

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»



СПЕЦІАЛЬНІ ТА ОСОБЛИВІ ВИДИ ЛИТТЯ

ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ

Київ 2022

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

**А. С. Кочешков,
М. М. Ямшинський,
Р. В. Лютий,
І. В. Лук'яненко**

СПЕЦІАЛЬНІ ТА ОСОБЛИВІ ВИДИ ЛИТТЯ

ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ

Навчальний посібник

Рекомендовано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського»
як навчальний посібник для здобувачів ступеня магістра
за освітньо-професійною програмою «Комп'ютеризовані процеси лиття»
спеціальності 136 «Металургія»

Електронне мережне навчальне видання

Київ
КПІ ім. Ігоря Сікорського
2022

Рецензент *Верховлюк Анатолій Михайлович*, доктор техн. наук, проф., зав. відділом фізико-хімії сплавів ФТІМС НАН України

Автори: *Кочешков Анатолій Сергійович*, канд. техн. наук, доцент
Ямшинський Михайло Михайлович, доктор. техн. наук, доцент
Лютий Ростислав Володимирович, канд. техн. наук, доцент
Лук'яненко Іван Віталійович, канд. техн. наук

Відповідальний редактор *Гурія І. М.*, канд. техн. наук, доцент

*Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського»
(протокол №6 від 24.05.2022 р.)
за поданням Вченої ради навчально-наукового інституту
матеріалознавства та зварювання ім. Є.О. Патона
(протокол № 3/22 від 23.03.2022 р.)*

Навчальний посібник містить лабораторні роботи з кредитного модулю «Спеціальні та особливі види лиття», що спрямовані на вивчення студентами технологічних процесів виготовлення виливків спеціальними способами лиття та дослідження їх параметрів, дослідження властивостей матеріалів із яких виготовляють ливарні форми та моделі, а також процесів виготовлення ливарних форм.

До кожної лабораторної роботи входять наступні розділи: загальні відомості; техніка безпеки; устаткування, інструменти та матеріали; послідовність виконання роботи; аналіз отриманих результатів та висновки; контрольні питання для підготовки до роботи; оформлення звіту; список рекомендованої літератури.

У лабораторних роботах основний акцент зроблено на розвитку навичок самостійної роботи студентів, значна частина якої виконується на рівні навчання через дослідження.

Навчальний посібник призначено для студентів інституту матеріалознавства та зварювання ім. Є.О. Патона, КПІ ім. Ігоря Сікорського та може бути рекомендовано для закладів вищої освіти України з металургійним напрямом підготовки денної та заочної форм навчання

Реєстр. № НП 21/22-638. Обсяг 2,5 авт. арк.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
проспект Перемоги, 37, м. Київ, 03056

<https://kpi.ua>

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру видавців, виготовлювачів і розповсюджувачів видавничої продукції ДК № 5354 від 25.05.2017 р.

© Кочешков А. С., Ямшинський М. М., Лютий Р. В., Лук'яненко І. В.

© КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022

ЗМІСТ

| | |
|--|--|
| ВСТУП..... | 4 |
| ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ..... | 6 |
| ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1 ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ МОДЕЛЬНИХ КОМПОЗИЦІЙ, ВОГНЕТРИВКИХ ОБОЛОНОК І ВИЛИВКІВ У ЛИТТІ ЗА МОДЕЛЯМИ, ЩО ВИТОПЛЮЮТЬ | 8 |
| ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2 ВПЛИВ ГРАНУЛОМЕТРИЧНОГО СКЛАДУ ПІНОПОЛІСТИРОЛУ НА ЯКІСТЬ МОДЕЛЕЙ І ВИЛИВКІВ У ЛИТТІ ЗА МОДЕЛЯМИ, ЩО ГАЗИФІКУЮТЬСЯ..... | 25 |
| ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3 ВИЗНАЧЕННЯ РІДКОТЕКУЧОСТІ СТАНДАРТИЗОВАНОГО СПЛАВУ АЛЮМІНІЮ ПРИ ЗМІНІ ТОВЩИНИ ПОКРИТТЯ ЛИТТЯМ У КОКІЛЬ..... | 33 |
| ДОДАТОК А. МАТЕМАТИЧНЕ ОБРОБЛЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ..... | 41 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ..... | ОШИБКА! ЗАКЛАДКА НЕ ОПРЕДЕЛЕНА. |

ВСТУП

Навчальний посібник видається студентам на початку семестру.

За навчальним посібником слід вивчити мету, зміст і порядок виконання лабораторної роботи, а по кожній роботі – теоретичний матеріал (за матеріалами лекцій та рекомендованою літературою). Об'єм теоретичної підготовки визначається контрольними питаннями, приведеними в кожній лабораторній роботі.

До початку лабораторного заняття студент має підготувати протокол виконання лабораторної роботи.

Перед початком лабораторної роботи викладач з кожним студентом проводить співбесіду. Допуск до роботи визначається рівнем уявлень про конкретний тип литва, знанням цілей, порядку виконання і безпечних методів роботи, а також рекомендацій щодо оброблення результатів експериментів та оформлення протоколу лабораторної роботи.

Виконану роботу оформлюють у вигляді звіту, форми для заповнення якого наведено у кожній роботі, і захищають у викладача перед виконанням наступної роботи.

На захисті необхідно теоретично обґрунтувати одержані результати роботи і оцінити можливості даного методу литва в порівнянні з литвом у піщано-глинясті форми та іншими способами литва.

У зв'язку з необхідністю приділення підвищеної уваги до самостійної роботи студентів, методичні вказівки супроводжуються теоретичними поясненнями, відомостями щодо принципів будови та описання лабораторного устаткування, послідовності виконання робіт.

Виконання кожної лабораторної роботи передбачає ознайомлення з теорією процесу і устаткуванням; набуття вміння провести експеримент, обробити експериментальні дані і за отриманими результатами зробити правильні висновки.

Після ознайомлення з правилами роботи в лабораторії студент з дозволу викладача може приступити до виконання роботи на лабораторному устаткованні.

ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ

Під час знаходження в лабораторії необхідно:

1. Приступати до експериментів тільки після отримання офіційного допуску від викладача.
2. На робоче місце брати з собою тільки протоколи лабораторних робіт, ручки та олівці, пристрій для проведення математичних обчислень (з цією метою може бути використано мобільний телефон).
3. Перебуваючи на робочому місці, уважно стежити за станом обладнання.
4. Виконувати дослідження бригадами мінімум по дві особи. У разі особистого виконання роботи студентом його дії контролює викладач.
5. У разі несправності або неповноцінного функціонування обладнання звернутись до викладача.
6. Після закінчення роботи прибрати робоче місце.

Під час знаходження в лабораторії заборонено:

1. Знаходитися на робочому місці іншої бригади.
2. Знаходитися у верхньому одязі на робочих місцях.
3. Брати на робочі місця із собою сумки, портфелі, рюкзаки, елементи одягу та інші сторонні предмети, не передбачені протоколом роботи.
4. Вмикати або вимикати обладнання без дозволу викладачів.
5. Вмикати або вимикати установки, які не відносяться до виконання даної лабораторної роботи.
6. Намагатися полагодити або налаштувати обладнання або інструмент без дозволу викладачів.
7. Під час робочого циклу перешкоджати роботі обладнання, інструменту своїм втручанням, доторкатися до частин, які рухаються або мають високу температуру.

8. Використовувати мобільні телефони, фото-, відео-, Інтернет-техніку та інше побутове приладдя, яке створює шум, радіоперешкоди та заважає роботі лабораторного обладнання.

9. Заносити в лабораторію напої, їжу, пакувальні матеріали.

10. Самовільно покидати лабораторію або заходити до неї.

Лабораторна робота № 1
ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ МОДЕЛЬНИХ КОМПОЗИЦІЙ,
ВОГНЕТРИВКИХ ОБОЛОНОК І ВИЛИВКІВ У ЛИТТІ ЗА МОДЕЛЯМИ,
ЩО ВИТОПЛЮЮТЬ

Мета роботи: дослідити вплив в'язкості вогнетривкої суспензії (кількості наповнювача) на міцність і газопроникність оболонки; вплив способу підведення металу на механічні властивості литих зразків. Визначити міцність і усадку модельної композиції, а також вміст повітря в моделі.

Робота розрахована на 6 годин.

1 Загальні відомості

Литтям за моделями, що витоплюють, називається процес виготовлення виливків шляхом вільного заливання розплавленого металу в оболонкові форми, виготовлені із спеціальної вогнетривкої суміші з використанням разових моделей, які після виготовлення форми витоплюють, випалюють або розчиняють.

Цей спосіб лиття дає змогу одержувати точні і складні за формою виливки з будь-яких металів і сплавів, які максимально наближаються до готової деталі. Цим способом одержують виливки з товщиною стінки від 0,5 мм і більше, масою від декількох грамів до сотень кілограмів з точністю розмірів від 4 до 11 класу і шорсткістю поверхні від Ra3,2 до Ra50 за ГОСТ 26645-85.

Доцільна область застосування методу – масове виробництво виливків із важкооброблюваних сплавів, деталей складної конфігурації з невеликим об'ємом фінішних операцій.

Недоліками лиття за моделями, що витоплюють, є велика тривалість і складність процесу в порівнянні з іншими методами лиття, висока вартість зв'язувальних компонентів.

Технологія литва за моделями, що витоплюють. Процес виготовлення виливків за моделями, що витоплюють, полягає в наступному: з легкоплавких (або таких що розчиняються або випалюються) матеріалів у спеціальних прес-формах виготовляють моделі виливків і ливникових систем, які складають в блоки. На блоки наносять 3...6 (інколи більше) шарів суспензії, яка складається із зв'язувального компонента і дрібнодисперсного вогнетривкого матеріалу, з присипкою кожного шару зернистим наповнювачем. З одержаної за таким процесом оболонки після її сушіння виплавляють (розчиняють, випалюють) модель. Оболонки прожарюють і заливають металом.

Модельні композиції. Для виготовлення моделей, які витоплюють, використовують рецептури на основі парафіну, стеарину, церезину, буровугільного воску, каніфолі, полістиролу, поліетилену, торф'яного бітуму, етилцелюлози, жирних кислот, озокериту та інших матеріалів.

