

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний університет “Запорізька політехніка”

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

до виконання лабораторних робіт з дисципліни  
“Технологія спеціальних методів лиття”  
для студентів спеціальності 136 “Металургія”  
усіх форм навчання

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни “Технологія спеціальних методів лиття” для студентів спеціальності 136 “Металургія” усіх форм навчання/ Укл.: О.С. Сергієнко, О.В. Алексеєнко. – Запоріжжя: НУ “Запорізька політехніка”, 2020. – 37 с.

Укладачі: О. С. Сергієнко, канд.техн.наук, доцент;  
О.В. Алексеєнко, старший викладач;

Рецензент: О.Ф. Кузовов, канд. техн наук, доцент

Відповідальний  
за випуск: В.Г. Іванов, докт.техн.наук, доцент

Затверджено на засіданні кафедри  
“Машини і технологія ливарного  
виробництва”  
Протокол №1  
від “18” серпня 2020 р.

Рекомендованно до видання НМК  
Інженерно-фізичного факультету  
Протокол №1  
від “08” вересня 2020 р.

**ЗМІСТ**

Вступ	4
Лабораторна робота №1. Лиття в кокіль	5
Лабораторна робота №2. Одержання злиwkів безперервним (напівбезперервним) литтям	13
Лабораторна робота №3. Одержання вилиwkів відцентровим литтям	22
Лабораторна робота №4. Лиття за витоплюваними моделями	28

## ВСТУП

На сьогодні близько 80 % усього литва, як в нашій країні, так і за кордоном отримують у разових піщано-глинистих формах /ПГФ/. Однак точність розмірів, якість поверхні та структури відливків, великі припуски на механічну обробку не завжди відповідають поставленим вимогам.

До того ж, не дивлячись на універсальність і відносну дешевизну, цей спосіб лиття пов'язаний з великими вантажопотоками матеріалів та високою трудомісткістю технологічного процесу. Тому швидкими темпами розвиваються спеціальні способи виготовлення відливків: лиття в кокіль, під тиском, за витоплюваними моделями, в оболонкові форми, відцентрове лиття та інші.

При литті у ПГФ 15-25 % маси відливків перетворюється на стружку під час механічної обробки, на що витрачається значна кількість електричної енергії. Перехід до спеціальних способів лиття дало можливість зменшити припуски на механічну обробку і кількість стружки до 5-7 %. Економічність підвищується зі збільшенням партії відливків, тобто з переходом від серійного виробництва до масового.

Перевага спеціальних способів лиття полягає не тільки в зниженні об'єму механічної обробки, але й зменшенні маси ливникової системи та різкому скороченні витрат формувальних матеріалів. Технологічний процес виготовлення відливків цими способами легко піддається механізації і автоматизації, що підвищує продуктивність праці, покращує якість відливків, знижує їх собівартість.

Кожний із спеціальних способів лиття має свої особливості, які визначають області його використання та економічну ефективність виробництва. Однак, розробляючи технологію виготовлення відливка, ливарник повинен вирішувати загальну задачу теології: забезпечити виробництво відливків заданої кількості і потрібної якості за мінімальних витрат праці, матеріалів, енергії і мінімальному шкідливому впливу на навколишнє середовище. У відповідності з цим він і вибирає або створює при необхідності «спеціальний» - спосіб виготовлення відливка.

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1

### ЛИТТЯ В КОКІЛЬ

#### 1.1 Загальні відомості

Лиття в кокиль - це процес отримання відливоків вільним (під дією сил земного тяжіння) заливанням розплавленого металу в металічні форми /кокілі/ багаторазового використання.

Лиття в кокиль є одним з прогресивних способів отримання відливоків з чавуну, сталі і кольорових металів масою від декількох грамів до десятків тонн. Найбільш технологічні алюмінієві, магнієві і мідні сплави, менш - залізвуглецеві сплави і особливо сталь. Це пояснюється тим, що з підвищенням температури плавлення, яка використовується для лиття сплаву зменшується стійкість кокилю. Крім того, високі швидкості охолодження розплаву і затверділого відливка призводять до виникнення в ньому підвищених напружень, а в чавунному відливку, крім цього, можливий поверхневий або наскрізний відбіл по перерізу стінки.

У порівнянні з литтям у піщано-глинисті форми лиття в кокиль має ряд технічних та технологічних переваг:

- багаторазове використання форм;
- підвищення точності розмірів відливоків, зменшення шорсткості поверхні (можна досягти  $R_z$  80-20 мкм), що дозволяє знизити припуски на механічну обробку в 2-3 рази, а інколи і зовсім їх усунути;
- збільшення виходу придатного литва;
- підвищення щільності відливоків, покращення їх структури і підвищення механічних властивостей металу на 15-30%;
- скорочення витрат, а в деяких випадках повне вилучення формувальних і стержньових сумішей;
- вилучення трудомістких операцій формування, збирання і вибивання форм;
- наявність можливості комплексної механізації і автоматизації технологічного процесу, що призводить до зростання продуктивності праці і зниженню трудомісткості в 3-4 рази;
- збільшення зйому з  $1\text{ м}^2$  виробничої площі в 2-4 рази і зниження собівартості відливоків;

- зменшення браку відливок;
- скорочення циклу виготовлення відливок;
- поліпшення умов праці.

Разом з тим виготовлення відливок в кокілях має й свої складності та недоліки:

- висока вартість ливарних форм; складність і тривалість їх виготовлення;
- невіддатлива, газонепроникна форма викликає появу у відливках ливарних дефектів (жолоблення, тріщин, газової пористості);
- зниження рідкотекучості сплавів, що призводить до ускладнення процесу отримання тонкостінних, великої протяжності відливок;
- трудність одержання відливок з заглибленнями в порожнинах, для виконання яких доводиться застосовувати стрижні і вставки;
- низька стійкість при литті чавунних і сталевих відливок внаслідок високої температури заливання розплаву;
- утворення поверхневого відбілу на чавунних відливках, звідси необхідність додаткової операції - відпалу.

Технологічний процес отримання відливка в кокілі складається з наступних операцій, які виконують в певній послідовності.

1 Підготовка кокілю, включаючи очищення, нагрівання, та несення на робочі поверхні облицювання та фарби.

2 Складання кокілю, включаючи встановлення стрижнів, закриття і скріплення частин кокілю.

3 Заливання форми рідким металом.

4 Витримка впродовж певного часу для затвердіння рідкого металу і охолодження відливка до необхідної температури.

5 Розкріплення, розкриття, кокілю за допомогою механізмів або вручну, вилучення відливок з кокілю.

6 Обрубання, очищення і, при необхідності, термічна обробка відливок.

7 Час від початку заливання кокілю до вилучення відливка і тривалість підготовки кокілю до чергового заливання складає тривалість одного циклу. Як правило, оптимальну температуру кокілю підтримують зміненням тривалості циклу.

8 Конструкції кокілів надзвичайно різноманітні, вони можуть бути нероз'ємними (витушеними) і роз'ємними (рис. 1.1).

Нероз'ємні кокілі застосовують для отримання невеликих відливок простої конфігурації, які можна вилучати без розкриття форми.

Більш складні і великі відливки отримують в роз'ємних кокілях, вони складаються з двох або більше частин з ветрикальною, горизонтальною або похилою (складною) поверхнями роз'єму. Порожнини у відливках оформлюють піщаними, оболонковими або металевими стрижнями. Піщані стержні застосовують переважно для отримання чавунних і сталених відливок, металічні - для відливок з кольорових сплавів (алюмінієвих, магнезіїв).

Металічні стрижні підривають до виймання його з кокілю, після того, як утвориться достатньо міцна кірка твердого металу. Для того, щоб можна було видалити ускладнений (фасонний) металічний стрижень, його роблять складним із декількох частин, наприклад, центровий стрижень 5 поршня (рис. 1.2) складається з трьох частин. До кінця твердіння відливка спочатку вилучають середню частину такого стержня /клин/, потім його бокові частини, після чого вилучають стержні 2 і 3, розкривають кокіль і виймають відлинок 6.

