір часток гіпсової суміші. Найменше утвориться шпилькової пористості у формувальній суміші, що складається в основному з однорідних часток розміром 0,03...0,05 мм. На утворення шпилькової пористості впливають будь-які забруднення гіпсу. Тому гіпс, застосовуваний для лиття художніх і ювелірних відливок, повинний бути ретельно відсортований, і містити мінімальна кількість домішок. Кількість і розміри повітряних раковин, що утворюються при змішуванні сухої гіпсової суміші з водою, залежать значною мірою від способу готування гіпсової суміші і застосовуваного для цих цілей устаткування. Для змішування гіпсової суміші застосовують повільно обертові лопатеві змішувачі та мішалки пропелерного типу. Правильно сконструйований змішувач дає можливість цілком видалити повітря з формувальної суміші, навіть якщо гіпс і не є досить якісним з погляду газонасиченості. Дрібні бульки повітря, з'єднуючись, один з одним, утворюють великі бульки, що легко виділяються з гіпсової суспензії в навколишнє середовище. При змішуванні гіпсової суспензії в механічному змішувачі, повітря не повинне утворити піну, особливо якщо гіпсова суміш промішується не занадто швидко. Щоб одержати мінімальну кількість бульок і піни в гіпсовій суспензії, обертання пропелерної мішалки варто підтримувати 350...450 об/хв. Радикальним, але дорогим є видалення повітряних бульок за допомогою вакууму. Цей спосіб доцільно застосовувати при литті деталей по восковій моделі, оскільки з її поверхні важко видалити повітря, особливо якщо моделі дрібні та у восковому блоці них багато. Для видалення повітря з гіпсової суміші необхідно підтримувати залишковий тиск 104 Па та найкраще сполучати з вібрацією. Для повного видалення повітря з гіпсової суспензії рекомендується її вакуумувати протягом 7...8 хв. Оскільки високоміцний гіпс починає схоплюватися через 3...5 хв у формувальну суміш необхідно додавати 0,15...0,20 % вапняного сповільнювача. З уведенням сповільнювачів терміни схоплювання гіпсу подовжуються до 18...20 хв. Вода, що додається в гіпсову

суміш, впливає не тільки на її міцність, але і розширення при твердінні та нагріванні, а також і на газонасиченості суспензії. З метою попередження утворення газових раковин у гіпсових формах-монолітах при одержанні суспензії на  $\xi$ - напівводному гіпсі на кожні 100 частин сухого порошку рекомендується брати 60...75 частин води, у той час для  $\sigma$ - напівводного гіпсу варто брати води 34...40 частин. Якщо кількість води в гіпсовій суспензії взяти менше зазначеного, то після змішування вона буде густий та дрібні бульки повітря не зможуть з'єднуватися у великі та віддалятися з неї. При надлишковому змісті води гіпсова суспензія виходить занадто рідкої та неоднорідною. Невелика кількість домішок, таких, як шматочки затверділого гіпсу, залишки олії, і т.д., також сприяє утворенню шпилькової пористості в гіпсовій формі-моноліті. Тому гіпс і матеріали, застосовувані для виготовлення форм, не повинні містити зазначених домішок. Для виготовлення гіпсової суспензії потрібно брати зовсім чисту воду. Здебільшого утворення шпилькової пористості в гіпсових формах-монолітах можна спостерігати при змішуванні на холодній воді, оскільки там утримується значна кількість газів. На газонасиченості гіпсової форми впливає, і склад суміші, з якої вона виготовлена. Якщо форми виготовляють з гіпсової суміші, що містить 80% піску, то важкі частки його швидко осідають на модель і перешкоджають видаленню повітря. Суха гіпсова форма-моноліт при вилежуванні на повітрі поглинає вологу з навколишньої атмосфери. Якщо в таку форму, що набрала з повітря вологу, залити метал, то на відливках з'являються так названі отдуліни - глибокі зовнішні раковини. Щоб усунути подібні дефекти, прожарені гіпсові форми необхідно, заливати металом відразу, же після їхнього витягу з термічної печі й охолодження до оптимальної температури для даного сплаву.

Відмінною рисою гіпсового формувальної суміші є повна відсутність пригару і легка вибивка її з внутрішніх порожнин відливків. Для попередження хімічної взаємодії сплавів з гіпсовою формувальною сумішшю необхідно, щоб компоненти його містили мінімальну кількість домішок. Тому, наприклад, гіпс повинний бути виготовлений з високоякісної сировини, не містити вугілля, вуглекислих солей, і т.п. Кількість домішок у гіпсі не повинне перевищувати 1%. Кварцовий пісок, з якого виготовляють кристобаліт і маршаліт, повинний містити SiO не менш 99,8%.

Для виготовлення відливків ювелірних і художніх виробів із прискореним заливанням металу застосовують ливарні форми-моноліти. Головні особливості одержання таких форм наступні: застосування вакууму після змішування порошку формувальної суміші з водою (у процесі одержання однорідної суспензії), застосування вакууму і вібрації після заливання суспензії в опоку з восковим модельним блоком. Це дозволяє видалити бульки повітря з формувальної суміші.

На першому етапі одержання суспензії у міксер з водою засипають, необхідна кількість порошку формувальної суміші. Водомасове співвідношення для вітчизняної й імпортованих формувальних сумішей складає 360...400 мл рідини на 1 кг порошку.

Для одержання однорідного складу та видалення повітряних бульок суміш перемішують у міксері протягом 3...4 хвилин. Залишковий тиск складає 104 Па. Технологічні добавки кременистого натрію та борної кислоти сприяють видаленню повітря з замішаної суміші, а добавка у воду ортофосфорної кислоти (у вітчизняній формувальній суміші) підвищує плинність суспензії.

Змішування формувальної суміші звичайно виконується з використанням механічного міксера. Час змішування повинен бути принаймні 2...3 хвилини і може бути збільшене до чотирьох-п'яти хвилин, якщо існує не використовуваний робочий час формувальної суміші. Час виконання інших етапів цієї процедури не повинний бути збільшене для компенсування цього невикористаного часу. Варто мати на увазі, що недостатнє використання робочого часу може відбитися в так званих "водяних мітках" або каналах, там де "вільна вода" просочилася крізь опоку. Ця вода притягається воском і залишає ці смужки, що потім відображаються при литті.

Для одержання найкращого результату необхідно змішувати вручну близько 30

секунд, використовуючи або лопатку для змішування або гумовий шпатель. Метод механічного змішування найкращим способом втілений у вакуумних міксерах (рис. 3).

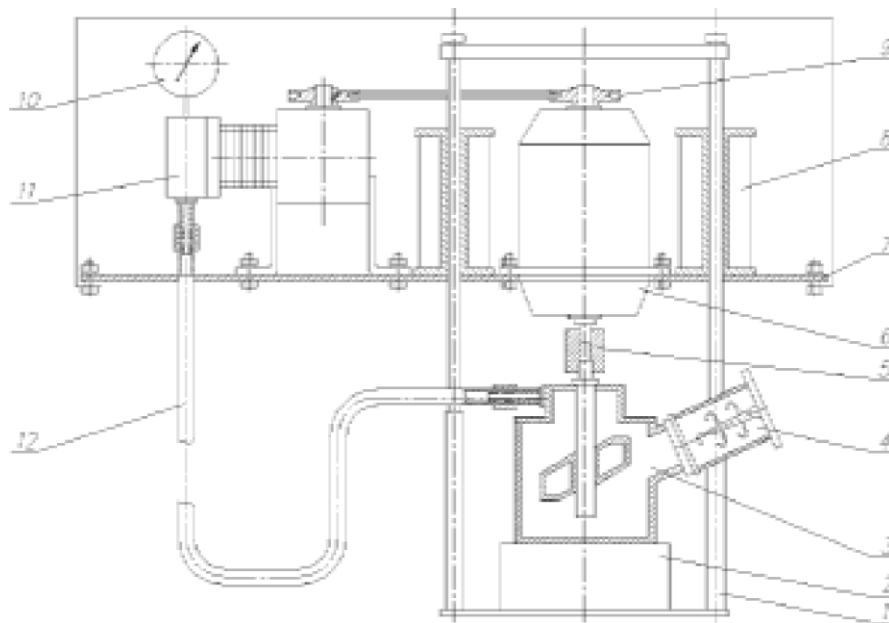


Рис. 3 Підвісний вібро-вакуумний змішувач

1 - траверсу, 2 - підставка, 3 - змішувач, 4 - ливарна форма, 5 - муфта, 6 - електродвигун, 7 - болти, 8 - вібратори, 9 - пасова передача, 10 - вакуумметр, 11 - вакуумний насос, 12 - шланг

Проблема дегазації та видалення надлишку повітря із суміші вирішується в цій установці видаленням газів з компонентів перед їхнім змішанням і обробкою їх під вакуумом. З погляду технології ці змішувачі є самим передовим устаткуванням для підготовки формувальної суміші, забезпечуючи:

- повну дегазацію формувальної суміші;
- зміна швидкості перемішування в залежності від типу формувальної суміші;
- внесення в пам'ять часу перемішування;
- точне дозування води завдяки наявності мірного бака;
- можливість вібрації формувальної суміші вже усередині опоки при контролі інтенсивності вібрації;
- значна економія часу, оскільки забезпечується можливість одночасного заповнення декількох опок;
- максимальне обмеження відходів формувальної суміші;
- автоматичний режим роботи змішувача дозволяє операторові одночасно виконувати інші операції (завдяки таймерові на змішувачі);
- висока якість відливків забезпечує значну економію часу і дорогоцінного металу на стадії фінішної обробки.