До модельних матеріалів пред'являють наступні вимоги: легкоплавкість в межах від 60 °С до 100 °С, температура початку розм'якшування вища за температуру робочого приміщення на 35...45 °С, мінімальна і стабільна усадка, мінімальне об'ємне і лінійне розширення, оптимальна рідкоплинність, мінімальна зольність, хімічна інертність по відношенню до матеріалу прес-форми і вогнетривкого покриття, можливість багаторазового використання тощо.

Модельні композиції розділяють на легко-, тугоплавкі та розчинні.

Легкоплавкі модельні композиції готують на основі воскоподібних речовин (парафіну і стеарину) і застосовують для виготовлення моделей дрібних виливків середньої складності, оскільки вони мають низьку температуру розм'якшування (від 50 °С до 60 °С), невисоку міцність і велику

нестабільну усадку (від 0,9 % до 1,1 %). Приклад цих композицій – ПС 50-50 (50% парафіну і 50 % стеарину).

Тугоплавкі композиції готують на основі пластмас і застосовують для виготовлення тонкостінних і великогабаритних моделей. Найпоширеніша композиція цієї групи – КПсЦ 50-30-20 (50 % каніфолі, 30 % полістиролу і 20 % церезину).

Прикладом розчинних модельних композицій є суміш 98 %-ї технічної сечовини з 2 %-ю борною кислотою – КББк 98-2. Недолік цієї рецептури – висока гігроскопічність, для зменшення якої вводять до 10 % нітрату калію.

Легкоплавкі модельні композиції готують у термостатах шляхом розплавлення і перемішування парафіну і стеарину. Одержаний розплав фільтрують через щільну тканину для очищення його від сторонніх вкраплин, витримуючи при цьому температуру в межах від 80 °С до 85 °С.

Виготовляють моделі вільним заливанням рідкої (за температури від 60 °С до 70 °С), або запресовуванням пастоподібної модельної композиції у прес-форму. Пастоподібну композицію, безперервно перемішуючи, готують шляхом охолодження рідкого розплаву до 42...45 °С.

Запресовування пастоподібного модельного матеріалу в робочу порожнину прес-форми є основним способом виготовлення моделей, оскільки він забезпечує високу точність внаслідок зменшення усадки модельного складу і вищу продуктивність через скорочення часу охолодження моделі та прес-форми.

Перед запресовуванням модельних композицій прес-форми очищують, змащують розділовим покриттям для зменшення прилипання композиції до поверхні прес-форми і збирають. Як покриття використовують трансформаторну або касторову олію в суміші з етиловим спиртом у співвідношенні 1:1.

Запресовування модельних композицій у прес-форми здійснюють за допомогою шприців або на механічних пресах. У потоково-масовому

виробництві застосовують установки, на яких всі операції, починаючи від приготування модельних композицій до заповнення прес-форм і вилучення моделей, виконуються автоматично.

Моделі зберігають або в холодній проточній воді або в термостатах. Одночасно з моделями виготовляють і елементи ливникових систем.

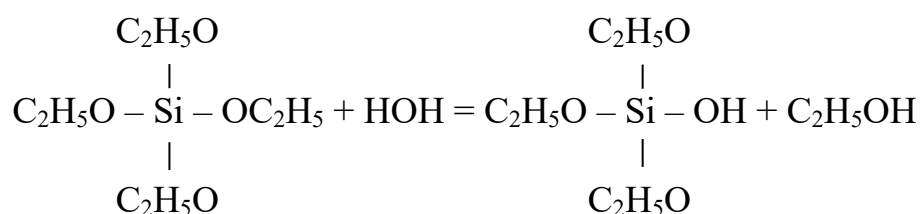
Виготовляють блоки моделей, тобто складають декілька моделей на одній ливниковій системі паянням моделей до стояка за допомогою електропаяльників, які мають наконечник у вигляді леза ножа. Цей спосіб виготовлення блоків малопродуктивний, тому застосовується в умовах дрібносерійного виробництва і для виробництва відносно крупних виливків.

В умовах масового виробництва виготовляють не моделі, а модельні ланки, тобто моделі і елементи ливникової системи виконуються разом в одній прес-формі. За допомогою спеціальних каркасів модельні ланки збирають у блоки і передають на подальші операції.

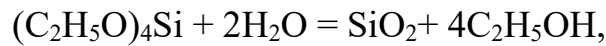
Нероз'ємні оболонкові форми виготовляють шляхом багаторазового занурення блоку моделей у вогнетривку суспензію. Для отримання якісного вилівка керамічна вогнетривка форма має бути достатньо міцною, піддатливою, газопроникною і хімічно інертною до сплаву, яким її заливають.

Як вогнетривкі матеріали до складу суспензії вводять пилоподібний (природний або плавлений) кварц, дистен-силіманіт, електрокорунд, циркон тощо. Зв'язувальним компонентом в суспензіях є гідролізований розчин етилсилікату. Він відноситься до групи кремнійорганічних сполук і є сумішшю моно -, ди -, три -, тетра -, пента - і гексаєфірів кремнієвої кислоти.

Зв'язувальні властивості етилсилікат набуває тільки після гідролізу, описуваного наступною реакцією:



Ступінь гідролізу етилсилікату залежить в основному від складу етилсилікату і кількості води. Так гідроліз 1 моля моноетеру 2-ма молями води проходить за реакцією:



а за більшої кількості води утворюються різні кремнієві кислоти від трикремнієвої ($\text{H}_2\text{Si}_3\text{O}_7$) до ортокремнієвої (H_4SiO_4).

Оскільки етилсилікат з водою не змішується, гідроліз проводять шляхом попереднього розчинення води у спирті, які разом добре розчиняються в етилсилікаті. Кількість води, необхідної для гідролізу етилсилікату, визначають за номограмою (рис. 1.1) або розраховують за методом Озерова В. А.:

$$x = 0,004 M \cdot a, \quad (1.1)$$

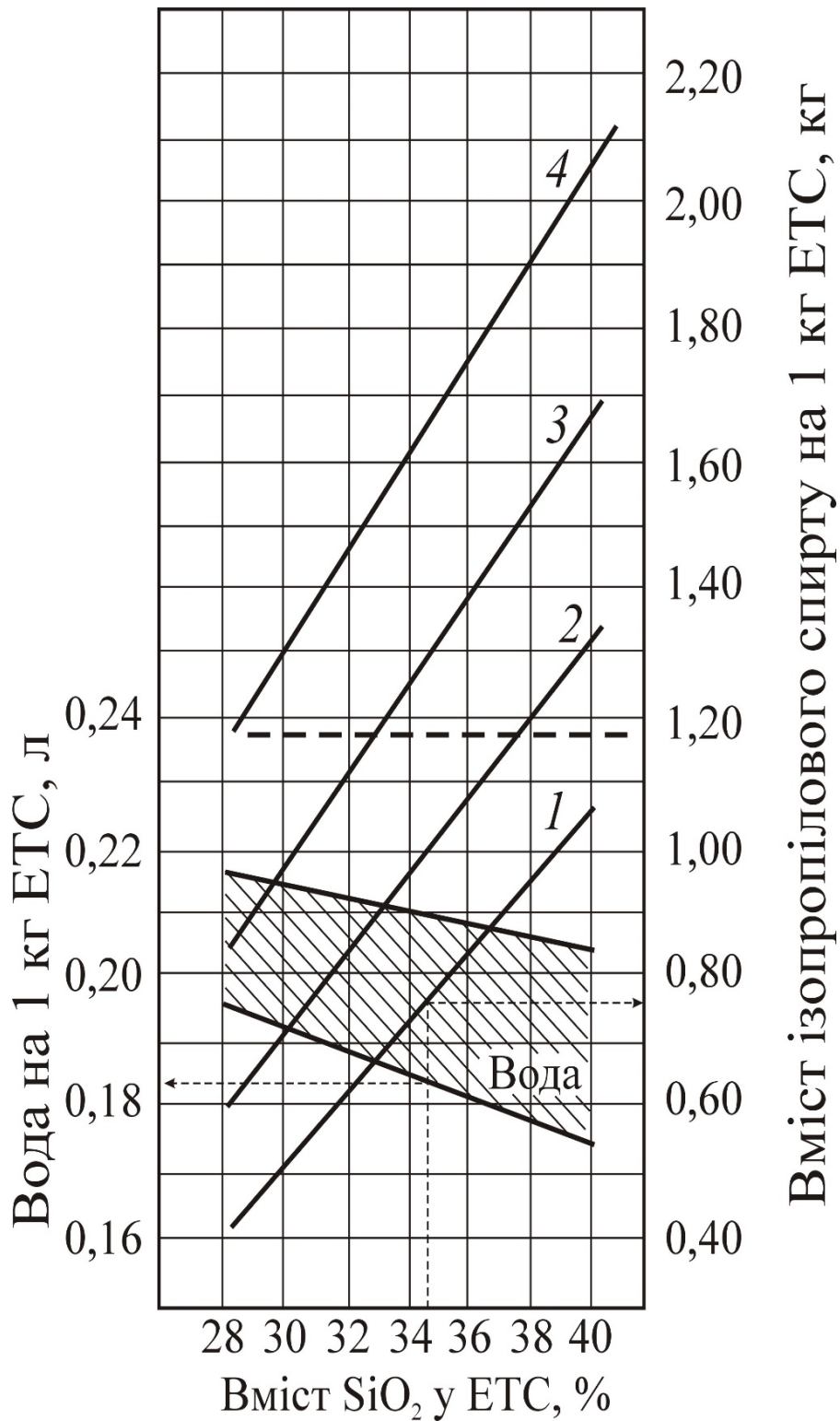
де x – кількість води, л або кг;

a – вміст етоксильних груп ($\text{C}_2\text{H}_5\text{O}$) в етилсилікаті, мас. % (визначають за сертифікатом);

M – кількість води на одну етоксильну групу, $M = 0,25 \dots 0,35$ моль для повітряно-аміачного сушіння оболонок, $M = 0,6 \dots 0,8$ моль – для повітряного сушіння оболонок.