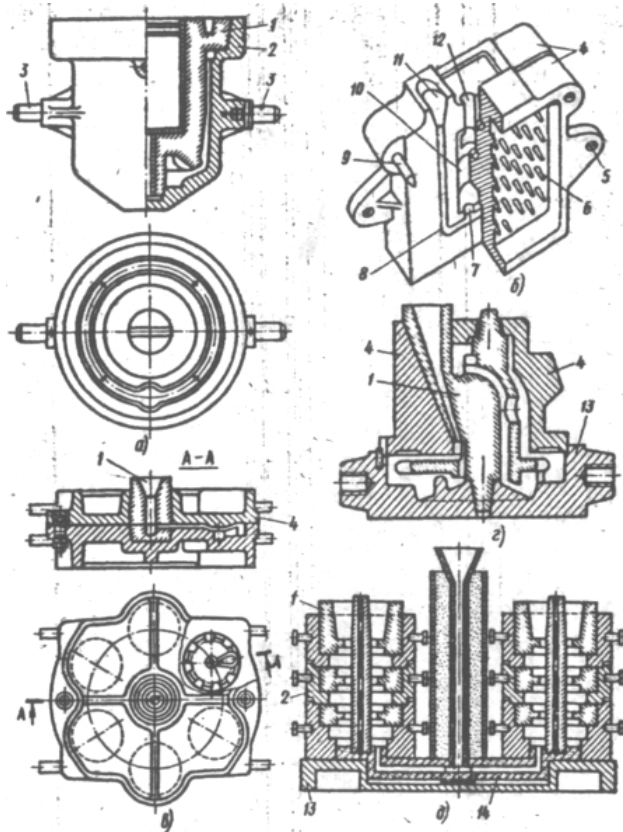
Відлинок витягують з кокілю ще гарячим при температурі, рівній 0,6-0,8 температури солідуса сплаву, і охолоджують на повітрі або в спеціальних камерах.

Кокіль найчастіше виготовляють з чавуну і сталі, у деяких випадках із кольорових металів і сплавів. Кокіль скоріш за піщану форму відводить теплоту перегріву і кристалізації сплаву. Інтенсивність твердіння відливка, а також його окремих частин регулюють температурою нагрівання кокілю і товщиною теплоізоляційної фарби.

Інтенсивність теплообміну між відливком і кокілем в 3-10 разів більша, ніж при литті у разові ПГФ, що сприяє одержанню більш дрібнозернистої структури металу відливок і підвищенню їх механічних властивостей; в той же час висока швидкість охолодження може призвести до нерівномірних по перерізу стінки відливка властивостям, а в чавунних відливках - до відбілу. Разом з тим, розплав, який швидко охолоджується, знижує свою рідкотекучість, що утруднює одержання тонкостінних, складних відливок. Тому перед заливанням кокіль повинен бути нагрітим до певної оптимальної температури 100-400°C /в залежності від виду сплаву, конфігурації і товщини стінки відливка, матеріалу кокілю/. Так, для алюмінієвих сплавів при товщині стінки відливка 1,6-2,1 мм температура нагрівання форми складає 400-420°C, при товщині стінки до 8 мм - 250-300°C, більш за 8 мм - 200-210°C.

Застосовують різні способи нагрівання металевих форм: зали-

ванням металу в форму, розміщенням гарячої заготовки між половинками форми, електричним та полум'яними нагрівачами.



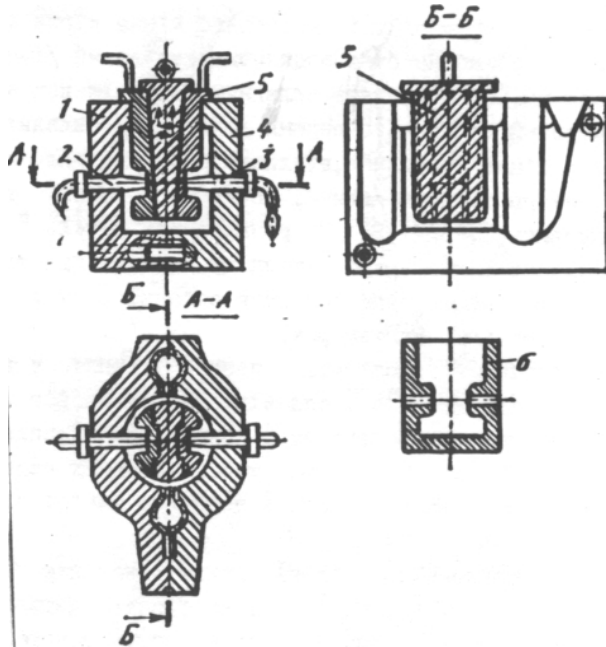
а) нероз'ємний витрушний; б) з вертикальною площиною роз'єму; в) з горизонтальною площиною роз'єму; г) з комбінованою площиною роз'єму; д) стопочний.

1 – стрижень; 2 – кокілю; 3 - поворотні цапфи; 4 - половинка кокілю; 5 - вушки для кріплення частини кокілю до плити машини;

6 - охолоджуючі кокілю пальці; 7 – живильник; 8 - ливниковий хід; 9 - штир; 10 - порожнина кокілю; 11 – лійка; 12 – випор; 13 – піддон; 14 - піщана засипка.

Рисунок 1.1—Деякі різновиди кокілів





1 і 4 - половинки кокілю; 2 і 3 - бокові стрижні;  
5 - центровий складний стрижень; 6 - відливок.

Рисунок 1.2 – Роз'ємний кокіль з металевими стрижнями

Вогнетривкі покриття /облицювання і фарби/ наносять на робочі поверхні кокілю для збільшення термічного опору тепловому потоку від залитого металу до форми і підвищення стійкості останньої, регулювання швидкості охолодження відливка і поліпшення вилучення відливка з форми, поліпшення якості поверхні відливка.

Вогнетривкі покриття мають значно меншу теплопровідність, ніж матеріал кокілю /у 200 разів менша, ніж у сталі і у 700 разів менша, ніж у алюмінію/. За цієї причини покриття кокілю утворює значний термічний опір на межі "рідкий метал - кокіль", що зменшує перепад температур в стінці кокілю. Таким чином, змінюючи теплопровідність і товщину шару покриття, можна регулювати швидкість відведення тепла і умови формування відливка, що дуже важливо при виготовленні чавунних відливків.

Склад облицювань і фарб залежить від типу металу, який заливається в кокіль, а товщина - від заданої швидкості охолодження відливок: чим товщий шар вогнетривкого покриття, тим повільніше охолоджуються відливки. Так, на стінки кокілю, які оформлюють ливникові канали і додатки, наносять більш товстий шар /до 1 мм/, щоб зменшити інтенсивність охолодження розплаву. Для відливок з алюмінієвого сплаву фарба складається з оксиду цинку /9% за масою/, меленої крейди /5%/, рідкого скла /3%/, води /87%/. Для відновлення шару фарби після вибивання відливка кокіль підфарбовують фарбою, яка складається з 15% /за масою меленої крейди, 3% рідкого скла і 82% води. Фарби для запобігання пригару і поліпшення якості поверхні відливок наносять пульверизатором або щіткою перед кожним заливанням.

Перед нанесенням фарб кокіль нагрівають газовими пальниками або електричними нагрівачами до 150-180°C.

Кокілі повинні мати елементи штучного, водяного, повітряного або змішаного охолодження.

Кокілі звичайно заповнюють через розширювальні ливникові системи, які розраховують так само, як і для піщано-глинистих форм /ПГФ/. Однак, внаслідок швидкого охолодження розплаву в кокілі переріз елементів ливникової системи приймають більшим на 25-30%, ніж для тих же відливок в ПГФ. Довжина ливникових каналів повинна бути можливо меншою і в них не допускаються гострі кути, повороти або різкі зміни перерізів, тобто теплові і гідравлічні втрати під час руху металу в ливниковій системі повинні бути мінімальними.

Для зменшення швидкості заповнення розплавом порожнини кованих твердіння відливка, а також для лиття кольорових сплавів застосовують ливникові системи з похилим і змійовидним стояком, щілинним або колекторним живильником та ін.

Кокіль практично газонепроникний, але й газотворність його мінімальна і визначається в основному складом вогнетривких покриттів. Для вилучення повітря і газів з порожнини кокілю під час заливання передбачають випори, вентиляційні канали по поверхні роз'єму глибиною 0,2-0,5 мм або спеціальні вентиляційні пробки і венти. Ці елементи, як правило, розміщують у верхній порожнині кокілю, а також в ізольованих місцях /тупикових порожнинах/, звідки розплавом повинен бути витиснутий газ.

Слід відзначити, що найбільш повно з мінімальним протитиском

видаляються гази крізь канали відкритих додатків і випорів.

### **1.2 Обладнання, інструмент та матеріали**

Кокіль, індукційна піч для плавки алюмінієвого сплаву, заливний ківш, переносний гальванометр з хромель-алюмелевою термопарою, набір інструменту для плавки, електронагрівач /або газовий пальник/ для підігрівання кокілю, шихтові матеріали для виготовлення сплаву заданого складу, фарба для кокілю, спецодяг.