Змішування виконане та настала черга заливання в опоки. Заливання потрібно виконувати дуже акуратно, щоб суміш не лилася прямо на воскові моделі, оскільки це приведе до виділення повітря в опоці і може зламати або деформувати воскову ялинку. Формувальну суміш необхідно заливати уздовж стінки опоки. Це другий момент у процесі, коли розходження між густою і рідкою сумішшю виявляється важливим, оскільки, густа формувальної суміші, навіть правильно розлита, може зашкодити делікатні частини воскових моделей у міру того, як вона піднімається догори опоки.

Інше питання, що повинне бути вирішене, чи заповнювати опоку цілком або додержуватися іншої процедури, перед вакуумування, і при якій опока заповнюється

тільки до верха воскових моделей потім доливається після остаточного вакуумування. Теорія полягає тут у тім, що така техніка забезпечує кращий вихід повітря. Небезпека такої техніки полягає в тім, що оскільки долівка є тут останнім етапом, формувальна суміш може затвердіти, при цьому утвориться розшарування і руйнування формувальної суміші. Якщо опока заповнюється до кінця перед вакуумуванням, необхідно надягти на край опоки подовжувальне кільце, щоб суміш не перелилася при вакуумуванні. Звичайно таке кільце виготовляється з липкої стрічки 3...5 см ширини. Після того, як формувальна суміш застигне необхідно видалити кільце і надлишок формувальної суміші поверх опоки. У протилежному випадку, що виступає частина формувальної суміші може бути ослаблена при термічному розширенні, і викликати порушення лиття. Також, невелика вібрація під час наповнення опоки сприяє виходові повітря.

Заливання необхідно проводити при включеному вібраторі. Суспензія повинна плавно заливатися по стінках опоки, щоб уникнути поломки моделей. Після заповнення всіх опок на вібростіл установлюють циліндричний ковпак з оргскла (рис. 4) та підсилюють вібрацію. Створюється залишковий тиск 104 Па. Тривалість вібровакуумування складає 3...4 хв. При використанні великих опок (діаметр 160 мм, висота 200 мм) тривалість вакуумування на другому етапі необхідно збільшити до 4...6 хв. У процесі вакуумування бульки повітря, адсорбовані на поверхні воскових моделей, піднімаються нагору і віддаляються із суспензії.

Допускається періодично робити легкі удари по вібростолу або прозорому ковпаку. Якщо формувальна суміш сильно пузириться і переливається через край, необхідно відкрити і швидко закрити кран для повітря.

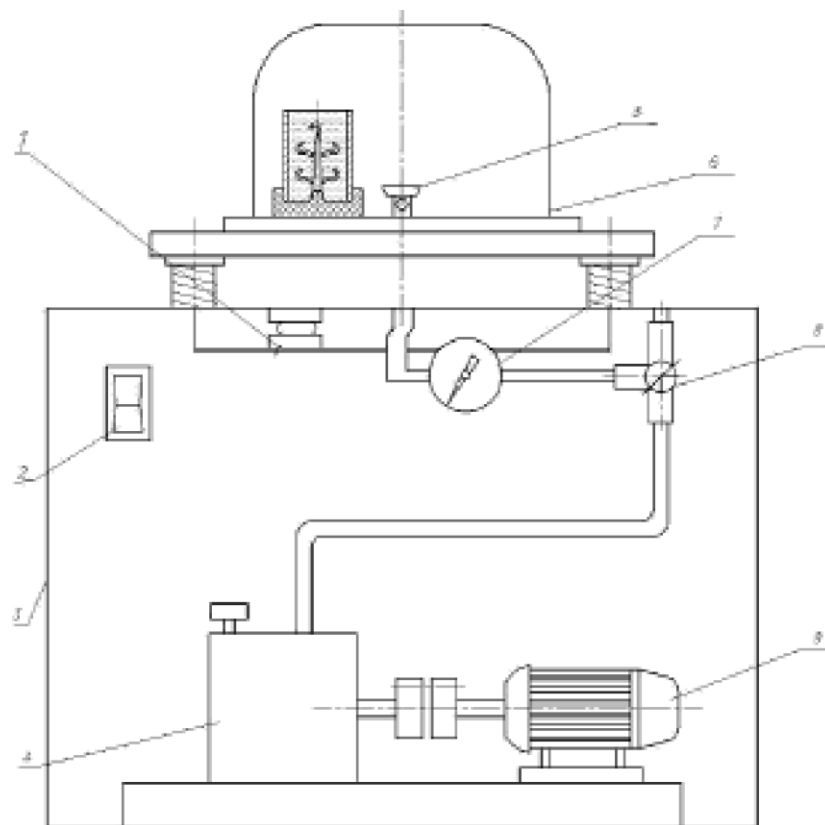


Рис. 4 Стационарна вакуумування формувальна установка  
1 - вібростіл, 2 - тумблер включення, 3 - корпус, 4 - вакуумний насос, 5 - патрубок вакуумної системи, 6 - прозорий ковпак, 7 - манометр, 8 - кран для повітря, 9 - електродвигун

Верхній ряд воскових моделей у блоці розташовується нижче краю металевої опоки на 10...15 мм. При заповненні опок суспензією необхідно наливати її трохи вище верхнього ряду воскових моделей. Після зняття ковпака остаточно заповнюють опоки суспензією при включеному вібраторі. Необхідно відзначити, що при формуванні великих опок, коли збільшується тривалість вакуумування в опоках, необхідно використовувати манжети для того, щоб потім не доливати суспензію в опоки. Манжети з поліетиленової плівки або гуми збільшують висоту опок і охороняють від переливу суспензії через край під час інтенсивного видалення пухирців повітря при вакуумуванні. По закінченні формування форми-моноліти повинні стояти на повітрі не менш 1 ч для опок діаметром 75 мм, висотою 1 10...140 мм і не менш 3 годин для опок великих розмірів. Поряд з описаним устаткуванням і технологією виготовлення ливарних форм-монолітів у даний час застосовують формувальні машини, у яких мішалка розташована над баком для опок, установлених на вібростіл по окружності (рис. 4). Замість у змішувачі порошку формувальної суміші з водою починається при тиску  $0,5 \cdot 10^6$  Па. Після ґрунтового перемішування 2,5...3 хв обертання мішалки сповільнюється, і відкриваються по черзі всі зливальні крани, за допомогою яких регулюється швидкість витікання приготовленої суспензії. Вібрація починається при наповненні опок наполовину і підсилюється при повному наповненні опок. Крани зливальних труб необхідно закрити. Вібровакуумування продовжується 2...3 хв і може бути збільшене для опок великих розмірів, щоб цілком видалити бульки повітря з поверхні воскових моделей.

Після формування в змішувач подають воду для його промивання, що зливають потім у спеціальну лійку, далі - у відстійник. Ємність змішувача дозволяє за один прийом замішати до 20 кг формувальної суміші.

Ці характеристики забезпечують одержання ретельне утрамбованої суміші, що дає відмінні результати на стадії випалу формувальної суміші, а, отже, що гарантує міцність і зовсім гладку поверхню виробів. Серед економічних перевал змішувача можна виділити економію часу обробки, обмеження відходів формувальної суміші та однорідність формувальної суміші, що перемішується.

Після змішування вручну суміш необхідно вакуумувати протягом приблизно 1 хвилини. При вакуумуванні відбувається збільшення обсягу суміші, що є функцією повітря, що виходить з формувальної суміші і технікою змішування. Звичайне вакуумне розширення - 2...4 см, на нього впливає ефективність вакуумного насоса, температура суміші і час змішування.

Більш ефективна вакуумна помпа швидше видаляє повітря, отже, дає збільшення обсягу при вакуумуванні. Більш висока температура суміші дає більше розширення при вакуумуванні, у той час як більш тривале змішування, схоже, зменшує розширення. Погані результати при вакуумуванні виходять при неякісній ізоляції усіх вузлів системи або якщо олія у вакуумному насосі міняється нерегулярно.

Після заповнення та повного вакуумування опоку необхідно залишити в спокої на 1...2 години для повного затвердіння. Протягом цього часу формувальна суміш здобуває свою остаточно механічну міцність, що не збільшується при термообробці в термічній печі.

При будь-яких методиках завжди існують визначені основи, дотримання яких забезпечує найкращі результати. Проблеми лиття насправді часто виникають у результаті порушення цих базисних правил. Виробникам варто зрідка оновлювати у своїй пам'яті основи використання формувальної суміші, оскільки погані звички дуже легко розвиваються.

Мета роботи - освоєння формоутворення ливарних форм-монолітів з рідких гіпсових сумішей

Устаткування, інструменти і матеріали: кульовий млин, вібраційний столик, вакуумний насос, опоки, підпочні плити, компоненти формувальної суміші, секундомір, мірної ємності.