Розрахована кількість води зменшується на кількість її вмісту в спирті (від 4 % до 6 %).

Для прискорення процесу гідролізу здійснюють з використанням соляної кислоти, яка є каталізатором.



1 – для мідних сплавів; 2 – для сталевих виливків; 3 – для чавунних виливків;
4 – для магнієвих сплавів

Рисунок 1.1 – Номограма для розраховування кількості води та спирту для гідролізу етилсилікату

Кількість соляної кислоти визначають за формулою:

$$K = 0,114 \cdot a, \quad (1.2)$$

де K – кількість HCl на 1 кг етилсилікату, мл.

Процес гідролізу проводять в такій послідовності. У гідролізер (посудина, обладнана пропелерною мішалкою і «сорочкою» для водяного охолодження) вводять розрахункову кількість води, соляної кислоти, спирту, етилсилікату, перемішують розчин до тих пір, поки він не охолоне. Для закінчення процесу гідролізу розчин витримують від 2 год до 18 год.

Цей спосіб гідролізу етилсилікату називають роздільним, оскільки для приготування вогнетривкої суспензії пилоподібний матеріал додають після закінчення реакції гідролізу.

За суміщеного способу гідроліз ведуть у наступній послідовності. У гідролізер заливають етилсилікат і розчинник, перемішують від 1 хв до 2 хв, після чого вводять воду, що підкислена HCl та пилоподібний матеріал. Для усунення шкідливого впливу на гідролізований розчин домішок, які містяться в зернах наповнювача, додають H₂SO₄ (у такій же кількості, як HCl).

Перемішування продовжують до охолодження отриманої суспензії (≈ 1 год). Гідроліз за суміщеного способу здійснюється швидше. Оболонки із суспензій, приготованих цим методом, характеризуються вищою міцністю, ніж оболонки, приготовані роздільним способом.

Суспензії роздільним способом гідролізу етилсилікату готують в мішалках, змішуючи гідролізований розчин і пилоподібний наповнювач. Суміш перемішують до повного видалення бульбашок повітря.

Керамічні форми виготовляють шляхом повторення (3...6 разів) операцій занурення блоку моделей у вогнетривку суспензію, обсипання

їх кварцовим піском і сушіння протягом 4...6 год на повітрі, або 2 год в середовищі аміаку в спеціальних шафах.

Технічні характеристики етилсилікатів та міцність керамічних оболонкових форм показано у таблиці 1.1 та таблиці 1.2 відповідно.

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики етилсилікатів

| Показник | ЕТС 32 | ЕТС 40 | ЕТС 50 |
|--|---|------------------|------------------|
| Зовнішній вид | Прозора безкольорова рідина (або від світло-жовтого до світло-коричневого кольору) | | |
| Густина за 20 °С, г/см ³ | < 1,0 | від 1,04 до 1,07 | від 1,18 до 1,25 |
| Вміст НСІ, мас. % | < 0,1 | 0,1 | < 0,1 |
| Вміст SiO ₂ , мас. % | від 30 до 34 | від 38 до 42 | від 51 до 54 |

Таблиця 1.2 – Механічні властивості керамічної оболонки

| № з/л | Вміст SiO ₂ у розчині, % | Міцність під час вигину, МПа |
|----------|-------------------------------------|------------------------------|
| 1 | 18 | від 1,0 до 1,2 |
| 2 | 16 | від 0,8 до 1,0 |
| 3 | 14 | від 0,6 до 0,8 |
| 4 | 12 | від 0,4 до 0,6 |

Після нанесення на блок вогнетривкого покриття з необхідною товщиною модель із форми видаляють витоплюванням. Для цього блок моделей з вогнетривким покриттям поміщають в електропечі, або витоплюють гарячою водою, або перегрітою парою.

Після видалення моделей блоки заформовують у контейнерах сухим кварцовим піском і прожарюють в електричних або газових печах

за температури від 850 °С до 900 °С не менше 2 годин з метою зміцнення оболонки і видалення з неї залишків модельного матеріалу та інших газотвірних речовин.

Потім форми вилучають з печі і заливають розплавом. Виливки з форми вибивають після їх охолодження. Очищення виливків від вогнетривкого покриття є дуже трудомісткою операцією. Застосовують різні способи очищення: вібраційне, гідро піскоструминне, хіміко-термічне в розплавах лугів тощо.

2 Техніка безпеки в процесі виготовлення виливків литтям за моделями, що витоплюють

1. Приміщення для приготування модельних композицій і вогнетривких суспензій має бути забезпечено припливно-витяжною вентиляцією.

2. Витоплювати моделі слід у ваннах завантажених не більш, ніж на $\frac{3}{4}$ об'єму.

3. Не допускається перегрівання модельних матеріалів, оскільки може відбутися їх термодеструкція з утворенням горючих газів.

4. Електронагрівальні пристрої не повинні мати відкритих нагрівачів і мають бути заземлені.

5. Піскосипи для обсіпання моделей піском мають забезпечуватися витяжною вентиляцією для видалення пилу.

6. Готувати модельні композиції і вогнетривкі суспензії, а також працювати з останніми слід в гумових рукавичках і захисних окулярах.

7. Весь інструмент для плавлення та заливання має бути пофарбованим, добре просушеним і нагрітим до температури не менше 100 °С.

8. Залити розплав у форми необхідно спокійним струменем, направляючи його у середину ливникової чаші та не допускати переливу.

9. У процесі перенесення розплаву ручним ковшем його необхідно тримати збоку і позаду, щоб він не потрапив на ноги.

10. Розливати розплав слід тільки у спецодязі і захисних окулярах, або в масці.

3 Устаткування, інструменти та матеріали

Розривні машини: моделі МР-100 для випробовування металевих зразків на тимчасовий опір розриванню і моделі РМ-3 для визначення міцності на розривання модельних матеріалів; установка для визначення міцності на вигин оболонок; прес-форми для виготовлення циліндричних зразків на розривання (рис. 1.2), плоских зразків – на вигин (рис. 1.3), круглих зразків – на газопроникність (рис. 1.4); печі: тигельна – для плавлення алюмінієвих сплавів, нагрівальна силітова – для прожарювання оболонок; водяна баня для приготування модельних композицій; ручний прес для запресовування модельних композицій; пропелерна мішалка для гідролізу етилсилікату і приготування вогнетривких суспензій; шприц для запресовування пастоподібних модельних композицій у прес-форми; електропаяльник з плоским ножом для паяння моделей в блоки; піскосип для обсипання блоків кварцовим піском; компресор для отримання стисненого повітря з тиском від 0,6 МПа до 0,7 МПа; термостат для термостатування модельних композицій; термопара з приладом для контролю температури рідкого металу; віскозиметр ВЗ-4; прилад для визначення газопроникності; термометри із стоградусною шкалою для контролю температури зв'язувального компонента в процесі гідролізу і температури модельних композицій; чотири бачки для модельних матеріалів і п'ять посудин з корозійностійкої сталі для гідролізованого розчину етилсилікату і суспензій; ванна для охолодження прес-форм і ванна для охолодження і зберігання моделей; контейнери для формування, прожарювання блоків і кліщі для їх транспортування в гарячому стані; ножівка для відрізання

зразків від ливникової системи; ківш для розливання металу; парафін і стеарин для модельних композицій; етилсилікат, спирт, соляна і сірчана кислоти – для приготування розчину зв’язувального компонента; пилоподібний кварц для приготування вогнетривкої суспензії; кварцовий пісок для обсіпання моделей; алюмінієвий сплав; спецодяг і обтиральний матеріал; фільтрувальний папір.

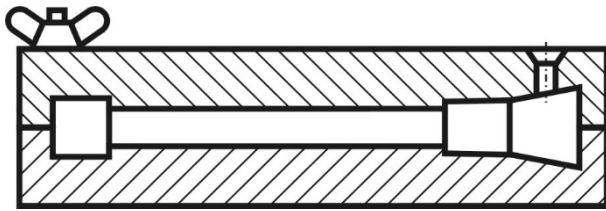
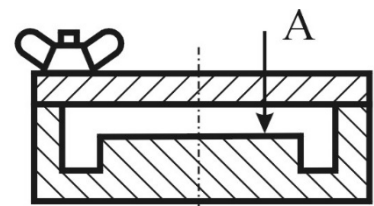


Рисунок 1.2 – Прес-форма для виготовлення моделей циліндрових зразків на розрив



Вид А

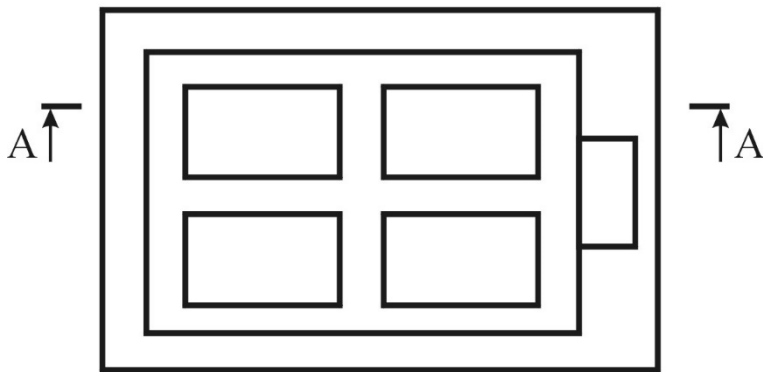
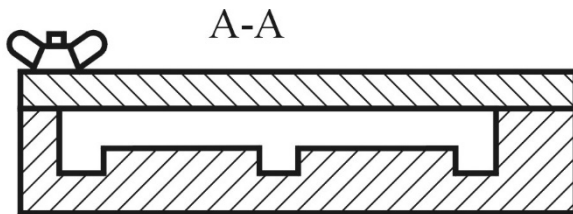
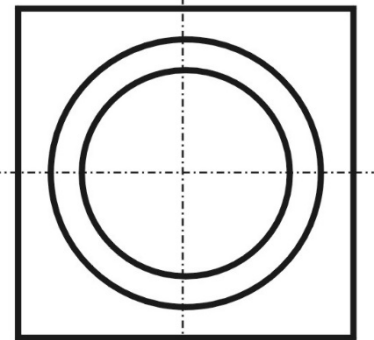


Рисунок 1.3 – Прес-форма для виготовлення моделей плоских зразків на вигин

Рисунок 1.4 – Прес-форма для виготовлення моделей круглих зразків на газопроникність

4 Послідовність виконання роботи

1. Приготувати пастоподібну модельну композицію марки ПС 50-50.