### **1.3 Порядок виконання роботи**

Робота розрахована на 6 години.

Ретельно ознайомитись з будовою кокілю. Особливу увагу звернути на механізм рознімання кокілю, конструкцію ливникової системи, устрій вентиляційних каналів.

Зробити контрольне збирання і розбирання кокілю з метою встановлення правильності і надійності взаємодії його частин.

Підігріти кокіль електронагрівачем або газовим пальником до температури 120-130°C; пофарбувати робочу поверхню кокілю і металічні стержні, а також стінки кокілю, які оформлюють ливникові канали.

Розплавити в індукційній печі сплав заданого хімічного складу (АКІ2) і довести його температуру до 750°C.

Нагріти кокіль до робочої температури 250-300°C.

Зібрати нагрітий кокіль і залити металом.

Підірвати металічні стрижні.

Вийняти відливок з форми, дотримуючи необхідну послідовність операцій по видаленню стрижнів з відливка. Особливу увагу звернути на своєчасне вилучення металічних стрижнів.

Оцінити якість відливка. Визначити необхідність додаткового фарбування або очищення окремих робочих поверхонь кокілю.

Оглянути отриманий відливок і оцінити його якість.

### **1.4 Зміст звіту**

Загальні відомості про лиття в кокіль.

Ескіз і опис конструкторії кокілю.

Особливості ливникової системи для заданого відливка.

Характеристика вибраних умов лиття.

Характеристика дефектів відливків і рекомендації по їх усуненню.

## 1.5 Контрольні запитання

- 1 В чому сутність способу лиття у кокіль?
- 2 Переваги і недоліки лиття у кокіль?
- 3 Як температура підігрівання кокілю і залитого в нього металу впливають на структуру і властивості відливків?
- 4 Який вплив справляв склад і товщина теплоізоляційного покриття кокілю на структуру і якість виготовлених відливків?
- 5 З яких міркувань металічну форму підігрівають перед заливанням?
- 6 Які технологічні прийоми зменшують утруднену усадку відливка при литті у кокіль?
- 7 Чим регулюють спрямованість твердіння відливка в металевих формах?
- 8 Назвіть основні елементи ливникової системи, їх особливості і призначення.
- 9 Які дефекти характерні для відливків виготовлених у кокіль?
- 10 Навіщо і до якої температури підігрівають кокіль перед нанесенням водяної фарби?
- 11 Як здійснюється вентиляція кокілю в процесі заливання його розплавом?

## 1.6 Рекомендована література

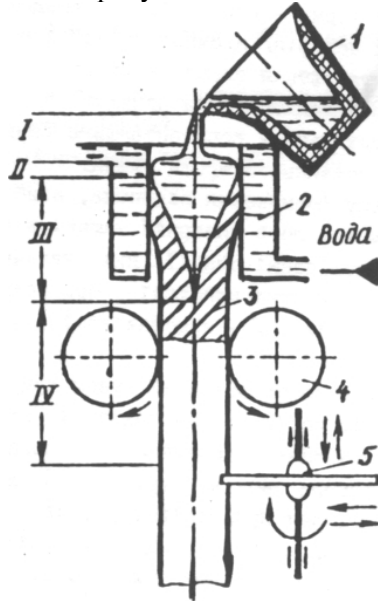
1. Вейник А. И. Литье в металлические формы. [Текст] / А. И. Вейник,- Минск : Высшая школа. 1964. - 408 с.
2. Додин Я. Л. Влияние технологических факторов на образование отбела и мероприятия по его устранению при литье чугуна в кокиль [Текст] /Я. Л. Додин., Л.О. Соколовский.- М.: Машиностроение. 1951.- 41 с.
3. Липницкий А. М. Литье в металлические формы. [Текст] /-Л.: Машиностроение, Ленинградское отделение. 1980.-140 с.
4. Бураков С. Л. Литье в кокиль. [Текст] / А. И. Вейник, Н. П. Дубинин; под. общ. ред. А. И. Вейника,- М.: Машиностроение. 1980. -415 с.
5. Святкин Б. К. Литье в кокиль.[Текст] / Б. К. Святкин.- М.: Высшая школа. 1984.- 263 с.

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2

### ОДЕРЖАННЯ ЗЛИВКІВ БЕЗПЕРЕРВНИМ (НАПІВБЕЗПЕРЕРВНИМ) ЛИТТЯМ

#### 2.1 Загальні відомості

Сутність способу безперервного лиття полягав в тому, що розплавлений метал з ковша рівномірно і безперервно надходить в охолоджувану металічну форму - кристалізатор (надає зливку відповідний поперечний переріз) з одного кінця і у вигляді затверділого зливка витягується спеціальним пристроєм з другого кінця (рис. 2.1). В залежності від напрямку витягування зливка розрізняють вертикальне і горизонтальне безперервне лиття. Продуктивність останнього трохи нижча.



- I - IV - температурні зони зливка;  
 2 - кристалізатор; 3 - затверділий зливець; 4 - валки;  
 5 - спеціальна пилка.

Рисунок 2.1 – Схема безперервного лиття

Особливістю процесу формування зливка, який одержують безперервним литтям, є те, що в ливарній машині в кожний даний момент проходять усі послідовні стадії, які складають технологічний процес: I - заповнення кристалізатора металом; II - відведення теплоти перегріву; III - кристалізація; IV - охолодження відливка.

Кристалізатор являв собою основний вузол для безперервного лиття і в залежності від особливостей сплаву і розмірів зливка він має різне конструктивне оформлення. У виробничих умовах застосовують кристалізатори двох конструкцій. В одній з них вода не тільки омиває гільзу кристалізатора, але й через спеціальні отвори або щілину на нижній кромці кристалізатора подається на зливоч, який виходить з кристалізатора. Ця конструкція використовується найчастіше. Однак, такі кристалізатори не можна застосовувати при литті злиwkів із сплавів схильних до утворення гарячих тріщин, тому що в зливках утворюються тріщини через надмірно інтенсивне охолодження. В таких випадках використовують кристалізатори, конструкція яких не передбачає подачу води на зливоч; охолодження і кристалізація розплаву здійснюється лише за рахунок відведення теплоти крізь гільзу, яка охолоджується водою. Першу схему використовують при литті у короткий кристалізатор (до 300 мм), другу використовують при литті у довгий (1000-1500 мм) кристалізатор.

Найбільш поширений матеріал для виготовлених робочих стінок кристалізаторів є без киснева або розкислена мідь з теплопровідністю  $\lambda = 350$  Вт/мК. Зносостійкість та міцність кристалізаторів підвищують легуванням міді нікелем, залізом, кремнієм, кобальтом, сріблом. Більш раціональний шлях поліпшення експлуатаційних властивостей кристалізаторів - нанесення покриттів з твердих матеріалів на робочу поверхню мідних стінок (хромування, нікелювання, алітування, багат шарові покриття). Металічні кристалізатори використовують при литті в основному циліндричних заготовок. Ідеальним матеріалом для кристалізаторів є графіт, який має високу термостійкість (незмінність властивостей у широкому температурному інтервалі) і теплопровідність, низький коефіцієнт тертя і не змочується металами. Однак, для розливки деяких сплавів (зокрема, сталі) він не придатний, оскільки розчиняється у них.

Безперервне лиття злиwkів здійснюється на спеціальних машинах, які мають різні механізми витягування злиwkів з кристалізатора (роликаний, гвинтовий, тросовий, ланцюговий, гідравлічний).

Основним технологічним параметром безперервного лиття є інтенсивність охолодження металу, від чого залежить швидкість витягування зливка з кристалізатора або, інакше, швидкість лиття. Вона повинна бути такою, щоб при найбільшій продуктивності машини отримані зливки мали хорошу поверхню і не мали усадочної пористості у центральній зоні, а також не мали тріщин.

Швидкість лиття залежить від виду сплаву, розмірів і форми кристалізатора. Найчастіше її визначають за емпіричними формулами. Наприклад, оптимальну швидкість лиття  $V$  круглих зливок сплаву Д16 у низький кристалізатор (Н/Д - 0,25-0,4, де Н - висота кристалізатора, м; Д - діаметр зливка, м) знаходять за емпіричним співвідношенням:

$$V = \frac{1,6}{D^n}, \text{ см/с}, \quad (2.1)$$

де  $n$  - показник ступені. Для зливок діаметром 100-400 мм  $n=1$ ; для зливок більшого діаметра  $n > 1$ .

Для отримання якісної заготовки велике значення мав своєчасність початку витягування, яке відлічують від початку заливання. При ранньому включенні механізму витягування зливка внаслідок недостатньої товщини кірочки затверділого металу можливе утворення поверхневих тріщин на зливку.