### Хід роботи

1. Одержати компоненти формувальної суміші й інструменти
2. Зважити компоненти формувальної суміші
3. Приготувати суху формувальну суміш на кульовому млині
4. Відміряти необхідну кількість води і влити в гумову колбу
5. Зробити віброформування опок рідкою гіпсовою сумішшю
6. Запротоколювати параметри виготовлення ливарної форми-моноліту
7. Зробити висновки по роботі
8. Робота розрахована на 2 години

### Контрольні питання

1. Які основні компоненти гіпсових формувальних сумішей?
2. Чим визначається міцність форм-монолітів після твердіння?
3. Які вимоги до формувальних сумішей?
4. Які показники визначають якість формувальних сумішей?
5. Який механізм формоутворення гіпсових форм?
6. Які основні етапи готування формувальних сумішей?
7. Що визначає водомасове відношення?
8. У чому полягає вібро-вакуумна обробка ливарних форм-монолітів?
9. Які вимоги до формувального устаткування?
10. Які параметри якість формоутворення ливарних форм-монолітів?



## Лабораторна робота №4 Термообробка ливарних форм-монолітів

Після заповнення опоки сумішшю і витримки форм протягом 2...3 годин необхідно зчистити тонкий верхній шар суміші для видалення глянцю, що може утворитися і перешкоджати подальшому видаленню вологи під час першої стадії видалення воску. Цей крок дуже важливий, тому що неправильне або погане здирання може привести до розриву або розтріскування поверхні ливарної форми-моноліту. Затверділа форма може бути залишена у вологій атмосфері до початку циклу випалу. Однак якщо форма пересихала, то вона повинна бути зволожена перед приміщенням її в муфельну піч, тому що суха форма може тріснути при випалі. Може використовуватися переривчастий температурний цикл по видаленню воску, або безперервний процес загалом у циклі випалу форми.

Для остаточного затвердіння суміші необхідно не менш 1 години витримки для опок діаметром до 75мм і висотою до 140 мм. При збільшенні діаметра вдвічі - час витримки підвищують до 3 годин. Тільки після такої витримки можна встановлювати ливарні форми в сушильні шафи для видалення воску. Звичайно це виробляється при температурах 100...150°C. Форма, установлюється вниз ливниковою чашею і, у міру розплавлення воску, він випливає з ливарної форми і збирається на дні сушильної шафи. По системі спеціальних патрубків його збирають у ємність для фільтрації та подальшого використання. Усі шафи, призначені для видалення воску, постачені системою для автоматичної підтримки температури. Так само регламентується час видалення воску - від одного до декількох годин. Порушення режиму випалювання воску різко знижує його реологічні характеристики. Для збереження реологічних властивостей модельних складів сушильні шафи вакуумують. У процесі видалення воску до 50% залишається в порах стінок ливарної форми-моноліту. Спроби застосовувати пара для видалення воску приводить до погіршення його властивостей і втрати міцності гіпсової форми, часто спостерігається зниження якості поверхні форми та відливки. Погіршення реологічних характеристик модельного складу викликано його омиленням. Зараз часто використовується сполучений метод витоплювання воску та термообробці ливарних форм.

Процес високотемпературної обробки призначений для видалення органічного складових, створення визначеної міцності ливарної форми, необхідної при примусовому заливанні розплавленим металом, нагрівання ливарної форми до температури, достатньої для заповнення її робочої порожнини. Термообробку ливарних форм роблять в електричних печах, постачених програмним керуванням, що забезпечує автоматичне регулювання режиму термообробці форми в залежності від використовуваної формувальної суміші та розмірів ливарної форми.

При нормальному циклі випалу опоки не повинні стосуватися один одного стінками. Невеликі по розмірі опоки можна встановлювати в холодну піч і піднімати температуру усередині печі та усередині опоки одночасно, відповідно до графіка циклу випалу. Якщо використовувався окремий цикл по видаленню воску з форм, то опоки встановлюють у вже розігріту до 150°C піч і подальша термообробка починається після двох годин витримки при 150°C. Великі по розмірі опоки повинні витримуватися в розігрітій до 150°C печі протягом двох годин, подальше збільшення температури необхідно проводити відповідно до циклу випалу.

Після видалення воску й установки ливарної форми в холодну термічну піч, починають нагрівання її зі швидкістю, що залежить від потужності печі, до температури 230...250°C для кристобалітових сумішей. При цій температурі роблять витримку від 3 до 6 годин у залежності від габаритів ливарної форми. Тимчасова витримка необхідна для повного видалення кристалізаційної вологи двогідрата гіпсу, поліморфних перетворень кристобаліта. Подальше нагрівання ведуть зі швидкістю 100°C на годину до температури 730...760°C, при якій виробляється витримка з метою видалення органічних складових. 3

метою прискорення видалення органічних складових створюється окисна атмосфера печі за рахунок інтенсивної витяжної вентиляції. Тривалість витримки складає не менш 5 годин при цій температурі, а потім роблять зниження температури форми до 500...550°C, тобто температури, при якій буде заливатися рідким металом ливарна форма. В даний час починає практикуватися метод заливання форм при визначеній температурі для кожного сплаву. Весь температурний інтервал термообробки форми займає від 16 до 22 годин і залежить від типу сплаву, що заливається.

Режим термообробки кварцових сумішей трохи відрізняється. На початку нагрівають до температури 300°C і витримують. При цій температурі проходить повна дегідратація гіпсу. Подальше нагрівання зі швидкістю 100°C в годину ведуть до температури 580...590°C з тимчасовою витримкою не менш 5 годин. Нагрівання роблять східчасто в 2...3 прийому - у залежності від типу формувальної суміші до 750...800°C з періодичними витримками протягом 1 часу при температурі 300...480°C і витримкою 1.5...3 годин при температурі 750...800°C. Охолодження опоки виробляється зі швидкістю 10°C/хв до температури заливання.

Температуру опоки для заливання металу розраховують у залежності від застосовуваного ливарного сплаву по формулі:

$$T_{\text{опоки}} = \frac{1}{2} T_{\text{плавлення сплаву}} + 50^{\circ}\text{C} \quad (1)$$

У ювелірній промисловості термообробка йде в електричних печах із програмним керуванням. Тут забезпечується автоматичне регулювання режиму термообробки в залежності від використовуваної формової суміші і розмірів ливарної форми. Графік термообробки кристоболітових гіпсових сумішей типу "Суперкаст", "Керр - 90". Нагрівання до  $T^{\circ} = 230...250^{\circ}\text{C}$  форм-монолітів з цих сумішей йде з максимальною швидкістю нагрівання, забезпечуваною потужністю муфельної печі. При цій температурі приймається витримка 4...5 годин для проходження усадочних процесів, зв'язаних з дегідратацією гіпсу і розширенням кристоболіта в зв'язку модифікаційними перетвореннями. Подальше нагрівання до  $T^{\circ} = 730...760^{\circ}\text{C}$ . При цій температурі приймається основна витримка форм до повного вигорання залишків модельного складу. Час термообробки залежить від розмірів ливарних форм  $\Phi 75...150\text{мм}$ , висотою до 200 мм - перша крива;  $\Phi 160...200\text{мм}$ ,  $h = 200...250\text{мм}$  - друга крива. Після термообробки температура печі знижується до 500...550°C. При цій температурі передбачається заливання дорогіших металів. З метою кращого вигорання газотворюючих складових у печі створюють окисну атмосферу шляхом використання витяжної вентиляції. Заданий режим термообробки дозволяє уникнути тріщин у стінках форми і зберегти високі якості поверхні форми, що забезпечує високу чистоту поверхні без оплоя.

На рис. 5 представлений графік (розгорнення) прожарювання опок середніх розмірів для формувальної суміші STONECAST.

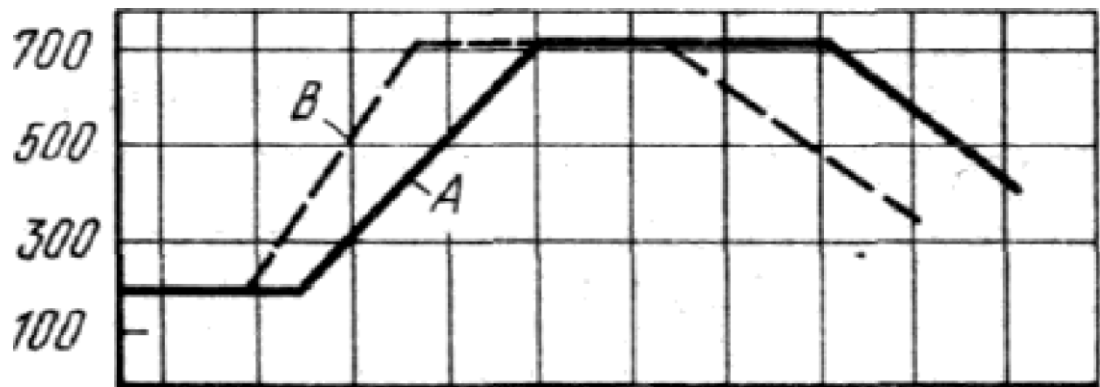


Рис. 5 Режим прожарювання опок діаметром 100 мм і висотою 150 мм (А), діаметром 75 мм і висотою 100 мм (В)

Варто розміщати ливарні форми-моноліти в печах ливниковим отвором нагору для полегшення видалення газів. Також проводити термічний процес нагрівання форм у строгій відповідності з указівками виготовлювача формувальних сумішей.