2. Виготовити моделі наступних зразків:

– циліндричних (див. рис. 1.2) для визначення тимчасового опору розриванню – 7 шт. (1 зразок – для визначення тимчасового опору розриванню модельної композиції марки ПС50-50; 6 зразків – для виготовлення блоків моделей з різними способами заливання сплаву – сифонною та верхньою ливниковими системами);

– циліндричних з поглибленням на 3 мм (див. рис. 1.4) для виготовлення круглих оболонок у вигляді коржиків для визначення газопроникності керамічної форми – 2 шт.

3. Визначити тимчасовий опір розриванню модельної композиції.

4. Вміст повітря в пастах визначають за різницею об'ємів зразків, виготовлених з однієї і тієї ж порції модельної композиції у пастоподібному і розплавленому стані. Для цього у прес-форму (див. рис. 1.2) запресовується пастоподібний матеріал (V_0). Після затвердіння зразок виймають, протирають фільтрувальним папером і визначають його об'єм шляхом занурювання у воду в мірному циліндрі. Потім його розплавляють і заливають у ту ж прес-форму.

Після затвердіння зразка, знову визначають його об'єм (V).

Кількість повітря в пасті розрахувати за формулою:

$$B = \frac{V_0 - V}{V} \cdot 100\% \quad (1.3)$$

де V_0 , V – об'єм зразків, виготовлених відповідно з пастоподібного матеріалу, тобто з повітрям, і з розплавленого, тобто без повітря, мл.

5. Узагальнити експериментальні дані щодо властивостей модельного матеріалу.

6. Провести дослідження впливу в'язкості вогнетривкої суспензії на міцність та газопроникність оболонкових форм.

6.1 За номограмою (див. рис. 1.1) визначити вміст води та спирту за умови сушіння оболонок у вологому повітрі і зважити кожний з перерахованих компонентів.

6.2 Способом роздільного приготування зробити чотири вогнетривкі суспензії із вмістом наповнювача 50; 100; 150 та 200 % від маси гідролізованого розчину послідовним додаванням розрахованої кількості пилоподібного кварцу в суспензію, визначаючи кожен раз її в'язкість, а потім довести в'язкість до 30...35 с та визначити значення **X** (табл. 1.3) за віскозиметром ВЗ-4. Дані занести до таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Властивості суспензій із різним вмістом пилоподібного кварцу

| Властивості вогнетривких суспензій | Вміст пилоподібного кварцу в суспензії, % | | | | |
|------------------------------------|---|-----|-----|-----|---|
| | 50 | 100 | 150 | 200 | X |
| В'язкість, с | | | | | |
| В'язкість середня, с | | | | | |
| Тимчасовий опір розриванню, МПа | | | | | |
| Газопроникність, од | | | | | |

6.3 Виготовити зразки для визначення міцності та газопроникності оболонки. Для цього на кожну модель, виготовлену в прес-формах (див. рис.1.3, 1.4), по черзі наносять шар вогнетривкої суспензії із в'язкістю від 30 с до 35 с, обсипають кварцовим піском і сушать протягом 2,5 год. Після нанесення кожного шару зовнішню площину моделей очищають від обмазки. Вказані операції повторюють до отримання зразків завтовшки 3 мм.

Після закінчення сушіння моделі розплавляють, зразки вилучають.

Зразки прожарюють за температури 900 °С протягом 2 год і піддають випробуванням на вигин і на газопроникність.

Межу міцності вогнетривкого покриття за статичного вигину, Н/м², визначають за формулою:

$$\sigma_B = \frac{M}{W} = \frac{3 \cdot P \cdot l}{2 \cdot b \cdot h^2}, \quad (1.4)$$

де M – максимальний вигинальний момент:

$$M = \frac{1}{2} P \cdot l, \quad (1.5)$$

де W – момент опору для прямокутного перерізу,

$$W = \frac{b \cdot h^2}{\sigma}, \quad (1.6)$$

де P – навантаження під час зламу зразка, Н;

l – довжина розрахункової ділянки зразка (відстань між опорами),

$l = 0,03$ м;

b – ширина зразка, м;

h – товщина зразка в місці зламу, виміряна після випробування, м.

7. Узагальнити експериментальні дані щодо властивостей вогнетривких суспензій та зробити висновок щодо оптимального їх складу.

8. Дослідити вплив способу підведення металу в форму на механічні властивості литих зразків.

8.1 З пастоподібної модельної композиції ПС 50-50 виготовити дві моделі колектора, методом занурення в розплавлений модельний склад підготувати два стояки і зібрати (спаяти) моделі в блоки. Один блок виготовити з верхньою ливниковою системою, а другий – з сифонною. Складання моделей в блоки виконувати у такій послідовності: до колектора припаяти три моделі розривних зразків, розташовуючи їх під кутом 120° один до одного на діаметрі 50 мм, після чого припаяти стояк.

8.2 На блоки моделей нанести чотиришарове покриття вогнетривкої суспензії в'язкістю від 30 с до 35 с, піддаючи двогодинному сушінню кожен шар після обсипання його кварцовим піском в пікосипі; витопити моделі; заформувати блоки в сипкий наповнювач і прожарити за температури 900°C протягом 4 год.

8.3 Форми охолодити разом з піччю до 400°C і залити алюмінієвим сплавом.

8.4 Після кристалізації металу вибити форми, охолодити та відрізати розривні зразки ножівкою.

8.5 Випробувати зразки на тимчасовий опір розриванню, одержані дані занести в табл. 1.4.

8.6 Оцінити якість литої поверхні зразків і вплив способу підведення металу в форму на механічні властивості виливків (зразків). Пояснити одержані дані.

Таблиця 1.4 – Тимчасовий опір розриванню зразків за різних способів підведення металу

| Спосіб підведення металу | Тимчасовий опір розриванню, σ_B , МПа | | | |
|--------------------------|--|------------|------------|---------------|
| | σ_1 | σ_2 | σ_3 | σ_{cp} |
| Зверху | | | | |
| Знизу | | | | |

5 Аналіз отриманих результатів та висновки

За одержаними результатами визначити та побудувати графічні залежності властивостей вогнетривкої суспензії – від її складу та алюмінієвого сплаву – від способу підведення металу. На графічних залежностях побудувати довірчі інтервали (додаток А).

Проаналізувати отримані графічні залежності та зробити висновки щодо удосконалення технологічного процесу виготовлення виливків литтям за моделями, що витоплюють.

6 Контрольні питання

1. У чому полягає сутність лиття за моделями, що витоплюють?
2. Наведіть основні переваги та недоліки способу лиття за моделями, що витоплюють.
3. Перерахуйте основні вихідні матеріали для модельних композицій.
4. Опишіть технологію приготування модельних композицій.
5. Наведіть компоненти вогнетривких суспензій.
6. У чому полягає мета гідролізу етилсилікату?
7. Опишіть технологію нанесення вогнетривких суспензій на моделі.
8. Наведіть способи видалення моделей з оболонок.
9. Яке призначення прожарювання оболонок (кераміки)?
10. Наведіть способи очищення виливків від залишків оболонок.
11. Перерахуйте основні правила техніки безпеки в процесі виготовлення виливків литтям за моделями, що витоплюють.
12. Наведіть правила роботи з номограмою гідролізу етилсилікату.

7 Оформлення звіту

Звіт має містити такі матеріали:

- назву та мету роботи, короткі теоретичні відомості;
- послідовність виконання роботи та схеми прес-форм;
- результати досліджень з відповідними розрахунками у вигляді таблиць та графіків;
- аналіз отриманих результатів та висновки.

8 Список рекомендованої літератури

Літературні джерела: [1-3], [6-12].

Лабораторна робота № 2

ВПЛИВ ГРАНУЛОМЕТРИЧНОГО СКЛАДУ ПІНОПОЛІСТИРОЛУ НА ЯКІСТЬ МОДЕЛЕЙ І ВИЛИВКІВ УЛИТТІ ЗА МОДЕЛЯМИ, ЩО ГАЗИФІКУЮТЬСЯ

Мета роботи: дослідити тривалість підспінювання полістиролу на насипну масу гранул; вплив насипної маси гранул пінополістиролу на об'ємну масу і шорсткість поверхні моделі, а також на якість виливків.

Робота розрахована на 6 годин.

1 Загальні відомості

Лиття за моделями, що газифікуються – це процес виготовлення виливків вільним заливанням металу в форму, з якої не видаляють модель.

Застосування моделі, яка не видаляється з форми, забезпечує підвищену (в порівнянні з литтям у піщано-глинясту форму) точність виливків, спрощує процес виготовлення ливарних форм, знижує припуски на механічне оброблення, зменшує трудомісткість обрубкування і очищення виливків.

Недоліки способу: одноразове використання моделі, поява у виливках коксогазових раковин і плівок піровуглецю через газифікацію моделі, а також погіршення санітарно-гігієнічних умов праці в ливарних цехах.

Метод литва за моделями, що газифікуються, застосовують в умовах індивідуального виробництва для виготовлення штампів, великих виливків із чавуну і сталі масою від декількох кілограмів до декількох тон. Спосіб одержав застосування у масовому виробництві різних за конфігурацією і масою виливків, а також замість способу лиття за моделями, що витоплюють.

Технологія литва за моделями, що газифікуються. Сутність процесу заснована на властивості модельного матеріалу – пінополістиролу – розкладатися та газифікуватися під дією високих температур і полягає в тому,

що модель заформовують у формувальну суміш, сухий пісок, або у феромагнітний матеріал. Виготовлену форму заливають металом. Під час заливання металу модель газифікується, метал заповнює місце, яке звільнюється в формі, і точно відтворює контури моделі.

Пінополістирол є синтетичним полімером, який отримують полімеризацією стиролу, він складається із замкнених кульок, які наповнені газом або повітрям.