Розрахунковим шляхом визначити час початку витягування утруднено, тому що необхідна урахувати багато факторів: теплофізичні характеристики металу і форми, температуру і витрати холодної води у кристалізаторі, величину зазору між кірочкою затвердіваючого металу і стінкою кристалізатора, товщину шару мастила, яке наноситься на кристалізатор і так далі. Тому цю величину треба визначати експериментально.

Безперервне лиття - один з прогресивних технологічних процесів одержання якісних відливок (зливок). Висока інтенсивність охолодження розплаву сприяв спрямованій його кристалізації, зменшенню ліквацийної неоднорідності, неметалевих включень і газонасиченості, а безперервна подача розплаву у верхню частину кристалізатора (відливка) - постійному живленню фронту зростаючих кристалів, усуненню усадочних дефектів (раковин, пористості, дірчатості).

Усадочна пористість в зливках, одержаних безперервним литтям, виникає в разі надмірно великої швидкості лиття, коли

центральна частина зливка не встигав затвердіти і залишається рідкою на велику глибину, утворюючи глибоку лунку. При цьому значно розширюється двофазна зона, що неминуче призводить до утворення усадочної пористості.

Швидкість лиття істотно впливає і на структуру злиwkів (макро- і мікро-), оскільки зумовлює швидкість кристалізації в будь-якій його точці:

$$v_k = v \cdot \cos \alpha, \quad (3.2)$$

де  $v_k$  - швидкість кристалізації, см/с;

$\cos \alpha$  - кут між віссю зливка і нормаллю до поверхні кристалізації в цій точці;

$v$  - швидкість лиття, см/с.

Для таких злиwkів характерні значні внутрішні термічні напруження, які виникають внаслідок різниці температур шарів зливка в період твердіння і охолодження; такі напруження інколи призводять до тріщин. Тріщини можуть бути холодними і гарячими.

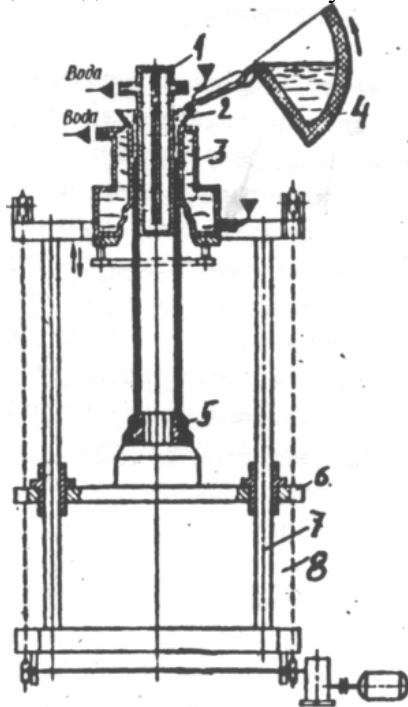
В круглих злиwkах спостерігаються внутрішні і поверхневі радіальні тріщини. Внутрішні радіальні тріщини з'являються при надмірно високій швидкості витягування зливка, коли різниця температур внутрішніх і зовнішніх шарів стає дуже великою. Внутрішні шари металу в ході твердіння і охолодження прагнуть скоротити свої розміри, але цьому перешкоджають зовнішні холодніші і тому більш міцніші шари, і в результаті внутрішні шари опиняються під дією розтягуючих напружень. Щоб запобігти появленню внутрішніх тріщин зменшують швидкість витягування і інтенсивність охолодження злиwkів /застосовують високі кристалізатори, для безпосереднього охолодження зливка замість води використовують повітря/.

Поверхневі радіальні тріщини виникають при надто низькій швидкості лиття, коли лунка в кристалізаторі розташовується вище рівня надходження води безпосередньо на злиwок. Температура зовнішніх шарів, які потрапили в зону безпосереднього охолодження водою, різко знижується, шари починають скорочуватися, але цьому перешкоджав вже затверділа серцевина зливка. В результаті зовнішні шари розтягуються і в них можуть з'явитися тріщини. Тріщини є основним видом браку при безперервному литті.

Спосіб безперервного лиття широко застосовується в металургії для розливання сталі, кольорових металів і сплавів, а також в маши-



нобудуванні при виробництві труб і заготовок. Технологічний процес отримання водопровідних труб (рис. 2.2) нічим не відрізняється від безперервного лиття зливків. Правда, в цьому випадку спосіб виступає в якості напівбезперервного, оскільки при отриманні кожної труби технологічний процес слід починати спочатку.



- 1 – водоохолоджувальний стрижень; 2 – ливникова система;  
 3 – кристалізатор; 4 – автоматичний дозувальний ківш;  
 5 – стрижень з кільцевим пазом (вставка для початку роботи  
 або затравка); 6 – стіл; 7 – колони; 8 – ланцюг або трос.

Рисунок 2.2 – Установка напівбезперервного лиття труб

Труби, які отримано таким способом, мають високу якість зовнішньої і внутрішньої поверхні, дрібнозернисту структуру, високу щільність. Додатковому відпалу труби не піддають, тому що цементит, який утворюється в процесі твердіння в поверхневому шарі, розпадається при відведенні тепла внутрішніх шарів, тобто відбувається

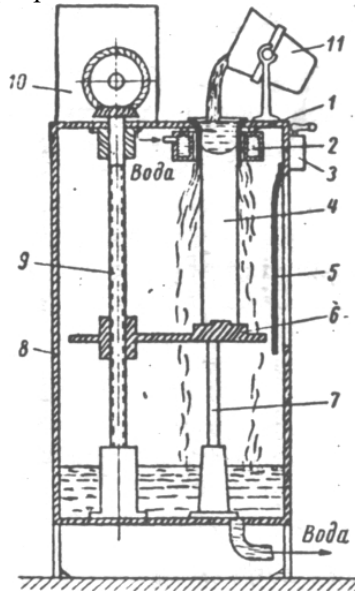
самовідпал.

Напівбезперервним способом можна отримувати труби з товщиною стінки 7-50 мм, діаметром до 1000 мм і довжиною до 10 м. Швидкість витягування труби з внутрішнім діаметром 300 мм і довжиною 10 м з кристалізатора висотою 0,5 м становить 2,2-2,4 м/хв.

## 2.2 Обладнання, інструмент та матеріали

Лабораторна установка для безперервного лиття зливків (рис. 2.3).

- 1 Плавильна піч; алюмінієвий сплав.
- 2 Переносний гальванометр з термопарою.
- 3 Набір плавильно-розливального інструменту.
- 4 Секундомір.
- 5 Мاستила для кристалізатора.
- 6 Шнур азбестовий.
- 7 Набір матеріалів для виготовлення шліфів.
- 8 Верстат для розрізання зливків.



- 1 - кристалізатор; 2 - водяний колектор; 3 - пульт керування (пусчак); 4 - зливков;
- 5 - гумова штора; 6 - затравка; 7 - напрямна стійка; 8 - корпус; 9 - гвинт;
- 10 - електропривід; 11 - ківш з металом.

Рисунок 2.3 – Схема лабораторної установки для безперервного лиття зливків

### 2.3 Порядок виконання роботи

Робота розрахована на 6 години.

Ознайомитись з будовою і роботою установки для лиття зливків. Визначити швидкість руху стола машини (витягування затравки).

Підготувати установку до лиття:

- а) змастити кристалізатор вакуумним маслом;
- б) увести затравку в кристалізатор на  $1/4$  його висоти;
- в) в зазор між кристалізатором і затравкою закласти азбестовий шнур;
- г) включити воду; д) встановити пускач на необхідну швидкість лиття.

Відібрати порцію рідкого металу з печі в розливальний ківш.

Виміряти температуру металу в ковші і почати заливання його в кристалізатор при нерухомій затравці. Температура сплаву перед заливанням повинна бути приблизно  $720^{\circ}\text{C}$ .

Заливання металу в кристалізатор проводити тільки в присутності викладача.

При досяганні рівня металу в кристалізаторі на 5-10 мм нижче верхньої кромки кристалізатора увімкнути установку на опускання стола машини. Під час лиття рівень металу в кристалізаторі слід підтримувати постійним. Після закінчення лиття дати зливку вийти з кристалізатора і вимкнути установку.

Перекрыти воду і зняти зливку з затравки.

Підготувати машину до заливання нових зливків при інших швидкостях лиття. Бажано, щоб швидкості витягування відрізнялись між собою на 50-80%; решта параметрів залишаються попередніми.