Досить показовим тестом ступеня готовності форм при термічній обробці є колір покриття, розташованого в безпосередній близькості від відливків, що виготовляються. Сірий колір покриття означає, що термообробка не довершена, а гази, що беруть участь у реакції, не цілком прореагували. При такій підготовці форм-монолітів у відливках можуть спостерігатися мікропори і нерівномірність заповнення металом. У цьому випадку необхідно перевірити чи відповідає температура термообробки значенню, рекомендованому виготовлювачем суміші, і збільшити час витримки при максимальній температурі. Необхідно використовувати досить великі електропечі для того, щоб форми розміщалися в них не дуже близько до стінок печі та друг до друга. Тут необхідно внести одне уточнення, що відноситься до показуваного пірометром або термопарою температурі і реальній температурі у формах-монолітах, оскільки вогнетривкі матеріали повільніше нагріваються і повільніше остигають. Тому необхідно зафіксувати параметри нагрівання, що стосується часу ливарних форм-монолітів у залежності від їх розмірів.

Для відпрацювання режимів нагрівання варто установити термопари усередині форм різних розмірів і порівнювати температуру у формі з температурою в печі. Фіксуюча різниця звичайно велика, і тільки через визначений час температура у формі й у печі вирівнювалися. Тому термообробка форм-монолітів являє собою важливу і тривалу операцію та вимагає застосування автоматичної системи регулювання, що включаючи в себе електронний програмувальний регулятор, за допомогою якого задаються наступні параметри:

- момент включення печі;
- усю температурну шкалу до максимальної температури термообробки;
- стабілізацію температури в печі та її зниження до температури заливання.

Температура форми в момент заливання безпосередньо залежить від геометрії виробів і від властивостей сплаву, що заливається. Наприклад, якщо використовується золотий сплав 585°, а вироби тонкі, температура повинна складати 650°C, для деталей трохи великих розмірах вона повинна складати 570°C, а для великих виробів 550°C.

Представлено таблицю 2 приблизних значень температури форми в момент заливання металу в залежності від властивостей сплаву, що заливається.

Таблиця 2 Оптимальні температури форм для заливання різних сплавів

№	Сплав, проба	Колір	Інтервал кристалізації, Т °С	Температура форми, Т °С
1	Au999°	Жовтий	1063	650
2	Au 375°	Жовтий	910-1040	650
3	Au 585°	Жовтий	880-1000	650
4	Au 750°	Жовтий	930-1040	650
5	Au 375°	Білий	950-1080	480
6	Au 585°	Білий	1000-1250	480
7	Au 750°	Білий	950-1140	480
8	Ag999°	Білий	964	650
9	Ag875°	Білий	930-1040	650
10	Pt999°	Білий	1773	1000
11	Бронза	Жовтий	980-1230	650
12	Латунь	Жовтий	990-1120	650

Зазначені в таблиці значення температури в ливарній формі в момент розливання металу застосовні до виробів середник розмірів, таким як кільця, елементи браслетів, шпильки і т.д.

Для виробів, що мають меншу товщину, таких як маленькі ланки ланцюжків, тонкі пластини і т.д. доцільно збільшити зазначені значення приблизно на 30 °С, а для виробів великих розмірів зменшити приблизно на 30°С. Варто мати на увазі, що всі приведені дані є приблизними, а оптимальні значення можуть бути отримані тільки експериментальними шляхом, після чого їх необхідно занести в технологічну карту ювелірного лиття.

Термообробка ливарних форм роблять в електричних нагрівальних печах (рис. 6), постачених програмним керуванням, що забезпечує автоматичне регулювання режиму термообробки форми в залежності від використовуваної формувальної суміші та розмірів ливарної форми.

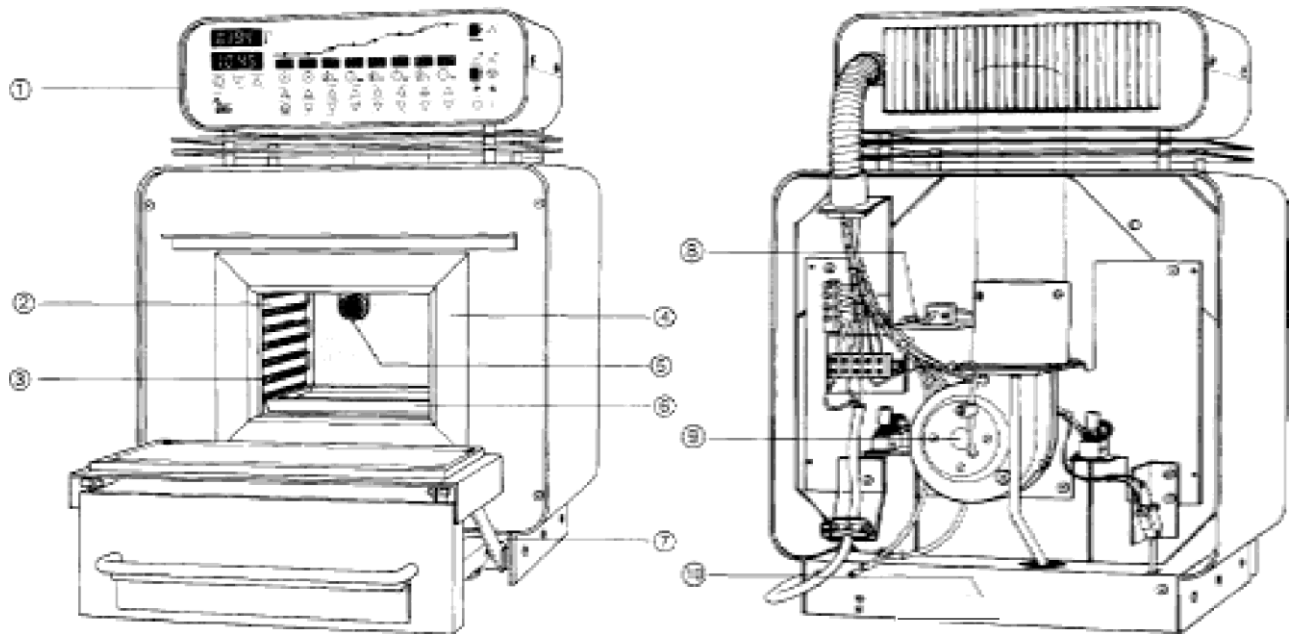


Рис. 6 Термічна піч із програмним керуванням

1 - програматор, 2 - футерівка, 3 - нагрівачі, 4 - камера печі, 5 - витяжний отвір, 6 - піддон, 7 - механізм відкриття дверцят, 8 - термопара, 9 - вентилятор, 10 - запобіжник

Нагрівальна камера печі і блок керування розміщені на загальному каркасі. Режим нагрівання печі здійснюється за допомогою автоматичного електронно-програмного регулятора. Швидкість нагрівання й ізотермічних витримок задаються реле часу і температурних датчиків. Муфельна піч забезпечує плавне нагрівання з заданою швидкістю, дотримуючи ізотермічних витримок у температурному інтервалі від кімнатної до 800°C. Для кращого вигорання залишків модельного складу необхідне створення в печі окисної атмосфери, що досягається за рахунок використання витяжної вентиляції. Видалення газів, що утворюються, утримуючих у собі сірчистий ангідрид і окисли сірки, усуває надалі забруднення дорогоцінного металу, що приводить до значного погіршення його металургійних та фізичних властивостей. Максимальна температура в печі 1000°C, погрішність регулювання температури на ділянках витримки складає +15°C. У камері печі розташування нагрівачів - секційне.

Мета роботи - освоєння формоутворення ливарних форм-монолітів із рідких гіпсових сумішей

Устаткування, інструменти і матеріали: сушильна шафа, термічна пекти, опоки, потенціометри, кліщі, секундомір

#### Хід роботи

1. Виплавити віск з ливарної форми в сушильній шафі
2. Перенести форми в термічну піч
3. Задати тривалість і параметри термообробки
4. Провести термообробку ливарної форми
5. Запротоколювати параметри термообробки ливарної форми-моноліту
6. Зробити висновки по роботі Робота розрахована на 2 години

#### Контрольні питання

1. Які особливості видалення воску з форм?

2. Що впливає на якість виплавленого воску?
3. Як установлюють параметри термообробки ливарних форм-монолітів?
4. Чим визначається графік термообробки ливарних форм?
5. Від чого залежить кінцева температура нагрівання ливарних форм?

## Лабораторна робота №5 *Формоутворення виливків під впливом примусового тиску*

Оскільки необхідно одержати ажурний тонкостінний відливок, потрібно прикласти надлишковий тиск до розплаву, щоб він краще заповнив порожнину ливарної форми. Найчастіше застосовують відцентрові та вакуумні усмоктування установки. Примусове заповнення ливарних форм при відцентровому способі відбувається під дією відцентрових сил обертової установки. До достоїнств відцентрового способу лиття варто віднести прискорене заповнення форми рідким металом, достатню для одержання якісних відливків. Відцентрові плавильні — заливальні установки бувають з горизонтальною і вертикальною віссю обертання. Частіше плавлення ведеться в печах із графітовими тиглями та відцентровим заливанням металу у ливарну форму. Плавлення шляхетних металів ведеться невеликими порціями 50...5000 грам. Після розплавлювання металу, доведення температури до заданої включається привід установки та виробляється заливання. Для безпеки заливання весь привід - у захисному кожусі - тому заливання виробляється тільки після закривання дверцят кожуха. Контроль температури в плавильних печах йде убудованими платиновими термометрами, а при індукційному нагріванні — оптичними пірометрами. Сучасні заливальні установки постачені пристроями для вакуумування ливарних форм перед заливанням, що поліпшує заповнення порожнини металом і зменшує дефекти відливків по газовій пористості. Звичайне розкислення і рафінування розплаву не проводиться.