Розрізняють пресовий та безпресовий методи виробництва моделей із пінополістиролу.

Перший метод використовують для одержання пінополістиролових плит, з яких виготовляють моделі одиничних виливків подібно виготовленню дерев'яних моделей.

Безпресовий метод складається з двох стадій: одержання гранул полістиролу, насичених легколетким компонентом (ізопентаном), та їх спінювання в металевих прес-формах, за якого відбувається «спікання» гранул в єдиний блок. Цей метод застосовують для масового виробництва моделей.

У процесі виготовлення моделі гранули пінополістиролу піддають двостадійному обробленню. Спочатку гранули підспінюють, тобто збільшують їх об'єм шляхом короткочасного (від 1 хв до 5 хв) нагрівання за температури від 105 °С до 110 °С, потім відбувається період активації, тобто охолодження і витримання на повітрі для вирівнювання тиску між порами гранул пінополістиролу і навколишнім середовищем. Після цього гранули повторно спінюють у прес-формах.

Спінювання гранул відбувається під дією надмірного тиску, який виникає в гранулах через випаровування ізопентану і розм'якшення за температур від 80 °С до 90 °С самого полістиролу.

Під час остаточного спінювання в процесі нагрівання гранули знову розм'якшуються, збільшуються в об'ємі, заповнюють всі порожнечі та створюють тиск всередині прес-форми до 0,25 МПа, під дією якого гранули

«спікаються» в єдину масу – модель. У процесі охолодження прес-форми відбувається оскляніння полістиролу та конденсація ізопентану, після чого прес-форму розкривають і вилучають з неї модель.

Моделі фарбують самовисихаючими фарбами, заформовують у наповнювачі та заливають металом.

2 Техніка безпеки в процесі виготовлення виливків литтям за моделями, що газифікуються

1. Для запобігання викиду металу з форми на початку заливання, стояк необхідно робити порожнистим (із пінополістиролу за дерев'яною моделлю або металевою, в шамотній або піщано-рідкоскляній трубці).

2. Дільниця заливання має бути обладнана місцевою припливно-витяжною вентиляцією. Форми, що заливають, повинні знаходитися під витяжним зонтом, оскільки під час заливання чавуну і сталі виділяється велика кількість кіптяви і диму.

3. Підспінювання гранул полістиролу і виготовлення моделей у прес-формах мають здійснюватись під витяжними зонтами, оскільки під час нагрівання з полістиролу виділяється мономер, гранично допустима концентрація якого в повітрі 5 мг/м^3 .

4. Під час зберігання пінополістиролу і моделей, виготовлених з нього, необхідно дотримуватись правил пожежної безпеки, оскільки він займається за температури від $550 \text{ }^\circ\text{C}$ до $600 \text{ }^\circ\text{C}$.

5. Механічне оброблення пінополістиролу необхідно здійснювати на верстатах, обладнаних витяжною вентиляцією, оскільки пил пінополістиролу під час змішування із повітрям стає вибухонебезпечною сумішшю.

3 Устаткування, інструменти і матеріали

Прес-форми для виготовлення моделей; водяна баня, сито і капроновий ківш для підспінювання полістиролу та нагрівання прес-форм; секундомір; мірний циліндр; ваги типу ВЛТК; спінюваний полістирол; піч для плавлення алюмінію; ківш для розливання металу; мило господарське; спецодяг.

4 Послідовність виконання роботи

1. Нагріти воду у водяній бані до кипіння, занурити в киплячу воду капроновий ківш або сито, зважити 0,01 кг полістиролу і помістити його в ківш.

2. Витримати полістирол у водяній бані 150 с, безперервно перемішуючи, після цього вийняти ківш, і підспінений полістирол сушити на повітрі протягом 2 год. Аналогічно спінити ще дві наважки полістиролу, змінюючи час їх витримування у воді.

3. Сухі спінені гранули помістити в мірний циліндр і заміряти об'єм, який вони займають, ущільнюючи гранули струшуванням циліндру до припинення змінення об'єму. Визначивши об'єм, який займають гранули, розрахувати насипну масу полістиролу:

$$\rho_{i.i} = \frac{P}{V}, \quad (2.1)$$

де $\rho_{н.м}$ – насипна маса спіненого полістиролу, кг/м³;

P – маса наважки полістиролу, кг;

V – об'єм спіненого полістиролу, м³.

4. Операції за п. п. 1...3 повторити, витримавши полістирол у водяній бані 300, 450 і 600 с.

Одержані дані занести у таблицю 2.1 і побудувати графік залежності насипної маси від тривалості спінювання полістиролу.

Таблиця 2.1 – Насипна маса полістиролу залежно від тривалості підспінювання

| Тривалість спінювання, с | Насипна маса полістиролу, кг/м ³ | | | |
|--------------------------|---|----------|----------|--------------------|
| | ρ_1 | ρ_2 | ρ_3 | $\rho_{\text{ср}}$ |
| 150 | | | | |
| 300 | | | | |
| 450 | | | | |
| 600 | | | | |

5. Визначити об'єм моделі таким чином: у мірний циліндр засипати та струшуванням ущільнити сухий кварцовий пісок до припинення зміни об'єму. Після цього пісок з циліндра пересипати в прес-форму до її заповнення та за різницею початкового і кінцевого об'ємів визначити об'єм моделі.

З підспінених за різного часу витримки гранул полістиролу виготовити моделі. Для цього підспінені гранули витримати на повітрі за нормальної температури (від 20 °С до 25 °С) не менше доби для їх активації. Потім прес-форму змастити розділовим покриттям (від 5 % до 8 % господарського мила та від 92 % до 95 % води) і заповнити гранулами.

Заповнену гранулами прес-форму занурити у водяну баню і витримати з розрахунку від 120 с до 180 с на кожні 0,01 м товщини стінки моделі. Потім прес-форму вилучити з бані і охолоджувати в проточній воді, вилучити модель, сушити на повітрі і зважити. За масою та об'ємом моделі визначити її об'ємну масу, дані занести у таблицю 2.2 і побудувати графік залежності

об'ємної маси моделі від тривалості попереднього спінювання гранул полістиролу.

Таблиця 2.2 – Об'ємна маса пінополістиролових моделей залежно від тривалості підспінювання

| Тривалість спінювання, с | Об'ємна маса моделі, кг/м ³ | | | |
|--------------------------|--|-------|-------|----------|
| | m_1 | m_2 | m_3 | m_{cp} |
| 150 | | | | |
| 300 | | | | |
| 450 | | | | |
| 600 | | | | |

6. Із залишків підспіненого полістиролу, за наведеною технологією отримання моделей, виготовити 2 стояка.

7. В стояку прорізати пази у вигляді «хвіст ластівки». Для отримання блоку моделей у пази встановити виготовлені моделі.

8. Заформувати блоки моделей в контейнерах сухим кварцовим піском і залити алюмінієвим сплавом. Після кристалізації металу вилучити виливки із контейнерів та охолодити у воді.

9. Проаналізувати одержані результати, зробити висновок щодо оптимального режиму попереднього спінювання полістиролу і оцінити якість поверхні моделей.

10. Оцінити якість виливків залежно від об'ємної маси моделі, а саме візуально порівняти рельєф поверхні моделі з її відтворенням на виливку при використанні однакових фракції і ущільненні кварцового піску.

5 Аналіз отриманих результатів та висновки

За одержаними результатами визначити та побудувати графічні залежності насипної маси пінополістиролу та об'ємної маси моделі від тривалості підспінювання. На графічних залежностях побудувати довірчі інтервали (додаток А).

Проаналізувати отримані графічні залежності та зробити висновки щодо удосконалення технологічного процесу виготовлення виливків литтям за моделями, що газифікуються.

6 Контрольні питання

1. У чому полягає сутність способу лиття за моделями, що газифікуються?

2. Наведіть основні переваги та недоліки способу лиття за моделями, що газифікуються.

3. Опишіть технологію виготовлення моделей в одиничному та масовому виробництві.

4. Розкрийте сутність пресового та безпресового методів виготовлення моделей із пінополістиролу.

5. Яка мета підспінювання та активації гранул пінополістиролу?

6. Опишіть особливості формування та заливання пінополістиролових моделей.

7. Наведіть приклади розраховування часу спінювання моделей із пінополістиролу.

8. Порівняйте властивості підспіненого полістиролу за різною температурою та тиском.

9. Наведіть основні правила техніки безпеки під час виготовлення моделей із пінополістиролу та виливків.

10. Яким чином впливає час підспінювання на якість пінополістиролових моделей та виливків?

11. Які технологічні особливості має процес формоутворення в литті за моделями, що газифікуються?

7 Оформлення звіту

Звіт має містити такі матеріали:

- назву та мету роботи, короткі теоретичні відомості;
- послідовність виконання роботи;
- результати досліджень з відповідними розрахунками у вигляді таблиць та графіків;
- аналіз отриманих результатів та висновки.

8 Список рекомендованої літератури

Література: [4], [10], [13].

Лабораторна робота № 3

ВИЗНАЧЕННЯ РІДКОТЕКУЧОСТІ СТАНДАРТИЗОВАНОГО СПЛАВУ АЛЮМІНІЮ ПРИ ЗМІНІ ТОВЩИНИ ПОКРИТТЯ ЛИТТЯМ У КОКІЛЬ

Мета роботи: дослідити вплив товщини вогнетривкого покриття на рідкоплинність і якість поверхні алюмінієвих сплавів, одержаних литтям у кокіль за допомогою спеціальної технологічної проби.

Робота розрахована на 6 годин.