Відлити нові зливки.

Оцінити якість зливків:

- а) за чистотою поверхні (незлитості, пори, плени, спаї, ліквідаційні напливи та ін.);
- б) за глибиною усадочної раковини;
- в) за макроструктурою.

За вказівкою викладача може бути проведена порівняльна оцінка якості зливків (однакового діаметра), отриманих напівбезперервним литтям і литтям в піщано-глинисту форму (або в кокіль).

## 2.4 Зміст звіту

- 1 Схема безперервного лиття.
- 2 Схема і опис лабораторної установки напівбезперервного лиття.
- 3 Технологія лиття зливків.
- 4 Таблиця з даними умов лиття і результатами дослідження структури і якості зливків (табл. 2.1)

Таблиця 2.1– Результати досліджень

№ зливка	Умови лиття		Глибина усадочної раковини	Якість поверхні зливка
	Швидкість, $v$ , см/с	Температура металу, $t^{\circ}\text{C}$		
1				
2				
3				

- 5 Висновки.

## 2.5 Контрольні запитання

- 1 В чому принципова відзнака безперервного лиття зливків від лиття зливків у виливниці?
- 2 Які типи кристалізаторів використовують при безперервному литті зливків?
- 3 Які матеріали використовують для виготовлення кристалізаторів?
- 4 Які стадії складають технологічний процес безперервного лиття?
- 5 Що перешкоджає інтенсивному охолодженню зливка в кристалізаторі при безперервному литті?
- 6 Переваги і недоліки вертикального лиття?
- 7 Заготовки якого профілю можна отримати безперервним литтям? Чи можливо отримання порожнистої заготовки?
- 8 Перелічити основні вузли установки безперервного лиття?
- 9 Яка залежність існує між швидкістю безперервного лиття і швидкістю кристалізації?

10 Основні дефекти злиwkів, які отримують безперервним литтям?

11 Чи треба застосовувати змащування кристалізаторів?

12 Опишіть механізм утворення внутрішніх і зовнішніх радіальних тріщин в зливках, які одержують безперервним литтям?

13 Як впливав швидкість безперервного лиття на глибину лунки і отже на якість злиwkів?

## 2.6 Рекомендована література

1. Степанов Ю. А. Технология литейного производства. [Текст] / Ю. А. Степанов, Г. Ф.Баландин , В. А.Рыбкин. - М.: Машиностроение, 1983.- 284 с.
2. Михайлов А. М. Литейное производство [Текст] / А. М. Михайлов, Б. В. Бауман,- М.: Машиностроение. 1987.-256 с.
3. Ефимов В. А. Специальные способы литья : Справочник. [Текст] / В. А. Ефимов, Г. А. Анисович. - М.: Машиностроение. 1991. - 734 с.

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3

### ОДЕРЖАННЯ ВИЛИВКІВ ВІДЦЕНТРОВИМ ЛИТТЯМ

#### 3.1 Загальні відомості

Відцентрове лиття - це спосіб виготовлення виливків, коли заповнення форми розплавом і його затвердіння відбуваються у полі дії відцентрових сил.

Це перспективний спосіб виробництва фасонних виробів з формою тіл обертання переважно при крупносерійному виробництві. Цим способом лиття одержують водопровідні та каналізаційні труби, заготовки гільз циліндрів двигунів внутрішнього згоряння, облицювання суднових валів, корпуси сушильних циліндрів переробних машин, труби для енергетичного машинобудування й інші вироби відповідального призначення.

Відцентрові виливки відрізняються підвищеними механічними властивостями литого металу, тому при литті, наприклад, сталевих заготовок, вони не поступаються або близькі до властивостей поковок. При цьому значні техніко-економічні переваги відцентрового лиття перед куванням досягаються внаслідок економії металу, електроенергії, трудовитрат, скорочення капіталовкладень і тривалості виробничого циклу.

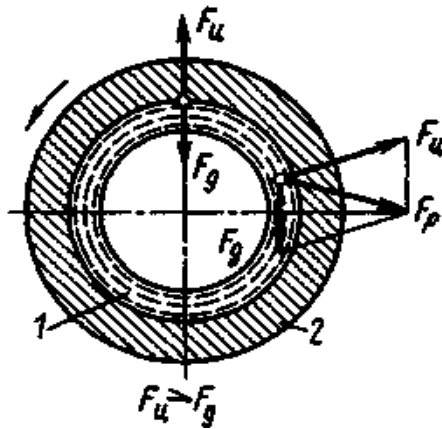
Виробничий досвід визначає раціональну галузь застосування відцентрового лиття:

1) для одержання виливків – пустотілих циліндрів (труб, втулок, гільз, кілець і т.д.). Основна ефективність досягається при цьому внаслідок можливості одержання виливків без стрижнів, без відходів на ливники, без дефектів усадкового та газового походження;

2) для виготовлення фасонних виливків складної конфігурації з тугоплавких, легованих та сплавів що важко обробляються. Ефективність досягається за рахунок поліпшення заповнювання форм складних тонкостінних виливків. У цих випадках застосовують ке-рамичні й оболонкові форми, кокілі.

При заливанні металу в обертову навколо горизонтальної вісі форму, він розтікається по ній за рахунок кінетичної енергії потоку металу й утягується в обертовий рух за рахунок сил тертя металу об

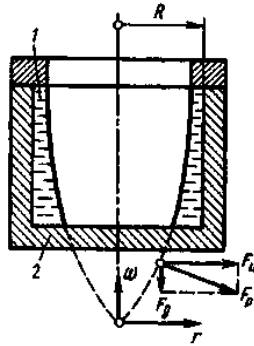
форму. Але швидкість часток металу при обертанні навколо горизонтальної вісі не постійна через пульсацію результуючої сили протягом обертання форми, тому що вона складається з постійної за значенням та напрямком сили ваги та постійною за значенням та мінливою за напрямком відцентровою силою. Це призводить до того, що вільна поверхня металу, залитого у форму, зміщується донизу від вісі обертання (рис. 3.1). Але іноді кінетичної енергії потоку металу недостатньо для розтікання його у формі, тоді форму ставлять похило або ж розміщують форму уздовж нерухомого жолоба.



1-розплав; 2 - форма  
 $F_p$  –рівнодіюча відцентрова сила ( $F_{ц.}$ ) та сила ваги ( $F_g$ )

Рисунок 3.1 – Гідростатичні сили, що діють на метал при обертанні форми навколо горизонтальної вісі

При вертикальній вісі обертання метал, що заливається вільно у форму, поступово підхоплюється нею в обертання. Через деякий час кутові швидкості обертання окремих шарів металу та самої форми вирівнюються і рідина приходить у стан відносного спокою (не пульсує тому, що не змінює напрямку). При цьому внутрішня поверхня виливка буде мати форму параболоїда обертання, що утвориться в результаті одночасної дії відцентрової сили та сили ваги. Це означає, що товщина стінок виливка у верхній і нижній частинах буде різною (рис.3.2).



1 - розплав; 2 - форма

Рисунок 3.2 – Схема вертикального відцентрового лиття у форму з вертикальною віссю обертання

При виготовленні виливків з вільною поверхнею розплав охолоджується у виливниці нерівномірно в усьому об'ємі. Частина теплоти відводиться від розплаву до стінки виливниці, інша частина - конвекцією та випромінюванням з боку вільної поверхні. Така нерівномірність охолодження виливка призводить до виникнення конвекції у розплаві. Охолоджений, більше щільний розплав переміщується до стінок форми, а гарячий і менш щільний - до вільної поверхні розплаву. Внаслідок цього в розплаві виникають конвективні потоки, що циркулюють у радіальному напрямку (рис.3.3). Це сприяє спрямованому затвердінню виливка в радіальному напрямку й тим більше, чим більше частота обертання.

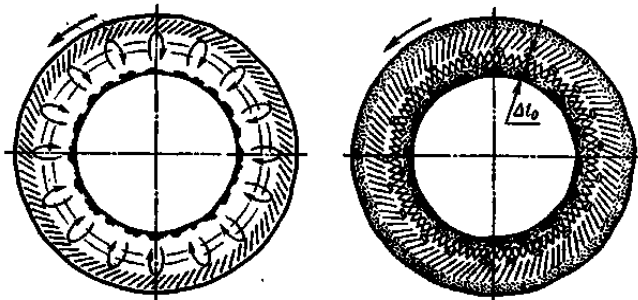


Рисунок 3.3 – Схема виникнення конвективних потоків в обертovому й затвердівачому розплаві (а) і схема кристалічної будови виливка (б)



При спрямованому затвердінні від стінок виливниці фронт зростаючих у радіальному напрямку кристалів увесь час стикається з розплавом, що сприяє поліпшенню живлення виливка. Внаслідок цього кристали ростуть у напрямку до надходження розплаву, тому вони трохи нахилені убік назустріч напрямку обертання. Тиск, що розвивається при обертанні розплаву, сприяє прониканню його у міжкристалітний простір, що поліпшує живлення затвердіваючого виливка, підвищує його щільність. Вільна поверхня розплаву затвердіває в останню чергу та залишається геометрично правильною. Сторонні частки (гази, шлаки й т.д. ), що мають щільність меншу, ніж розплав, під дією сили, обумовленою різницею щільностей і гравітаційним коефіцієнтом, інтенсивно спливають на вільну поверхню розплаву. Це призводить до необхідності призначати більші припуски на обробку вільних поверхонь виливків.