Для плавки використовують чисті вхідні компоненти, а також відходи власного виробництва після очищення та підсушування при 120...150°C. Для ретельного запобігання компонентів сплаву від повітря плавку ведуть під шаром флюсу: деревне вугілля, борна кислота, бура. Спочатку на дно тигля насипають тонкий шар флюсу товщиною 4...5 мм і нагрівають до температури 850...900°C. Після розплавлювання флюсу під нього вводять чисті компоненти. Для золотих сплавів - Au. Після плавлення основного металу вносять відходи власного виробництва, а також лігатури: Ag-Cu для Au сплавів, Cu - для Ag сплавів. При введенні Cu температура розплаву різко знижується і потрібний нагрівання до більш високої температури - для срібних сплавів - 980°C, для золотих 583° — 1000... 1100°C, 750° - 1150...1180°C. Після повного розплавлювання сплаву вводять 0,1% фосфористої міді для розкислення. При плавці металів у печах опору виробляється механічне перемішування металу, а при індукційному нагріванні - досить вихрових потоків. Плавка білих золотих сплавів відрізняється від кольорових Au-Ag сплавів. Це викликано тим, що в сплаві є Ni, що активно взаємодіє з вуглецем. Тому плавку сплавів Zl - M - H - Ц ведуть у корундових тиглях під тими ж флюсами. Після розплавлювання Au, Cu і відходів вводять лігатуру Cu - Ni - Zn. Розкислення не роблять, тому що є Zn. Температура заливання 1200... 1300°C. В усіх випадках після повного розплавлювання металу, перед заливанням з його поверхні знімають шлак. Платинові сплави плавлять тільки у високочастотних установках.

У ювелірному виробництві застосовується кілька типів електричних печей. Вибір конструкції печі залежить від обсягу виробництва, тобто від кількості металу, що переробляється. Відцентровим установкам, поряд із простотою конструкції й ефективності заливання тонкостінних відливків, властивий ряд недоліків: турбулентний плин розплаву при наповненні порожнини форми, посилений окислювання рідкого металу та строго фіксована кількість розплаву. Також складність приводу відцентрових установок, відведення охолодної води до індуктора, змусили розробити установки на основі принципу вакуумного усмоктування. Тут немає обертових частин, але необхідна наявність вакуумного насоса і ресивера для створення розрядження в порожнині ливарної форми. Сутність способу вакуумного усмоктування полягає у видаленні (викачуванні) повітря з ливарної форми під час заливання: тиск у формі знижується до 0,75...2,25 Па, створюючи, штучний надлишковий тиск рідкого металу на стінки ливарної форми. Спосіб

вакуумного усмоктування дозволяє одержувати відливка з меншим змістом домішок, але в порівнянні з відцентровим способом пред'являються значно більш високі вимоги до ливарних властивостей використовуваних сплавів. Установа вакуумного усмоктування укладена в корпусі 8 (рис.7).

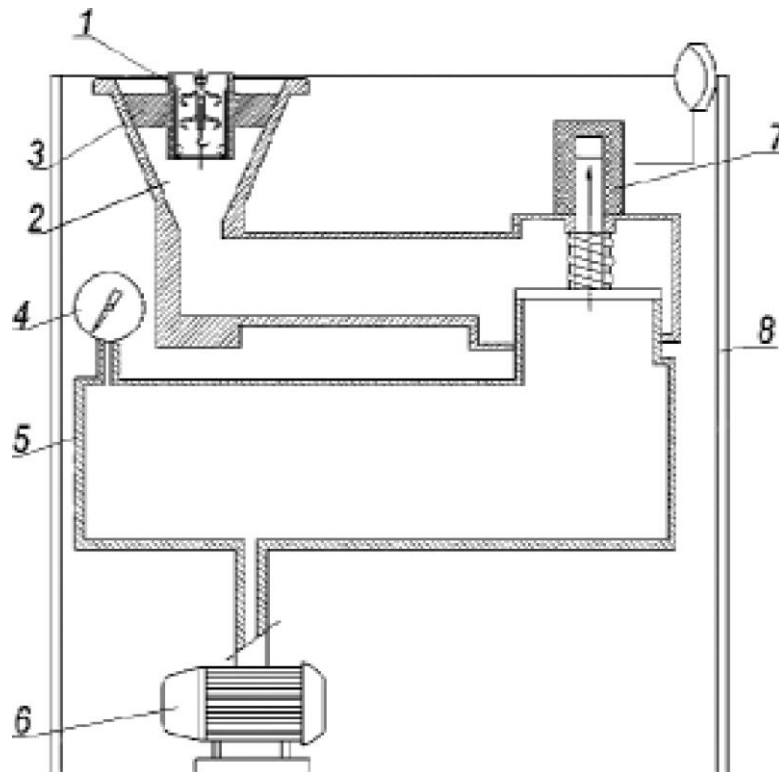


Рис.5.1.Установа вакуумного усмоктування

1 - ливарна форма, 2 - робоча камера, 3 - фланець, 4 - манометр, 5 - ресивер, 6 - вакуумний насос, 7 - вакуумний затвор, 8 - корпус

У ньому розміщені: робоча камера 2 із фланцем 3, манометр 4, ресивер 5, форвакуумний насос 6, пульт керування. Для з'єднання робочої камери з ресивером мається вакуумний затвор 7 з рукояткою. Установа працює в такий спосіб: за допомогою насоса в ресивері створюється вакуум, потім нагріта форма і устанавлюється на фланець робочої камери. Плавлення металу виробляється в плавильній печі або безпосередньо в ливниковій чаші ливарної форми 1. Після заповнення ливникової чаші розплавом створюється розрідження при з'єднанні ресивера 5 з робочою камерою 2. З цього моменту тиск на стінки опоки значно зменшується проти атмосферного, роблячи вплив на поверхню залитого металу. Це і змушує метал з високою швидкістю заповнювати ливарну форму.

Заповнення порожнини ливарної форми розплавом відбувається зі швидкістю 10 м/с. Плавлення металу відкритим полум'ям або перенос тигля на визначену відстань погіршує якість розплаву, а кінцевому підсумку, і готового відливка.

Мета роботи - ознайомлення з формоутворенням виливків під впливом примусового тиску

Устаткування, інструменти і матеріали: відцентрова і вакуумна заливальні установки, газова і бензинова горілки, шихтові матеріали, ливарні форми, камерна піч, набір шліфувального паперу, установка для полірування шліфів, набір інструментів для плавки, заливки і виготовлення шліфів, спецодяг



#### Хід роботи

1. Прокалити форми до температури заливки
2. Підготувати устаткування до плавки металу і заливці ливарних форм-монолітів
3. Встановити форми на заливальну установку і зробити плавлення металу
4. Залити форми й остудити до кімнатної температури
5. Вибити форми, очистити відливки і вирізати шліфи
6. Зробити порівняльний аналіз макрошлифів
7. Робота розрахована на 2 години

#### Контрольні питання

1. У чому особливості заливки форм на установках вакуумного усмоктування?
2. Що впливає на вибір типу плавильно-заливальної установки?
3. Які параметри визначають заповнення порожнини ливарної форми?
4. Від яких параметрів лиття залежить щільність виливків?
5. Які методи захисту поверхні розплаву від окислювання при плавці відкритим полум'ям?
6. Від чого залежить переріз ливникових каналів?

## Лабораторна робота №6 Очищення і термообробка виливків

Залиті ливарні форми-моноліти знімають із плавильні - заливальні установки та установлюють униз ливниковою чашею для охолодження. Проохолоджують до температури 300...400°C, а з метою остаточного охолодження та вибивки форми, їх поміщають під проточну воду. Різкий термоудар руйнує гіпсову форму, а залишки її несуться водою. Однак охолодження водою приводить до збагачення поверхні відливків високопробним дорогоцінним металом. Цей шар при механічній обробці знімається, і загальна проба знижується. Тому в даний час обов'язкове застосовується охолодження ливарної форми до кімнатної температури, і тільки після цього опускають у проточну воду. Після вибивки залитих форм у проточній воді, відливка вимагає додаткового очищення. Блоки відливків очищають від залишків кремнеземно-гіпсового матеріалу протягом 40...50 хвилин у 20...40% водному розчині плавикової кислоти або методом ультразвукового очищення в продовження 1,5...2 годин. Очищення можна робити також піскоструминним методом. Відливка, утримуючи руками, вводять у камеру - металевий циліндр, куди під тиском подається повітряна суміш з дуже дрібними, як піщини, частками латуні. Спостереження за процесом очищення ведеться візуально через скло у верхній частині камери.