1 Загальні відомості

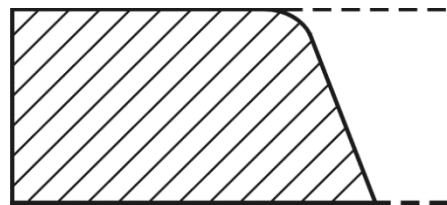
Рідкотекучість – це здатність сплаву в рідкому стані заповнювати порожнину ливарної форми. Ця властивість сплаву впливає не лише на заповнення форми, але і на отримання якісних виливків без усадкових дефектів та тріщин. Якщо сплав має низьку рідкотекучість, то під час заповнення тонкостінних великогабаритних форм рух розплаву може припинитися раніше, ніж форма буде заповнена. В результаті утворюється дефект, що називається недоливом (рис. 3.1, а), який не можна виправити. Виливки з таким браком переплавляють. Якщо під час заповнення форми металом з низькою рідкотекучістю виникають зустрічні потоки металу, то вони можуть не злитися, внаслідок чого утворюється отвір довільної форми (рис. 3.1, б) або наскрізна щілина (рис. 3.1, в) в стінці вилівка. Такий дефект називають неспай, і якщо розміри цього дефекту невеликі, то він може бути вирубаний до чистого металу та заварений. Заповнення ливарної форми не є чисто гідравлічним процесом, оскільки рух металу у формі супроводжується його кристалізацією. За температури нижче температури ліквідусу у розплаві утворюється тверда фаза. У міру накопичення твердої фази швидкість руху зменшується, і за наявності певного відсотку твердих

кристалів рух металу припиняється. Також на швидкість і якість заповнення металом форми впливає утворення оксидних плівок.

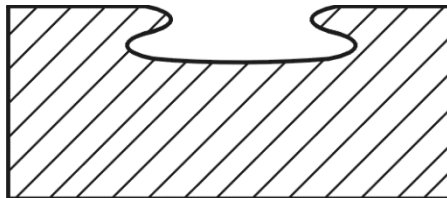
Отже, можливість заповнення ливарної форми обмежена часом, впродовж якого розплав, знаходячись у рідкому і рідко-твердому станах, зберігає здатність рухатись.

Цей час для одного і того ж сплаву за однакових гідравлічних умов заповнення визначається тепловими умовами:

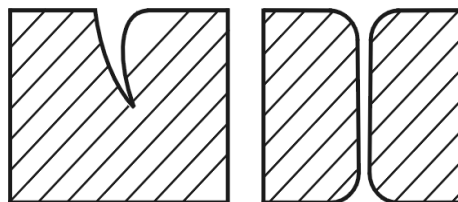
- початковими температурами рідкого металу і ливарної форми;
- їх теплофізичними властивостями, особливостями передачі теплоти на межі «метал-форма»;
- тепловим випромінюванням в порожнині ливарної форми.



a



б



в

a – недолив; *б* – неспай у вигляді отвору; *в* – неспай у вигляді наскрізної щілини

Рисунок 3.1 – Види браку за вини металу

Різні сплави за порівнянних теплових і однакових гідравлічних умов мають різну здатність рухатись і заповнювати ливарну форму. Це обумовлено передусім особливостями їх кристалізації.

Сплави з широким інтервалом кристалізації тверднуть з утворенням розгалужених дендритів, які ростуть перпендикулярно до поверхні форми, що відводить тепло, тобто упоперек руху металу, який заповнює порожнину форми. У цьому випадку «живий» переріз каналів швидко зменшується і рух металу утруднюється. Тому такі сплави заповнюють форму гірше, ніж чисті метали і евтектичні сплави, які кристалізуються за постійної температури з утворенням мало розгалужених дендритів і кристалів компактної форми. Окрім заповнення форми, важливою є точність відтворення литого рельєфу поверхні форми. Здатність сплаву відтворювати рельєф поверхні форми називають формозаповнюваністю. Зазвичай ливарна форма не змочується рідким металом, тому капілярні сили перешкоджають відтворенню неглибокого рельєфу на поверхні виливка. Чим більше поверхневий натяг розплаву і крайовий кут змочування поверхні ливарної форми та чим менше розміри виступів і западин на поверхні форми, тим гірше відтворюється рельєф форми на виливку. Для подолання капілярного протитиску потрібний додатковий металостатичний тиск. Коли метал змочує форму, поверхня контакту «метал-форма» збільшується, що викликає помітне прискорення охолодження розплаву і зменшення часу його руху. Суттєво на рідкотекучість впливають оксидні плівки, які утворюються під час контакту сплаву з повітрям та значно підвищують зусилля, необхідні для подолання поверхневого натягу. Плівки, які утворюються на поверхні розплавів, нітриди і сульфідні зменшують рідкоплинність і погіршують формозаповнюваність.

Наявність в металах і сплавах домішок в одних випадках погіршує рідкотекучість, а в інших може поліпшити її. Наприклад, модифікування значно покращує рідкотекучість, але іноді призводить до її зменшення (наприклад, у сплавах системи Al-Si). Наявність в алюмінії незначної

кількості заліза, кремнію і титану помітно погіршують його рідкотекучість, проте наявність легкоплавкої евтектики в усіх сплавах призводить до збільшення рідкотекучості. Так, додавання від 0,5 % до 1,5 % фосфору в чавун дозволяє збільшити його рідкотекучість настільки, що з такого чавуну відливають тонкостінні радіатори водяного опалення, поршневі кільця двигунів внутрішнього згорання та інше тонкостінне і ажурне литво. Бронза із вмістом фосфору близько 1 % використовують для виготовлення художніх виробів: скульптур, барельєфів, тонкостінних ґрат, монументів тощо.

Тугоплавкі метали вольфрам, ванадій, титан, молібден, якими легують сплави, погіршують рідкотекучість. Такі домішки, як марганець і сірка, самі по собі не впливають на рідкотекучість, але за спільної присутності у сплавах утворюють сполуки, які знижують рідкотекучість. Для оцінки рідкотекучості сплавів необхідно враховувати величину інтервалу твердіння і приховану теплоту їх кристалізації, їх питому масу тощо.

Залежно від умов визначення, розрізняють істинну, умовно-істинну та практичну рідкотекучість.

Істинна рідкотекучість сплавів визначається за однакового перегрівання вище температури нульової рідкотекучості. Нульова рідкотекучість сплавів, тобто температура, за якої сплав втрачає рухомість, настає за температури, яка лежить між температурами (лініями) ліквідусу та солідусу за наявності відповідної кількості твердої фази. Відомо, що нульова рідкотекучість чавуну спостерігається за концентрації твердої фази близько 30 %, а сталі – близько 20 %. Практично важко визначити температуру нульової рідкотекучості, тому визначають не істинну, а умовно-істинну рідкотекучість сплавів за однакового перегрівання їх вище температури ліквідусу.

Під практичною розуміють рідкотекучість сплавів за сталої температури заливання для сплавів однієї системи. У цьому разі різні сплави перегрівуються вище температури ліквідусу та нульової рідкотекучості по-різному.

Теплопровідність істотно впливає на відведення теплоти в ливарну форму від металу, що заливають. Чим вища ця величина у металу і матеріалу форми, тим швидше відбувається охолодження і нижча рідкотекучість сплаву. Чим більша теплоємність матеріалу форми, тим нижчою буде рідкотекучість сплаву. Підвищення теплоємності сплаву навпаки, збільшує його рідкотекучість.

U-подібна проба Нехендзі – Самаріна (рис. 3.2) має вертикальне розташування каналу в металевій роз'ємній формі. Кількісною характеристикою рідкотекучості є довжина частини вертикального каналу діаметром 8 мм, що заповнилася, виміряна від місця переходу ширшого стояка у вузький канал.

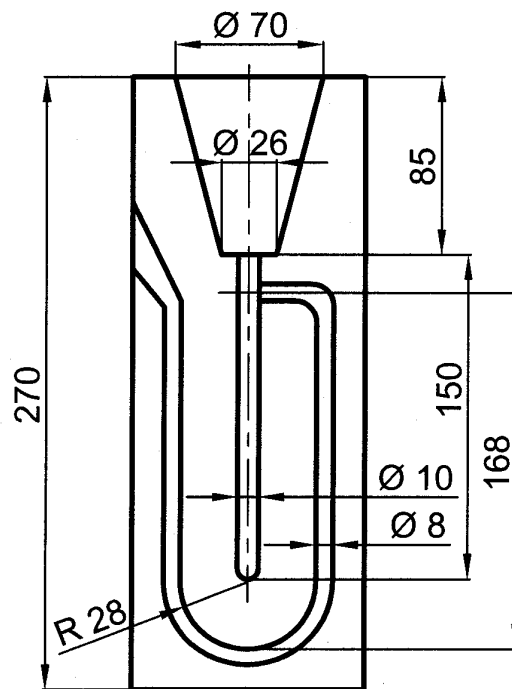


Рисунок 3.2 – U-подібна проба Нехендзі – Самаріна

2 Техніка безпеки на робочому місці

1. Під час виконання досліджень необхідно виконувати загальні правила з техніки безпеки, які наведено в розділі «Техніка безпеки».

2. Неприпустима робота з кокілями, які мають в складеному під заливання стані щілини по лінії розніму.

3. Кокілі, ковші та ложки перед заливанням мають бути просушені і підігріті не менш, ніж до 100 °С.

4. Для попередження опіків роботу з кокілем здійснювати в рукавицях, а виливок виймати з кокілю кліщами.

5. Розливання металу здійснювати тільки в спецодягу і захисних окулярах або в масці.

3 Устаткування, інструменти та матеріали

Металева форма для заливання технологічних проб, плавильна піч, вимірювальна лінійка, термопара з потенціометром, матеріали для приготування теплоізоляційного покриття, спецодяг, ківш, кліщі.

4 Послідовність виконання роботи

1. Підготувати металеву форму U-подібної проби.

2. Приготувати сплав (склад задається викладачем). Перегріти сплав на 60...100 °С вище за температуру ліквідусу. Залити пробу.

3. Охолодити виливок впродовж 1 хв у формі.

4. Вилучити виливок з форми і охолодити його на повітрі.

5. Виміряти довжину проби.

6. Приготувати і нанести один шар покриття, провести заливання, повторити операції за п. п. 3, 4, 5.

7. Визначити товщину покриття.

8. Повторити досліди за п. п.3, 4, 5 з двома і трьома шарами покриттів.

9. Проаналізувати отримані результати і побудувати графік залежності рідкотекучості від товщини покриття.

5 Аналіз отриманих результатів та висновки

За одержаними результатами визначити та побудувати графічну залежність рідкотекучості від товщини покриття. На графічній залежності побудувати довірчі інтервали (додаток А).