Таким чином, спрямоване затвердіння дозволяє одержати вилки із щільною будовою тіла, без усадкових дефектів і сторонніх краплень.

Затвердіння відцентрового виливка здійснюється в результаті тепловідводу до форми та з боку внутрішньої (вільної) поверхні виливка, що формується. При відсутності теплоізоляції на вільній поверхні виливка, що кристалізується, з'являється зустрічний фронт кристалізації. Як показали дослідження, фронти замикаються на відстані 25-30 мм від вільної поверхні заготовки з товщиною стінки 100 мм, тому рекомендується теплова ізоляція внутрішньої поверхні виливка при затвердінні. Утеплення внутрішньої поверхні заготовки, що кристалізується, флюсом товщиною 3-6 мм призводить до усунення чітко вираженого фронту кристалізації та деякому збільшенню (на 10-15%) тривалості затвердіння товстостінних виливків. До кінця затвердіння внаслідок недостатнього живлення усередині виливка утворюються усадкові пори.

### **3.2 Обладнання, інструмент та матеріали**

Установка відцентрового лиття з вертикальною віссю обертання, індукційна піч для плавки алюмінієвого сплаву, заливний ківш, переносний гальванометр з хромель-алюмелевою термопарою, набір інструменту для плавки, електронагрівач (або газовий пальник) для підігрівання форми, шихтові матеріали для виготовлення сплаву заданого складу, фарба для форми, спецодяг.

Лабораторна установка відцентрового лиття з вертикальною віссю обертання складається з двигуна, який призводить в обертовий рух вертикальну вісь. На вісі встановлюється стіл, на якому закріплюється ливникова форма. У якості форми використовується металева форма – спіраль Керрі.

### 3.3 Порядок виконання роботи

Робота розрахована на 6 годин.

1. Ретельно ознайомитись з будовою лабораторної установки відцентрового лиття з вертикальною віссю обертання. Особливу увагу звернути на механізм перемикання швидкостей установки, конструкцію форми.

2 Підігріти форму електронагрівачем або газовим пальником до температури 150-180°C, пофарбувати робочу поверхню форми.

3 Виплавити сплав АК12 у індукцій печі.

4 Залити форму при швидкості (частоті) обертання 800 м/с.

5 Залити форму при швидкості (частоті) обертання 1200 м/с.

6 Визначити рідкоплинність сплаву при різних швидкостях обертання форми.

### 3.4 Зміст звіту

1 Загальні відомості про відцентрове лиття.

2 Описати лабораторну установку відцентрового лиття з вертикальною віссю обертання.

3 Визначити рідкоплинність сплаву при різних швидкостях обертання.

4 Зробити висновки, як впливає швидкість обертання форми на рідкоплинність сплаву.

### 3.5 Контрольні запитання

1 Що таке відцентрове лиття?

2 Класифікація видів відцентрового лиття?

3 Матеріали форм при відцентровому литті?

4 Форма вільної поверхні при відцентровому литті з горизонтальною та вертикальною віссю обертання.

5 Роль конвективних потоків при кристалізації виливка.

6 Теплоізоляційні покриття та їх роль.

7 Методи заливання форми.

### **3.6 Рекомендована література**

1. Ефимов В. А. Специальные способы литья : Справочник. [Текст] / В. А. Ефимов, Г. А. Анисович. - М.: Машиностроение. 1991. - 734 с.

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4

### ЛИТТЯ ЗА ВИТОПЛЮВАНИМИ МОДЕЛЯМИ

#### 4.1 Загальні відомості

Лиття за витоплюваними моделями (ЛВМ) - спосіб отримання відливків в багат шарових, нероз'ємних, разових (оболонкових) формах, що виготовляються з використанням виплавляємих, випалюємих і розчиняємих моделей одноразового використання.

Цей спеціальний спосіб лиття застосовують для виготовлення фасонних відливків з товщиною стінки 1 мм і менше, з шорсткістю поверхні від  $R_z = 20-10$  мкм до  $R_a = 1,25-0,63$  мкм (ГОСТ 2789-73) без пригару і високою розмірною точністю (лопатки газових турбін з тонкими каналами для охолодження, човники швейних машин, деталі приладів і електродвигунів, ріжучий складний інструмент та ін.) із будь-яких сплавів, у тому числі з високолегованих та жароміцних сталей. Цим способом отримують відливки масою від декількох грамів до 10-15 кг, а інколи і більше (художнє лиття та ін.), з товщиною стінок до 0,5 мм і отворами до 0,5-1,5 мм. Дуже часто для виробництва відливків використовують сплави з високою температурою плавлення, а також сплави, які практично не піддаються механічній обробці та куванню через високу твердість. Виробництво таких відливків особливо ефективно, коли потрібну деталь дуже важко або практично неможливо виготовити механічною обробкою або іншими способами. Основний недолік цього способу - багатоопераційність, трудомісткість та тривалість процесу виготовлення форми. Тому найбільша ефективність виготовлення відливків за витоплюваними моделями забезпечується в серійному та масовому виробництві, де успішно працюють механізовані і комплексно-автоматизовані лінії.

*Модельні суміші.* Для виготовлення моделей та елементів ливникової системи в різні часи використовувалось більше двохсот витоплюваних модельних сумішей. В період впровадження даної технології використовувались переважно парафіностеаринові суміші типу ПС 50-50 (50 % парафіну і 50 % стеарину) з температурою плавлення близько 55°C та хорошою рідкотекучістю. Недолік такого сплаву в тому, що він починає розм'якшуватися при 30-35°C. Через дефіцитність та низьку температуру розм'якшення стеарин в модельних сумішах

використовують обмежено і тільки в невеликих кількостях (ПС 60-40, ПС 65-35, ПС 70-30). Вищу міцність мають сплави на основі парафіну з додатками етилцелюлози (ПСЕ 70-25-5) або церезину, буровугільного воску та кубового залишку (ПЦБК<sub>3</sub> 70-12-13-5; ПЦБК<sub>3</sub> 60-22-12-6).

В масовому виробництві широке поширення одержала модельна суміш Р-3 (таблиця 4.1).

Таблиця 4.1 - Деякі модельні суміші та їх властивості

Позначення модельної суміші	Теплостійкість, °С	Вільна лінійна усадка,%	$\sigma_3$ , за температури 18-20°С, МПа	Зольність,%
ПЦБК <sub>3</sub> 70-12-13-5 (Р-3)	33	0,7-0,9	3,6-3,7	0,05-0,03
ПБС <sub>В</sub> 60-22-15 (ПЛ-2)	33-40	0,6-1,0	2,4-4,0	0,075-0,124
ПС 50-50	30	0,8-1,0	1,8-2,0	0,03-0,1
ПБТТ <sub>с</sub> 25-35-35-5	35	0,9-1,4	4,7-5,0	0,15-0,3

Процес виготовлення моделей (або ланки моделей) складається з підготовки до роботи прес-форми, заповнення її робочої порожнини модельною сумішшю, витримки в прес-формі модельної суміші для затвердіння моделі, розкриття прес-форми та виштовхування із неї моделі. Розміри внутрішньої порожнини прес-форми враховують усадку модельної суміші, металу відливка та розширення оболонки при прожарюванні.

Підготовка прес-форми до роботи полягає в очищенні та змащуванні поверхонь робочої порожнини розділовою сумішшю (розчин рицинової олії в спирті, розчин чистого машинного мастила в гасі, емульсія із трансформаторного мастила та ін.). Змащування прес-форми проводять тонким шаром через одну або дві запресовки.

Заповнення прес-форми модельною сумішшю здійснюють вільною заливкою (використовується рідко), заливкою під тиском та запресовкою суміші у вигляді пасти (використовується часто).