На поверхні відливків після такого очищення залишається невеликий шар пригару, залишки цих окислів і флюсів видаляють відбілюванням. Відбілювання виробляється в розчинах кислот. Концентрація, температура і склад залежать від виду сплаву. Відбілювання виробляється в розчинах мінеральних кислот: сірчаної, соляної, азотної. Для золотих сплавів найчастіше застосовують 10...15% водний розчин азотної кислоти, температура нагрівання якого 70...80°C. Час відбілювання 1...5 хвилин. Для срібних сплавів часто використовують 5...15% водному розчині сірчаної кислоти при 40...70°C. Чим вище температура розчину, тим менше час для відбілювання виробу: звичайно від 2...20 хвилин. Відбілювання звичайне проводять у кисло стійкій посудові - скляної, порцелянової, титанової. Нагрівання обов'язково ведуть у витяжних шафах. Витаскування виробу з травильних розчинів можна робити тільки мідними пінцетами. Після відбілювання виріб необхідно ретельно промити струменем проточної води та просушити при 100...120°C. Також неприпустимо в процесі відбілювання влучення металу не вхідного до складу виробу.

Термообробка відливків виробляється для запобігання утворення тріщин та оптимізації міцності властивостей. Факторами, якими визначається результат термообробки, є: температура нагрівання, швидкість нагрівання, тривалість термообробки, швидкість охолодження. Усі види термообробки виробляються в термічних печах. У випадках індивідуального виробництва для нагрівання під відпал і загартування використовують бензинові пальники. Термічна обробка металів - це зміна структури та властивостей шляхом теплового впливу. У результаті нагрівання до даних температур, витримки при цих температурах і швидкості охолодження в металах відбувається зміна кристалічної структури, що сприяє зміні властивостей. Для дорогоцінних металів у процесі виготовлення ювелірних виробів використовують тільки один вид термічної обробки - відпал. Відпал виробляється з метою з'якшення металу. Метал при відпалі приходить у більш стійкий стан, усувається неоднорідність хімічного складу, викликана швидким охолодженням при виливку, знімаються напруги, отримані в результаті деформації. Відпалу піддаються злитки, напівфабрикати та деталі виробів у процесі виготовлення ювелірних виробів. Відпал заготівель проводять у визначеному режимі для кожного сплаву. Золоті сплави без змісту платинових металів і нікелю відпалюються при температурі 650...700°C з витримкою від 5 до 15 хв (у залежності від маси) і різким охолодженням. Золоті сплави зі змістом нікелю та металів платинової групи відпалюються при температурі 700...750°C з витримкою в залежності від маси від 10 до 20 хвилин і постійним охолодженням при кімнатній температурі або виключеній

печі до повного остигання. Відпал при температурі 700...750°C знімає внутрішні напруження в золотих сплавах. За допомогою загартування одержують більш низьку міцність, що дозволяє легше обробляти сплави. Сплави срібла відпалюються при температурі 600... 650°C з витримкою до 10 хв у залежності від маси та різким охолодженням. Відпал у муфельних печах забезпечує необхідний режим нагрівання, але відбувається окислювання поверхні сплавів, яких необхідно видаляти шляхом відбілювання (травлення). Процес відбілювання веде до часткової втрати лігатури і, таким чином, загальної маси дорогоцінних металів. Щоб уникнути додаткових втрат і підвищити продуктивність відпала, на спеціалізованих підприємствах установлені печі безокисного відпала. Така піч являє собою установку конвеєрного типу з камерами нагрівання й охолодження. Конвеєрна стрічка з заготівлями для відпала рухається усередині тунелю зі швидкістю від 0,1 до 0,7 м/хв. Захисною атмосферою служить дисоційований аміак, температура нагрівання в камері до 950°C. Контрольно-регульовальною апаратурою встановлюється програма для відповідного сплаву. Камера охолодження забезпечує зниження температури до необхідного значення. Такі конвеєрні печі крім відпала використовують і для пайки виробів у відбудовному середовищі. У майстерень, не обладнаних спеціальними безокисними печами, безокисний відпал можна робити за допомогою деревного вугілля. Золоті сплави (крім утримуючий нікель і метали платинової групи) у виді злитків, рулонів дроту поміщають у короб з нержавіючої сталі на шар березового вугілля та засипають вугіллям до заповнення короба. Шматки вугілля повинні бути величиною 10...20 мм (з лісовий горіх) і добре просушені. Короб щільно накривають кришкою і поміщають у нагріту до заданої температури муфельну піч. Заготівлі витримують від 5 до 15 хв у залежності від маси та виймають, прохолоджуючи у воді, після чого заготівлі витягають з короба та просушують. Відпал деталей у процесі монтування може вироблятися відкритим полум'ям газополум'яного пальника на вогнетривкій підкладці. Обов'язковою умовою такого відпала є рівномірне нагрівання до приблизно потрібної температури без витримки з природним охолодженням. При необхідності збереження поверхні від окислювання деталі або виріб змочують у розчині борної кислоти або суміші бури з борною кислотою з наступним відбілюванням.

Наступна пайка та різке охолодження також знижують міцність. Тому готові вироби піддають високотемпературній відпустці або штучному старінню. Для срібних сплавів відпустка виробляється при температурі 200...250°C, а для золотих при 350...400°C.

Для додаткової обробки залитих і паяних виробів з дорогоцінних металів і сплавів міді в даний час використовується переважно старий, що добре зарекомендував себе травильний розчин сірчаної кислоти. Форма і розмір ємностей для виконання операції травлення різні. При використанні травильного розчину тільки в холодному стані його можна розмістити в ємностях зі звичайного скла, порцеляни, глазурованого фаянсу, кераміки, пластмаси або навіть у скляному акваріумі. При самостійному готуванні травильного розчину можна використовувати ємності з порцеляни, термостійкого скла або срібла високої чистоти. При застосуванні теплого травильного розчину більш інших придатна чаша з термостійкого скла, що для підігріву ставлять на електроплитку у витяжній шафі. Самою універсальною ємністю є травильний пристрій з підігрівом. Воно може використовуватися як при роботі із сірчанам, так і із соляним травильним розчинами, а також з іншими готовими травильними препаратами. Температура травильного розчину в цьому пристрої підтримується в межах 50...65°C, а споживана потужність складає приблизно 110 Вт. Покладені в сито дрібні деталі занурюються в травильний розчин, а після травлення їх можна вийняти із сита. Пристрій ємністю 3,5 л має зовнішній діаметр рівний 200 мм. Готування травильного розчину полягає в наповненні ємності водою, а потім тонким струменем у неї наливають невелика кількість сірчаної кислоти. Для готування гарячого травильного розчину досить лише 5% розчину сірчаної кислоти, а для готування холодного травильного розчину досить 10% кислоти,

тобто приблизно 1 частини сірчаної кислоти та 10 частин води.

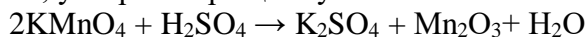
Гарячий виріб, перш ніж опустити його в травильний розчин, спочатку прохолоджують на повітрі або у воді: усі можливі раковини заповнюються водою, і травильний розчин уже не може проникнути в них. У порожніх тілах перед приміщенням їх у травильний розчин варто закрити просвердлене в них отвір. Як правило, кожен виріб залишають у травильному розчині на такий час, який необхідно. Ні в якому разі не можна занурювати в травильний розчин гарячий виріб: травильний розчин заповнить усі раковини та мікроскопічні тріщини і пори. Особливо в литих деталях і в порожніх виробках, наприклад, кульках для серг або дутих кілець із просвердленими в них маленькими отворами. Залишки травильного розчину після закінчення травлення неможливо буде видалити навіть ретельним промиванням виробів, а оскільки сірчана кислота є гігроскопічною, те досить лише звичайної вологості повітря, щоб знову відновилася хімічна активність цих залишків, наслідком стануть ушкодження шкіри, корозія металу, навіть утворення на ньому синьо-зелених нальотів сульфату міді.

При звичайній концентрації розчину кількість сірчаної кислоти, що утримується в ньому, не особливо шкідливо для здоров'я людини. Але не слід занурювати пальці в травильний розчин, особливо при наявності відкритих раней. У випадку ж улучення кислоти на шкіру дію її можна нейтралізувати за допомогою розчину соди або нашатирного спирту. Для виїмки виробів з холодного травильного розчину треба користуватися пластмасовим пінцетом, а з гарячого - латунним. Дрібні деталі занурюють у травильний розчин за допомогою спеціальної латунної ложки з отворами. Ні в якому разі не можна опускати в травильний розчин сталевий інструмент, тому що при цьому відразу ж на поверхню виробу почне осаджуватися мідь. При контакті із сірчаною кислотою органічні речовини згорають, що на практиці означає: при розбризкуванні травильного розчину і влученні його на одяг тканина робиться непридатною.