Проаналізувати отриману графічну залежність та зробити висновки щодо удосконалення технологічного процесу виготовлення виливків литтям у кокіль.

6 Контрольні питання

1. Що розуміють під рідкотекучістю сплавів?
2. Які чинники впливають на рідкотекучість?
3. Який зв'язок між рідкотекучістю і в'язкістю?
4. Який зв'язок рідкотекучості та інтервалу кристалізації?
5. Як визначають рідкотекучість?
6. Наведіть поняття практичної, умовної та умовно-істинної рідкотекучості.
7. Що таке нульова рідкотекучість і умови її появи?
8. Який зв'язок між рідкотекучістю і часом заливання форми?
9. Наведіть види браку виливків, пов'язаних з низькою рідкотекучістю сплавів.
10. Який вплив температури заливання на рідкотекучість сплавів?

7 Оформлення звіту

Звіт має містити такі матеріали:

- назву та мету роботи, короткі теоретичні відомості;
- послідовність виконання роботи та схему прес-форми;

- результати досліджень з відповідними розрахунками у вигляді таблиць та графіків;
- аналіз отриманих результатів та висновки.

8 Список рекомендованої літератури

Література: [5-10], [14].

ДОДАТОК А

МАТЕМАТИЧНЕ ОБРОБЛЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

Оброблення результатів вимірювань.

Під час оброблення результатів вимірювань послідовно виконують наступні операції:

1. Обчислити середнє значення з n вимірювань:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i .$$

2. Визначити абсолютні похибки окремих вимірювань:

$$\Delta x = x_i - \bar{x} .$$

3. Обчислити квадрати похибок окремих вимірювань Δx^2 :

$$\Delta x^2 = (x_i - \bar{x})^2 .$$

4. Якщо кілька вимірювань різко відрізняються за своїми значеннями від інших вимірювань, то слід перевірити, чи не є вони промахом.

Промахи – результати, які різко відрізняються від інших результатів вимірювань і є наслідком порушення умов досліду, зокрема вимірювання (неправильні дії спостерігача-експериментатора, несправність вимірювальної апаратури, різка зміна зовнішніх умов тощо).

Для невеликих вибірок, користуються критерієм Ст'юдента, у цьому випадку порівнюють: $t = \frac{|x' - \bar{x}|}{S_x}$ з табличним значенням t_p . Якщо $t > t_p$, тоді з

довірчою імовірністю P можна вважати, що результат вимірювання x' є промахом.

Якщо виключено одне або декілька вимірювань п.п. 1...4 повторити.

5. Визначити стандартне відхилення (середньоквадратичне відхилення або середню квадратичну похибку) результату серії вимірювань:

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta x^2}{n \cdot (n-1)}}.$$

6. Визначити коефіцієнт Стюдента $t_{\alpha}(n)$ для обраної надійності α (задаємося) і числа проведених вимірювань n .

7. Як межі довірчого інтервалу серії вимірювань слід взяти величину:

$$\delta = t_{\alpha}(n) \cdot S_{\bar{x}}$$

8. Записати остаточний результат у вигляді:

$$x = \bar{x} \pm \delta; \quad \alpha = 0,95.$$

9. Оцінити відносну похибку результату серії вимірювань:

$$\varepsilon = \frac{\delta}{\bar{x}} \cdot 100\%.$$

Стандартне відхилення (середньоквадратичне відхилення).

Стандартне відхилення або середньоквадратичне відхилення, позначається як S або σ – у теорії ймовірності та статистиці найпоширеніший

показник розсіювання значень випадкової величини відносно її математичного очікування. Вимірюється в одиницях виміру самої випадкової величини. По суті, якщо взяти прикладні задачі, то стандартне відхилення – це найбільш використовуваний індикатор мінливості об'єкта, який показує, на скільки в середньому відхиляються індивідуальні значення ознаки x_i від їх середньої величини \bar{x} .

Стандартне відхилення використовують під час розрахунку стандартної похибки середнього арифметичного, для побудови довірчих інтервалів, статистичної перевірки гіпотез, вимірювання лінійного взаємозв'язку між випадковими величинами.

Середньоквадратичне відхилення дорівнює кореню квадратному з дисперсії випадкової величини:

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2}$$

Відповідно до формул з обчислення дисперсії:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

За невеликої вибірки ($n \leq 50$) вводиться поправка Бесселя:

$$S = \sqrt{\frac{n}{n-1} \sigma^2} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

де S – стандартне відхилення, незміщена оцінка середньоквадратичного відхилення випадкової величини X відносно її математичного очікування;

σ^2 – дисперсія;

x_i – i -й елемент вибірки;

\bar{x} – середнє арифметичне вибірки:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

n – обсяг (розмір) вибірки.

Оброблення результатів досліджень.

На першому етапі на новому аркуші MS EXCEL слід створити таблицю з експериментальними даними у вигляді, представленою на рисунку А.1. Для наочності вхідний фактор (кількість маршаліту в розчині) позначимо X , а вихідний фактор (в'язкість) позначимо Y_1, Y_2, Y_3 (по кількості паралельних досліджень). Середнє арифметичне (математичне очікування) позначимо $Y_{\text{ср}}$. Для розрахунку середнього арифметичного, стандартного відхилення та довірчого інтервалу у відповідні комірки введемо формули і скопіюємо їх для усіх точок.

| | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K |
|---|---|-----|----------------|----------------|----------------|---------|-----------------|--------|------------|-------------------|-----------------------|
| 1 | | | | | | n | Y _{ср} | S | Scp | Кр-й Стьюдента, t | Довірчий інтервал, ДІ |
| 2 | № | X | Y ₁ | Y ₂ | Y ₃ | функція | | | | | |
| 3 | | | | | | СЧЕТ | СРЗНАЧ | СРОТКЛ | S/корень n | СТЬЮДЕНТ.ОБР | t * Scp |
| 4 | 1 | 50 | 6,5 | 9 | 6,6 | 3 | 7,37 | 1,09 | 0,63 | 1,89 | 1,19 |
| 5 | 2 | 100 | 11,1 | 8,4 | 10,2 | 3 | 9,90 | 1,00 | 0,58 | | 1,09 |
| 6 | 3 | 150 | 13,4 | 12,1 | 11,6 | 3 | 12,37 | 0,69 | 0,40 | | 0,75 |
| 7 | 4 | 200 | 20,6 | 19,4 | 17,8 | 3 | 19,27 | 0,98 | 0,56 | | 1,06 |
| 8 | 5 | 250 | 24,1 | 26,4 | 27,2 | 3 | 25,90 | 1,20 | 0,69 | | 1,31 |
| 9 | 6 | 300 | 33,4 | 36,4 | 35,7 | 3 | 35,17 | 1,18 | 0,68 | | 1,28 |

Рисунок А.1 – Введення експериментальних даних в таблицю MS EXCEL

Перший крок роботи (рис. А.2) служить для вибору потрібної функції. Всі функції розділені, залежно від свого призначення, на кілька категорій

(математичні, логічні тощо) Для оброблення даних експерименту використовують в основному статистичні функції. Тому перш за все в списку категорій вибираємо для визначення числа значень спеціальну функцію, яка називається **РАХУНОК**. У другому вікні з'являється список статистичних функцій. Якщо клацнути по будь-якій з них, внизу з'являється короткий опис функції. Спеціальним посиланням можна викликати систему допомоги Excel, в якій функція буде розібрана детально, з прикладами. Список функцій впорядкований за алфавітом.

Для введення формули з функціями використовують вхід через меню «Формули-Інші функції-Статистичні», (рис. А.2) функція **СЧЕТ** (Підраховує кількість чисел у списку аргументів). Виділивши клацанням цю функцію, натискаємо кнопку ОК.

Середнє арифметичне розраховуємо з допомогою статистичної функції **СРЗНАЧ** (Повертає середнє арифметичне аргументів).

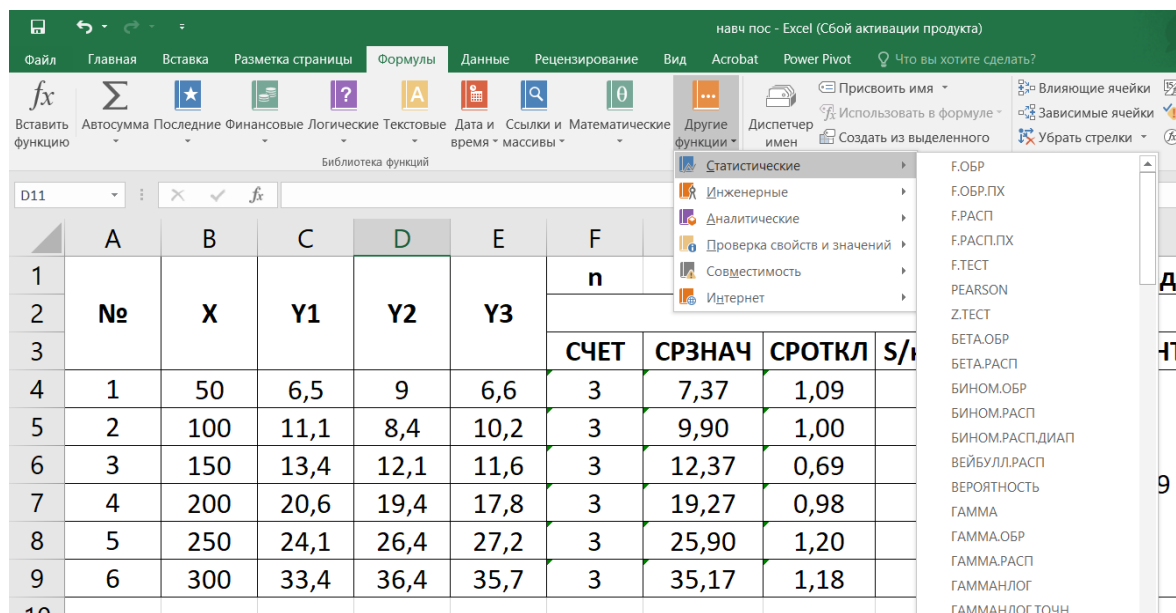


Рисунок А.2 – Приклад обирання розрахункових функцій в MS EXCEL

Розраховуємо стандартне відхилення S. В комірці H4 обираємо «Формули-Інші функції-Статистичні». У відкритому вікні натискаємо на

функцію «СРОТКЛ», в полі Число 1 зазначаємо діапазон С4:Е4 і призначаємо для всіх точок.