Способи вільної заливки та під тиском використовують для виготовлення порожнистих і інколи суцільних витоплюваних моделей. При виготовленні порожнистих моделей надлишок модельної суміші виливається із оболонки моделі. Такі моделі найчастіше використовують для одержання художніх відливків.

Тиск на модельну суміш передається стисненим повітрям і поршнем. Для запресовки застосовують важільні, гвинтові, пневматичні та гідравлічні преси. Твердіння модельної маси під тиском зменшує усадку моделі і тим самим сприяє одержанню більш точного відливка. Запресовка суміші у вигляді пасти (під тиском 0,3-0,5 МПа) може здійснюватись ручним (дрібносерійне виробництво) та автоматичним шприцами.

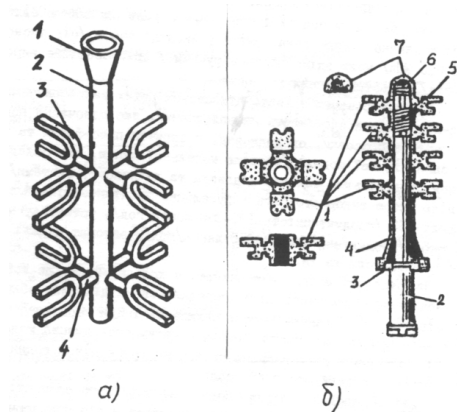
В механізованих та автоматизованих цехах запресовку модельних сумішей здійснюють на обладнанні, яке одночасно поєднує операції запресовки, охолодження, розкриття прес-форми та виштовхування із неї моделі (частіше модельної ланки, яка складається із декількох моделей відливка та ливникової системи). З цією метою використовують карусельний десятипозиційний автомат моделі 653 продуктивністю 190-360 ланок/год, установку моделі 6A54 продуктивністю до 250 ланок/год, автомат моделі 6I20I - 400 ланок/год та ін.

Виготовлену модель виштовхують у холодну воду, де вона охолоджується, зміцнюється та передається на дільницю збирання блоків. Перед збиранням моделі оглядають і при необхідності з них знімають облой (задирки). Від початку охолодження моделі до її збирання в блок повинно пройти не менше ніж 2 години, що достатньо для завершення її усадки.

*Збирання моделей у блоки.* Моделі відливіків та елементів ливникової системи збирають у блоки, приклеюючи або припаюючи їх «електропаяльником» до основної ливникової системи - стояку з чашею (рис. 4.1 а). В механізованих та автоматизованих цехах блоки із моделей (ланок) збирають на спеціальних пристроях /металічних стояках-каркасах/, що забезпечує щільне з'єднання моделей без припаювання (рис. 4.1 б).

*Формування керамічної оболонки на блоках.* Тонка керамічна оболонка повинна мати високу міцність та вогнетривкість, хорошу піддатливість та газопроникливість, забезпечувати високу чистоту поверхні відливіків. Процес виготовлення керамічних оболонок складається з таких операцій: приготування зв'язуючого розчину та суспензії, формування керамічного покриття на поверхні блоку моделей, витоплювання моделей.

Для приготування зв'язуючого розчину використовують: етил-силікат /ЕТС/, дистильовану воду, ацетон, етиловий спирт або ефіроальдегідну фракцію (ЕАФ), соляну кислоту.



а) збирання моделей в блок-ялинку припаюванням :

1 - ливникова чаша, 2 - стояк, 3 - модель, 4 - живильник;

б) збирання ланок моделей на металевий стояк-каркас:

1 - модельна ланка, 2 - рукоятка, 3 - опорна частина для встановлення моделі ливникової чаші, 4 - ливникова чаша, 5 - пружинний пристрій для закріплення стопки ланок гайкою, 6 - гайка, 7 - ковпачок з модельної суміші, який нагвинчується на гайку і закриває її/.

Рисунок 4.1 – Модельні блоки

Етилсилікат належить до групи кремнійорганічних сполук і є сумішшю ефірів кремнієвих кислот. Марка етилсилікату характеризується умовним вмістом  $\text{SiO}_2$ , який може коливатися від 28 до 42% за масою. Найчастіше використовуються ЕТС 32 та ЕТС 40.

Щоб одержати зв'язуючий розчин, необхідно провести гідроліз етилсилікату. Нестійкі кремнієві кислоти, котрі при цьому утворюються, в процесі сушки переходять в колоїдний стан (виділяється золь кремнієвої кислоти), а потім і твердий гель, який має зв'язуючі властивості.

Так як етилсилікат не змішується з водою, гідроліз проводять розчином дистильованої води в ацетоні або спирті, які добре змішуються як з етилсилікатом, так і з водою. Каталізатором реакції служить соляна кислота.

Розрахунок кількості складових речовин для одержання зв'язуючих розчинів ЕТС проводять за номограмою (рис. 4.2), Вихідними даними є умови сушки, та необхідна міцність оболонки, склад ЕТС та

вміст  $\text{SiO}_2$  в розчині.

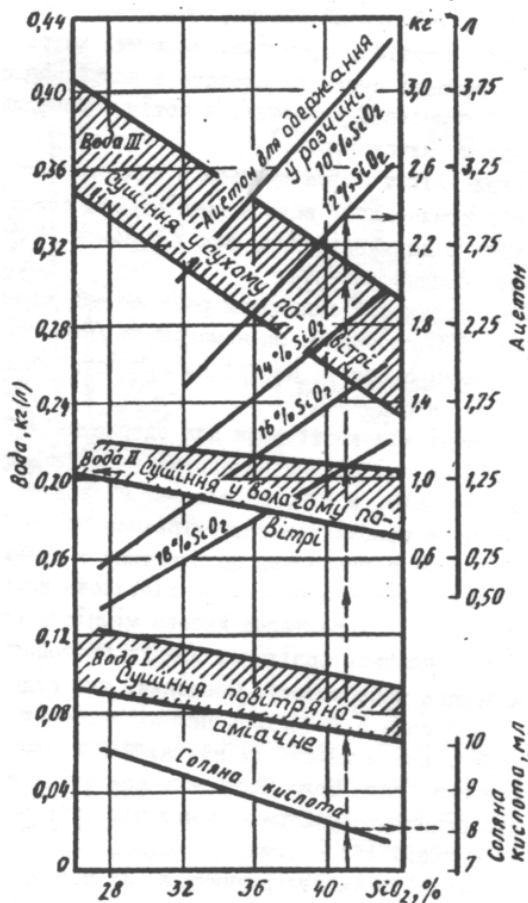


Рисунок 4.2 – Номограма для визначення кількості води та ацетону, необхідних для гідролізу 1 кг етилсилікату

При визначенні кількості води для одержання зв'язуючого розчину із 1 кг ЕТС на осі абсцис номограми знаходять точку, яка відповідає вмісту  $\text{SiO}_2$  в ЕТС, та від неї проводять вертикальну лінію до перетину з необхідною заштрихованою зоною «Вода». З цієї точки проводять горизонталь до перетину з лівою вертикальною віссю, на



якій показана необхідна кількість води.

Для зони «Вода I» характерна висока міцність оболонки, висихання яких відбувається повільно, для їх необоротного твердіння необхідна волога пара аміаку. Оболонки, які відповідають зоні «Вода II», необоротно твердіють при підвищеній вологості повітря (до 80%), але міцність їх нижча, ніж оболонки зони «Вода I». Оболонки зони «Вода III» швидко сохнуть і твердіють, але вони мають приблизно у 2 рази меншу міцність порівняно з оболонками зони «Вода I».

Для визначення кількості розчинника із точки по осі абсцис, яка відповідає вмісту  $\text{SiO}_2$  в ЕТС, проводять вертикальну лінію до перетину з однією із ліній «Ацетон для одержання в розчині  $\text{SiO}_2$ ». Із цієї точки проводять горизонталь до правої вертикальної вісі, на якій позначена необхідна кількість ацетону.

Номограмою можна користуватись, якщо замість ацетону використовувати інший розчинник, наприклад, етиловий спирт або треба враховувати воду, яка міститься в розчиннику.

Кількість соляної кислоти густиною  $\rho = 1190 \text{ кг/м}^3$  визначають аналогічно за лінією «Соляна кислота».

Гідроліз проводять у визначеній послідовності. В скляну колбу вводять відмірені кількості води, ацетону та соляної кислоти.

При безперервному перемішуванні в колбу вливають етилсилікат. Реакція гідролізу іде з виділенням теплоти. Температуру розчину контролюють ртутним термометром та записують його показання через кожну хвилину. Коли температура досягне максимуму та почне знижуватися, перемішування припиняють.