Чисте срібло навіть при нагріванні зберігає свій колір. Сплав срібла і міді, навпаки, при прожарюванні та пайці чорніє. Виникає це, тому що мідь, що утримується в ньому, при високій температурі реагує на поверхні з киснем повітря й утворить чорний окис міді. Під впливом травлення срібний сплав знову здобуває свій нормальний вид. При відбілюванні всі часточки міді повинні бути по можливості розчинені на поверхні сплаву, щоб зовнішній шар складався майже тільки зі срібла і відповідним чином виявляв себе. У травильному розчині віддаляються залишки флюсу, чорний окис міді (II)  $\text{CuO}$  перетвориться в сульфат міді та розчиняється, мідь і червоний закис міді (I)  $\text{Cu}_2\text{O}$  не кородує. Основна реакція:  $\text{CuO} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{CuSO}_4 + \text{H}_2\text{O}$

Для відбілювання чорного нагару та значного підвищення змісту срібла на поверхні срібних сплавів використовують травильний 10% розчин сірчаної кислоти в гарячому виді. Завдяки високій концентрації та нагріванню активність розчину підвищується настільки, що поряд з чорним окисом міді  $\text{CuO}$  можуть виділитися і металеві часточки міді. Причому якщо мається червоний закис міді  $\text{Cu}_2\text{O}$ , те вона може розчинитися, тобто  $\text{CuO} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{CuSO}_4 + \text{H}_2\text{O} + \text{Cu}$

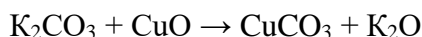
Але, незважаючи на це, кристали зони внутрішнього окислювання, що утворилися під впливом дифузії кисню при прожарюванні, не розчиняються. У результаті відновлення червоного закису міді на поверхні срібного сплаву може залишитися тонкий наліт міді, що не розчиняється навіть у гарячому травильному розчині. Для його видалення прийдеться застосувати такий прийом: виріб на короткий час занурюється в азотну кислоту і металева мідь у ній швидко розчиняється. Не можна залишати виріб у кислоті занадто довго — можливе розчинення срібла. При повторному прожарюванні шар міді може злегка окислитися, а потім злегка протравиться. Перед кожним уживанням травильного розчину в нього необхідно додавати кілька зерняток перманганату калію  $\text{KMnO}_4$ , що вступаю в реакцію із сірчаною кислотою, утворити при цьому  $\text{Mn}_2\text{O}_4$ :



Ангідрид марганцевої кислоти, представляючи собою хитливе з'єднання, під

впливом розщеплення кисню знову розпадається, унаслідок чого стає можливим миттєве окислювання осаду, що випав у травильному розчині, міді.

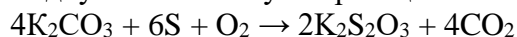
У більшості випадків однократної обробки недостатньо, щоб одержати білу поверхню, і якщо вона ще здається жовтуватою, то цикл «прожарювання — відбілювання - корцювання» повторюють стільки разів, скільки необхідно для досягнення бажаного ефекту. Виробу ж, що повинні мати рівномірну матово-білу поверхню, приходиться іноді обробляти до чотирьох разів, що може привести до глибокого окислювання. У таких випадках рекомендується скоротити процес обробки за рахунок того, що перед другим травленням виріб покривають кашкою з води та карбонату калію  $K_2CO_3$  (поташі). Після того, як це покриття висохне, виріб прожарюють, при цьому поташ перетворює окис міді в легко розчинні карбонати:



З часом травильний розчин сірчаної кислоти, природно, витрачається, частина води випаровується, спочатку безбарвна рідина за рахунок збагачення сульфатом міді ставати синьо-зеленою й активність травильного розчину знижується. Коли ж розчин стає яскраво синьо-зеленим, його потрібно обновити. Не завжди виріб переносить обробку в гарячому травильному розчині, тому варто згадати про розчині, застосовуваному в холодному виді: 100 м гідросульфату калію  $KHSO_4$  розчиняють у 1 л води. Окиси розчиняються в процесі наступної реакції:



У деяких випадках корисно використовувати старий рецепт, а саме кип'ятіння срібних виробів у розчині, що складається з 30 г кислого виннокислого калію, 60 г повареної солі та 1 л води. Шляхом почорніння срібла в поглибленнях виробу та полірування, опуклих його частин можна домогтися більшої виразності зовнішнього вигляду прикраси. Сірчану печінку, що саме і є «класичним» препаратом для почорніння срібла, ювелір може приготувати сам досить простим способом. У спеціальній ложці для розплавлювання срібла змішують 1 частину карбонату калію  $K_2CO_3$  і 1 частину сублімованої сірки S. Потім розплавляють їх над полум'ям пальника до стану густої коричневої кашки, після чого ложку опускають у судину з водою - розчин готовий до вживання. При плавленні маси відбувається наступна реакція:



Оскільки сульфід калію легко приєднує сірку, що є з'єднанням, що має ланцюгову структуру, утворюються полісульфіди калію:  $K_2S + 3S \rightarrow K_2S_4$ , тобто сірчана печінка являє собою суміш різних полісульфідів калію з тіосульфатом калію.

Сірчана печінка має один серйозний недолік: як готовий препарат нею можна користуватися тільки протягом досить обмеженого часу, тому що при контакті з киснем сульфідні розпадаються і вся маса стає непридатною до вживання:  $K_2S + 2O_2 \rightarrow K_2SO_4$

Сірчану печінку, що купується в спеціалізованих магазинах, необхідно зберігати в герметичному упакуванні. Якщо ж суміш наготовлюють самостійно, то її потрібно заготовлювати рівно стільки, скільки буде потрібно для використання в самий найближчий час. Розчин застосовується в злегка підігрітому стані: виріб знежирюють і, утримуючи пінцетом, опускають у розчин - через кілька секунд на його поверхні утвориться наліт із сульфідів срібла та міді, рівномірно офарблюючи його в матово-чорний колір. При необхідності, для посилення тону, виріб знову занурюють у розчин. Якщо ж на деяких ділянках поверхні виробу не відбувається ніякої реакції, то в більшості випадків це порозумівається недостатнім знежиренням виробу.

Готовий виріб промивають під струменем холодної води, а потім висушують у холодних обпилюваннях: гаряча вода і теплі обпилювання могли б привести до появи плям або до ще більшого потемніння виробу.

Якщо сульфідна поверхня очищається латунною щіткою, то наліт здобуває синьо-чорний блиск. (Зрозуміло, що цю щітку можна використовувати тільки для цієї мети!) Однак найчастіше не вся поверхня виробу повинна залишатися чорною, наприклад, у

рельєфних карбованих виробих узвишся повинні бути прояснені, тобто звільнені від шару сульфїду, - тоді їхній злегка протирають дрібним пемзовим порошком або віденським вапном. При цьому в кожному конкретному випадку в якості «інструмента» для нанесення засобу, що шліфує, використовують або просто кінчики пальців, або лягну серветку, пробку або спеціальну дерев'яну паличку.

Деякі вироби не можна занурювати в розчин сірчаної печінки через те, що почорніють і такі ділянки їхньої поверхні, що уже неможливо буде довести потім до блиску. У таких випадках підігрітий розчин сірчаної печінки обережно наносять пензликом на необхідні ділянки поверхні виробу, а щоб розчин діяв більш ефективно, покрите їм виріб укладають на підігріту підставку.

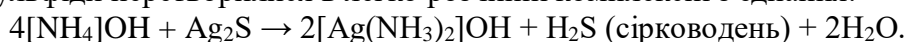
Відбілювання є найбільше широко використовуваним процесом для відновлення природного блиску потьмянілих срібних виробів. Однак їм не можна користуватися для обробки тих з них, що прикрашені чуттєвими до впливу тепла оздоблювальними матеріалами — дорогоцінними каменями, перлами, коралами, емаллю, слоновою кісткою, деревом, пластмасою і т.п.

До механічних способів відносяться операції, зв'язані зі зняттям верхнього шару: обпилювання, шабрування, шліфування, коли знімається не тільки чорний наліт, але й у значній мірі зачіпається шар металу, що знаходиться під ним, а тому помітно руйнується та змінюється зовнішній вигляд оброблюваної поверхні.

До хімічних способів відноситься метод занурення, коли вироби, на коротке або більш тривале (у залежності від товщини та щільності нальоту) час поміщають у спеціальні розчини. Вони знову стають бездоганно блискучими - після занурення в такий розчин виріб необхідно промити під струменем холодної - ні в якому разі не теплої - води. Недолік цього способу в тім, що вилучений з виробу темний наліт незабаром з'являється знову і виріб знову тьмяніє. Для чищення срібних виробів існують і готові препарати, наприклад, спеціальні пасти, що чистять, та інші засоби, за допомогою яких можна видаляти з виробів особливо щільні нальоти.

Найбільше ж простим засобом очищення срібних виробів є розчин повареної солі: І чайну ложку повареної солі та 1 чайну ложку гідрокарбонату натрію (бікарбонату натрію)  $\text{NaHCO}_3$ , поміщають в алюмінієву каструлю та заливають водою - 0,25 л. Покриті нальотом вироби поміщають у розчин таким чином, щоб вони обов'язково стосувалися стінок каструлі - розчин солі, діючи як електроліт, очищає вироби від чорного нальоту. Тривалість перебування виробів у розчині — 3...5 хвилин, після чого їх промивають чистою водою, а потім протирають м'якою серветкою. Вплив розчину на вироби буде більш інтенсивним, якщо їх при цьому обернути алюмінієвим дротом.

Суміш з гідроокису амонію та відмученої крейди (віденського вапна) вважається ефективним засобом, що чистить. Шматочком тканини або щіткою цю суміш у кашкоподібному виді наносять на потьмянілу поверхню виробів, якийсь час витримують, щоб сульфїди перетворилися в легко розчинні комплексні з'єднання:



Засохлу кашку потім просто відтирають тканиною або очищують щіткою - дуже ефективно сполучення хімічної та механічної обробки виробів. Однак у зв'язку з тим, що крейда має зернисту структуру, після його застосування на поверхні металу залишаються подряпини, що особливо небажано при чищенні полірованих виробів, тому такий метод очищення можна рекомендувати в даний час тільки в крайньому випадку.

Розчин тіосульфату натрію призначений для обробки полірованих, сильно потьмянілих срібних виробів. Тіосульфат натрію  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ . наносять на поверхню виробу, дають йому якийсь час подіяти, а після цього протирають виріб м'якою замшею. Потьмянілий виріб, попередньо покладене в цинкове сито, можна прокип'ятити й у насиченому розчині бури. Дуже ефективним засобом для очищення срібла є ціанід калію KCN: розчин з концентрацією KCN приблизно 100 г/л заливають у ванну, потім додають небагато повареної солі, злегка підігрівають, а після цього занурюють у нього вироби на

срібних або латунних підвісках: сульфіді при цьому перетворюються в легко розчинні комплексні з'єднання.

Травлення та кип'ятіння для додання жовтого кольору золотим сплавам включає кілька етапів. Починають із прожарювання. Оскільки золото і срібло навіть при нагріванні не вступають у реакцію з киснем повітря, то при прожарюванні звичайного трикомпонентного сплаву окисляється тільки мідь. А обоє дорогоцінних металу залишаються при цьому незмінними. Тому після прожарювання та пайки золоті вироби стають зовсім несприятливого жовто-коричневого або навіть чорного кольору в залежності від змісту в них міді й інтенсивності теплової обробки. Крім того, на їхній поверхні залишаються ще пофарбовані під впливом хімічної реакції залишки припою. У процесі травлення травляться тільки часточки окису міді, а золотаво-зелений шар зберігається. І навпаки, при кип'ятінні для додання жовтого кольору розчиняються і часточки срібла, так що в залежності від складу трикомпонентного сплаву і вибору ефективно діючого розчину можна домогтися властивому цьому сплаву кольору або зміни кольору поверхні виробу. При наступному фарбуванні можуть виділятися в розчині навіть ті ласточки золота, що утримуються в самому сплаві, а потім знову осаджуються на поверхні виробу, забезпечуючи одержання тонкого шару чистого золота.

Хоча кип'ятіння для додання жовтого кольору та фарбування сплавів із золота витиснуті сучасними гальванічними способами, усе-таки їх варто розглянути. Звичайно ювелір для травлення поміщає відпалені або припаяні золоті вироби в травильний розчин з розведеної сірчаної кислоти: у 5% - гарячий або в 10%. Тому що в цьому випадку розчиняються тільки частки окису міді, на поверхні трикомпонентного сплаву залишається шар зі срібла та золота з відповідно зниженим змістом міді. А тому протравлений в розчині виріб має непривабливий зовнішній вигляд - його поверхня, у залежності від кількості срібла, що утримується в ньому, виглядає від матово-зеленої до сіркою. Корисність же подібного травлення полягає лише в тім, що твердий, утримуючий окис міді плівка нагару перетворюється в більш м'який, легко розчинний шар зеленого золота. Цей шар при наступній обробці поверхні виробу повинний бути вилучений, але бажано не шліфуванням та поліруванням, а шляхом зняття, наприклад, нагару або верхнього шару золота електролітичним способом. При цьому одночасно відбувається рівномірне відшаровування зеленого нальоту та згладжування поверхні виробу, після чого вже набагато простіше остаточно пополірувати виріб.

Кип'ятіння золота для додання жовтий колір проводять у такий спосіб: Вироби повинні бути попередньо добре знежирені. Потім, якщо це можливо, їх прожарюють при не дуже високій температурі або, якщо прожарювання неможливе, обробити протягом приблизно 10 хвилин у гарячому розчині їдкою натру. Процес кип'ятіння золотих виробів для додання їм жовтого кольору схожий із процесом кип'ятіння виробів зі срібла для додання їм білого кольору, але забезпечує одержання набагато більш широкої колірної гами. Причому колір, що здобувається виробами, залежить від складу і температури розчину, а також тривалості його впливу на них. Бажано в тому самому розчині обробляти завжди тільки вироби зі сплавів одного складу - не тільки по пробі, але і по лігатурних домішках.

Розчин розведеної сірчаної кислоти (1 частина кислоти плюс 1 частина води) використовується нагрітим до температури 80°C. У ньому окисли міді та металева мідь розчиняються швидко і без залишку, срібло при цьому не піддається ніякому впливові. Недоліки цього хімічного методу обробки: чистий сплав Au-Cu (червоне або червове золото) здобуває зеленуватий колір; трикомпонентні сплави Au-Ag-Cu, як правило, теж одержують зеленувате фарбування, інтенсивність якого залежить від пропорції змісту в сплаві добавок і тривалості впливу розчину (поверхня червонуватого трикомпонентного сплаву, що має високий зміст міді, може виявитися блідо-жовтою).

Розчин розведеної азотної кислоти (1 частина кислоти плюс 1 частина води) застосовується, як і розчин сірчаної кислоти, теж у підігрітому стані, причому в цьому

розчині може стравитися і срібло. Але оскільки окис міді труїться швидше і легше, тем кількість срібла та відтінок, що здобувається при цьому виробом, кольору залежать від тривалості впливу розчину. Як правило, сплави Au-Cu здобувають свій природний колір (при тривалому впливі розчину вони можуть стати жовтіше). Те ж саме відбувається з трикомпонентними сплавами Au-Ag-Cu, причому колір, що здобувається ними, у більшій мері залежить від кількісного співвідношення компонентів. Сплави Au-Ag унаслідок виділення Ag можуть стати блідо-золотавими.

Обробкою в чистій соляній кислоті або розведеній царській горілці поверхні виробів, особливо зі сплавів з великим змістом чистого золота, можна, звичайно, одержати насичений жовтий колір, однак цей спосіб має той недолік, що поверхня виробів при цьому виходить плямистої. Сильно на гартованому виробу також не слід обробляти соляною кислотою, оскільки вона сприяє появі корозійного розтріскування - відпаленим виробам вона не наносить ніякої шкоди.

У той час як при травленні та кип'ятінні поверхня виробів знову повинна придбати нормальний колір, при фарбуванні прагнуть одержати на поверхні осад чистого золота, причому досягається при цьому золотий тон - більш теплий та інтенсивний, чим одержуваний гальванічним золоченням, що особливо помітно при матовому фарбуванні.

Як правило, сплави з високим змістом чистого золота офарблюються краще, ніж з низьким. У виробках з Au333° їхня поверхня, унаслідок високого змісту міді в сплаві, стає чорною. А червоне золото офарблюється краще, ніж біле.

Барвний розчин, причому щораз заново, наготовляють з 2 частин концентрованої соляної кислоти, 1 частини азотної кислоти, 2 частин повареної солі та 40 частин води. Поварену сіль варто додавати тільки в тому випадку, якщо в сплаві утримується срібло, і з тією метою, щоб срібло, що виділилося в процесі реакції, випало в осад, а не осіло на поверхні виробу. Розчин, що офарблює, діє дуже інтенсивно, а тому виріб варто занурювати в нього лише на короткий час і постійно перевіряти результат.

Як забарвлюючий розчин добре зарекомендувала себе суміш з 115 г хлориду натрію NaCl, 230 г нітрату калію KNO<sub>3</sub>, 150 мл води та 170 мл соляної кислоти HCl. Хлорид натрію та нітрат калію змішують, розтирають у ступці, потім розбавляють водою. При постійному розмішуванні цю суміш нагрівають до кипіння, а потім, продовжуючи безупинно помішувати, у неї додають соляну кислоту, після чого кип'ятять протягом 1 хвилини. Фарбування готових виробів виробляється в такий спосіб: їх ретельно шліфують, промивають. Для одержання рівномірної (без плям) по кольорі, поверхні виробу, підвішені на тонкому дроті, нагрівають, а потім занурюють у киплячий розчин, що офарблює, і, злегка розгойдуючи дріт, витримують них у ньому приблизно 3 хвилини. Вплив цього розчину полягає в тім, що в процесі реакції, також як і при обробці, царською горілкою, утвориться нітрозилхлорид і виділяється вільний хлор:



У результаті чого і стає можливим розчинення золота. Хлорид срібла, що утвориться в процесі цієї реакції, осаджується під впливом хлориду натрію і вже не може перешкодити подальшій реакції. При достатній насиченні розчину хлористо-золотою кислотою H[AuCl<sub>4</sub>] починається, подібно золоченню, обмін між іонами шляхетного золота і міді.

Мета роботи - вивчення процесів очищення відливок та їх термообробки

Устаткування, інструменти і матеріали: Установка для очищення відливок, газова горілка, хімічні реактиви, ливарні форми, камерна піч, набір термостійкого посуду, потенціометр, набір інструментів для очищення, термообробки виливків, спецодяг

#### Хід роботи

1. Вибити форми, відрізати ливникову систему і помістити відливки в установку для очищення.
2. Зробити очищення відливок протягом заданого часу.



3. Відпал відливки й відбілити, промити і просушити.
  4. Провести штучне старіння виливків.
  5. Зробити порівняльний аналіз даних по твердості виливків.
- Робота розрахована на 2 години.

#### Контрольні питання

1. Які методи очищення ювелірних відливків?
2. Чому не можна використовувати сталевий інструмент для виїмки відливків із травильного розчину?
3. Чому не можна перегрівати травильний розчин?
4. Яка послідовність термообробки ювелірних виробів?
5. Яка тривалість штучного старіння ювелірних виробів?