Для приготування суспензії в безперервно перемішуваний гідролізований розчин вводять пиловидний кварц, заздалегідь прожарений при  $120\text{-}140^\circ\text{C}$  та просіяний через сито 0063. Після одержання однорідної маси перемішування припиняють і суспензію витримують протягом декількох хвилин до припинення виділення бульбашок повітря. На 1% за масою зв'язуючого розчину беруть 2,4-2,5% за масою пиловидного кварцу. Для ЕТС-40 це співвідношення приймається 1:3.

Оболонка загальною товщиною до 5-8 мм складається з 3-8, а іноді і з 12 шарів. Для утворення кожного шару блок занурюють у рідку суспензію, обсипають дрібнозернистим матеріалом, а потім сушать. Для обсипки першого шару звичайно використовують маршаліт або дрібнозернистий пісок (кварцовий пісок або електрокорунд) Пісок

закріплюється у суспензії на блоці моделей і утворює каркас першого шару оболонки. Сушіння шару проводять на повітрі (4-5 годин) або в парі аміаку (10-20 хв.). Наступні шари оболонкової форми виготовляють за описаною технологією. При формуванні периферійних шарів оболонки часто використовують менш якісне зв'язуюче (рідке скло) та крупніший пісок для обсіпки. Сушіння у псевдокиплячому шарі силікагелю різко скорочує тривалість процесу (до 3-5 хв.) при одночасному поліпшенні якості оболонки.

Витоплювання моделей із керамічних форм проводять різнотемпературними способами. Легкоплавкі модельні суміші вилучають у ваннах з гарячою водою (90°C). Цей спосіб технічно простий, надає можливість здійснення конвеєрного процесу, може використовуватись за будь-якого обсягу виробництва, не потребує багато часу на витоплювання модельної суміші та забезпечує 90-95% вороття модельної суміші. При цьому способі модельна суміш оплавляється на поверхні раніше, ніж прогріється вся маса і завдяки ньому розтоплена модельна суміш не руйнує оболонки.

Більш тугоплавкі модельні суміші виплавляють гарячим повітрям, іноді паром.

Ефективним є новий спосіб вилучення моделей у висококиплячих рідинах, наприклад, полігліколях при 200-250°C. При цьому не тільки значно скорочується тривалість витоплювання, але й поліпшується якість оболонки.

*Формування та прожарювання оболонкових форм.* Оболонкові керамічні форми після вилучення із них модельного матеріалу прожарюють в опорному наповнювачі або без нього при температурі 900-1000°C. Під час прожарювання в оболонковій формі вигорять залишки модельної суміші, випаровується волога, вилучаються продукти неповного гідролізу та інші газотворні речовини. Одночасно відбувається спікання зв'язуючого з зернами наповнювача, а в стінках оболонки утворюються пори та мікротріщини, що надають формі газопроникності. Тривалість прожарювання оболонки в сухому наповнювачі 4-6 год., а без наповнювача 1-2 год. Оболонки, які мають не менше, ніж чотири шари, прожарюють без наповнювача.

Оболонки, що прожарювались окремо, розміщують в коробах та засипають нагрітим наповнювачем, після чого його ущільнюють на вібростолі (модель 673 продуктивністю 100 блоків/год). Під час заповнення коробів наповнювачем, чаші оболонкових форм закри-

вають, а перед заливанням у них розплату робочі поверхні форм очищають від залишків золи та піску ежектором.

*Заливання, вибивання та очищення відливків.* Оболонки, які видаються із прожарювального агрегату в коробах, заливають металом відразу без охолодження, після чого проводять охолодження та вибивання коробів. На вібростолах або спеціальних пристроях здійснюють відокремлення кераміки від блоку відливків. Потім відливки за допомогою преса або фрези (абразивного круга, газового різака) відокремлюють від стояка та передають їх при необхідності на вилукування залишків (у порожнинах та отворах) кераміки. Вилукування проводять в спеціальних обертових барабанних пристроях у гарячих водяних розчинах (35-55 %) лугу при температурі розчину 90-95°C з подальшою промивкою відливків в нагрітій до 60°C воді. Часто операцію вилукування поєднують з операцією термообробки сталевих відливків у нагрітому до 830-970°C розчині лугу.

*Термічна обробка та контроль якості відливків.* Для надання відливкам необхідних механічних властивостей та структури, а також для зняття внутрішніх напружень в залежності від призначення, їх піддають термічній обробці (відпалу, нормалізації, гартуванню, відпусценню). Так як відливки мають невеликі припуски та чисту поверхню, для термообробки необхідно застосувати печі з контрольованим середовищем (середовище ендугазу). Після термообробки в таких печах поверхня сталевих відливків мав сріблястий колір без окалини.

Основними видами браку є: недоливи, заливи від розриву оболонки, засмічення, усадочні та газові раковини, тріщини та ін. Контроль відливків ведуть шляхом візуального огляду, випробування механічних властивостей металу від кожної плавки на окремо відлитих зразках та не руйнуючими методами контролю (радіографічні, радіоскопічні та акустичні методи контролю для виявлення внутрішніх дефектів; кольорова та магнітопорошкова дефектоскопія або люмінесцентний контроль для виявлення поверхневих дефектів, які не виявляються візуально).

#### **4.2 Обладнання, інструмент та матеріали**

Прес-форми для виготовлення моделей та елементів ливникової системи, водяна баня для розплавлення модельної суміші, прес-шприц, термічна піч, піскосип (з киплячим шаром), термометр, мішалка для приготування суспензії ванна для витоплювання модельної суміші, модельна суміш Р-3, трансформаторне мастило, етисилікат ЕТС 32 або ЕТС 40, дис-

тильована вода, ацетон та етиловий спирт, пиловидний кварц, кварцовий пісок, рідкий метал, ківш, молоток, кліщі, ножівка, терпуг, електропаяльник.

### **4.3 Порядок виконання роботи**

Робота розрахована на 6 годин.

1 Приготувати модельну суміш.

2 Виготовити моделі відливків та елементів ливникових систем в прес-формах.

3 Зібрати модельні блоки.

4 Приготувати зв'язуючий розчин і суспензію.

5 Нанести вогнетривке покриття на поверхню модельних блоків та провести сушіння кераміки.

6 Витопити модельну суміш із керамічної оболонки.

7 Прожарити керамічну оболонку.

8 Заформувати керамічну оболонку в короб.

9 Нагріти форму під заливання.

10 Залити форму сталлю або іншим сплавом.

11 Після охолодження, вибивання та очищення блоків відрізати відливки від ливникової системи.

12 Оцінити якість та шорсткість поверхні відливків.

### **4.4 Зміст звіту**

1 Описати технологію виготовлення відливків за витоплюваними моделями.

2 Ескізи прес-форми, модельного блоку та ливарної форми.

3 Результати визначення шорсткості поверхні відливків та опис якості їх поверхні.

### **4.5 Контрольні запитання**

1 У чому полягає сутність способу лиття за витоплюваними моделями?

2 Які переваги, недоліки та область застосування способу лиття за витоплюваними моделями?

3 Які первинні матеріали використовують для виготовлення моделей і керамічних форм?

4 Як виготовляють моделі і форми?

5 Яка технологія виготовлення вогнетривкої суспензії?

6 Яка технологія виготовлення гідролізованого розчину етил-силікату та як розрахувати необхідну кількість складових для цього?

7 Як формується керамічна оболонка та за якими режимами її сушать?

8 З якою метою та при якій температурі проводиться прожарювання керамічної оболонки (форми)?

9 Як заливають форми?

10 У чому сутність операції вилужування?

11 Які фінішні операції обробки відливків?

12 У чому особливість термічної обробки сталевих відливків одержаних литтям за витоплюваними моделями?

13 Які ви знаєте способи відокремлення відливків від ливникової системи?

14 Що передбачається для компенсації усадки легкоплавких модельних сумішей?

#### 4.6 Рекомендована література

1. Иванов В. Н. Литье по выплавляемым моделям. [Текст] / В. Н. Иванов, С. А. Казенков. - М.: Машиностроение. 1984. - 408 с.
2. Степанов Ю. А. Технология литейного производства. [Текст] / Ю. А. Степанов, Г. Ф.Баландин, В. А.Рыбкин. - М.: Машиностроение, 1983.- 284 с.
3. Ефимов В. А. Специальные способы литья : Справочник. [Текст] / В. А. Ефимов, А. А. Анисович. - М.: Машиностроение. 1991. - 734 с.
4. Озеров В. А. Литье повышенной точности по разовым моделям. [Текст] / В. А.Озеров, Ф.Гаранин. - М.: Высшая школа. 1988.- 87 с.