Стандартне відхилення середнього S_{cp} . В комірці І4 записуємо рівняння $=H4 / \text{КОРЕНЬ}(F4)$. Частково вона набирається як звичайна формула, починаючи з символу "=". Вказавши, де знаходиться подільне S (H4) і набравши знак операції (= H4 /), викликаємо майстер функцій. Функція КОРІНЬ – математична, тому на першому кроці вибираємо категорію математичних функцій. Аргументом цієї функції служить число дослідів, яке ми розраховали в комірці F4. Остаточний вигляд формули $= H4 / \text{КОРІНЬ}F4$ "

Критерій Стьюдента (t) розраховуємо із використання Статистичної функції «СТЮДЕНТ.ОБР». Обираємо надійність 90-95% (тобто вірогідність помилки 5-10%), ступінь свободи n-1(рис. А.3).

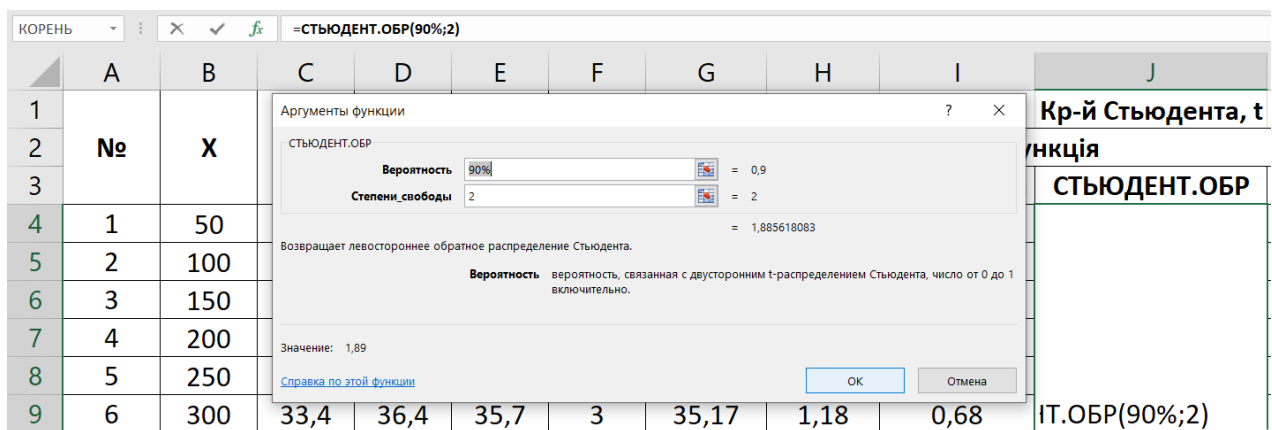
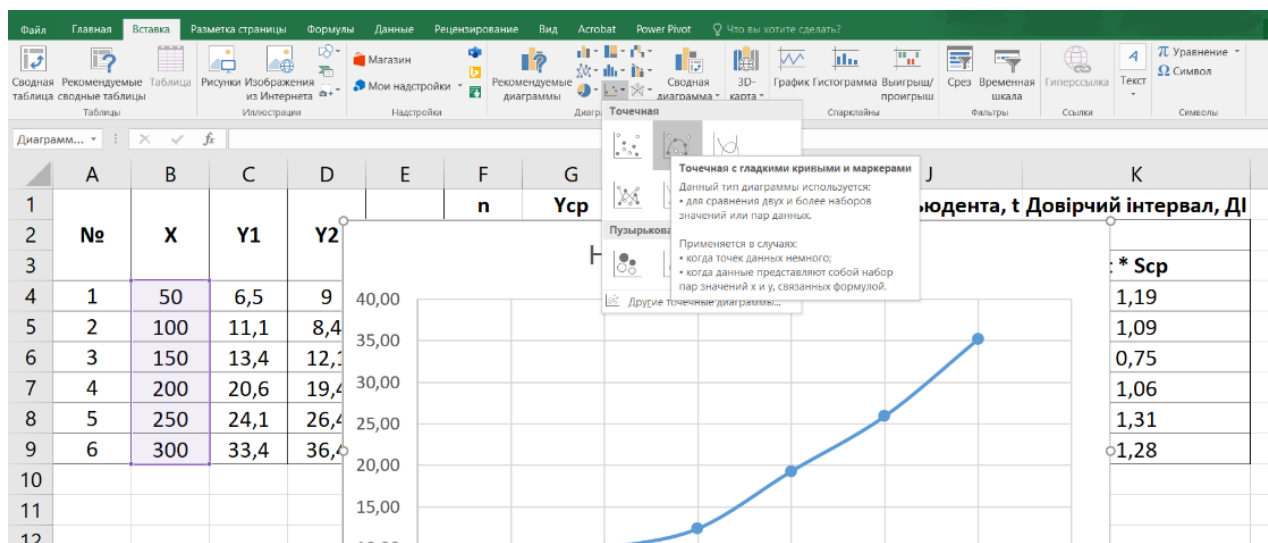


Рисунок А.3 – Приклад розрахунку Критерію Стьюдента в MS EXCEL

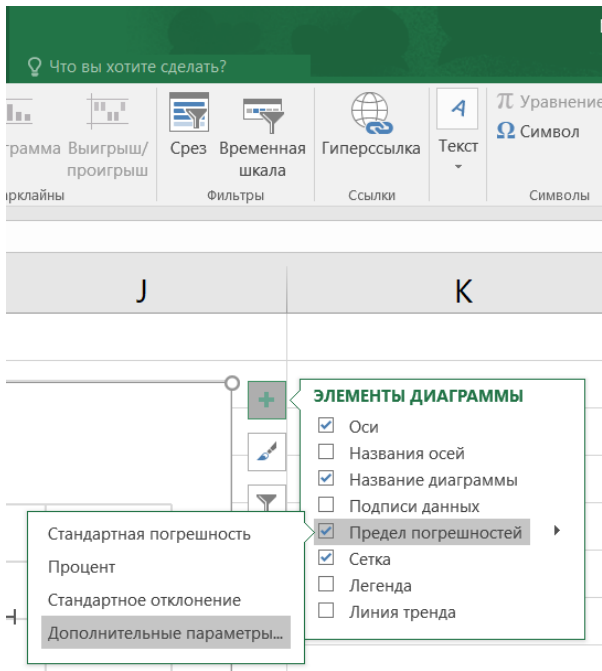
Довірчий інтервал (ДІ). Для знаходження довірчого інтервалу використовують звичайну формулу множення. Звичайно, замість букв там мають стояти адреси комірок, де знаходяться коефіцієнт Стьюдента (J4) і стандартне відхилення середнього (I4), остаточно формула виглядає: $= I4 * J4$ ".

Для побудови графіка необхідно обрати діапазон комірок B4:B9 та G4:G9 вибрати команду меню «Вставка-Діаграма-Графік». Обираємо точкову діаграму з округлими кривими та маркерами (рис. А.4).

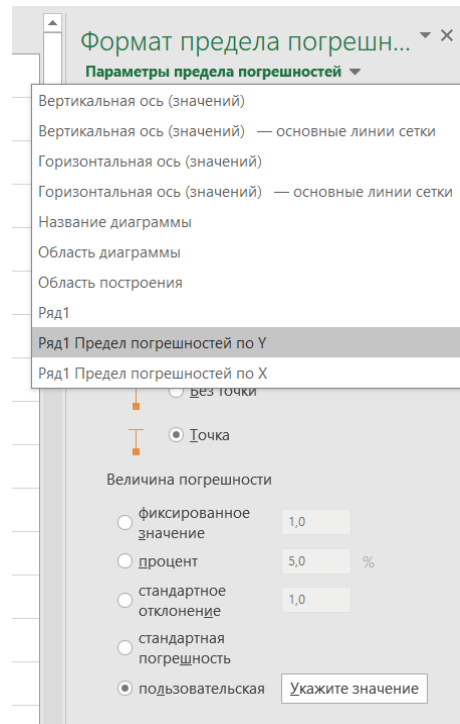
За отриманими даними побудуємо графік залежності середніх значень в'язкості суспензії від кількості маршаліту і позначимо на ньому довірчі інтервали. Натискаємо на «+» в правому верхньому куті графіку (рис. А5, а). Заходимо «Межа похибки-Додаткові параметри». У відкритому вікні натиснути «Параметри межі похибки → Ряд межі похибок по Y (рис. А.5, б). Обираємо Користувацькі налаштування → Задати значення (рис. А.5, в). У відкритому меню (рис. А.5, г) задаємо Позитивні значення діапазоном комірок K4:K9, аналогічний діапазон задаємо і для Від'ємних значень. В результаті має з'явитися графік, представлений на рисунку А.6.



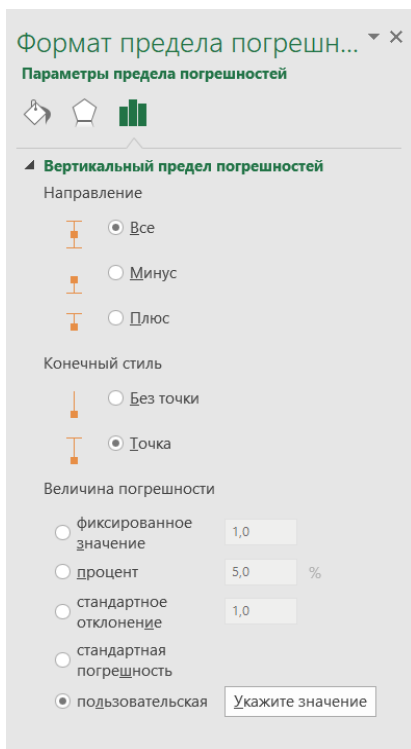
Рисунк А.4 – Приклад побудови графічних залежностей в MS EXCEL



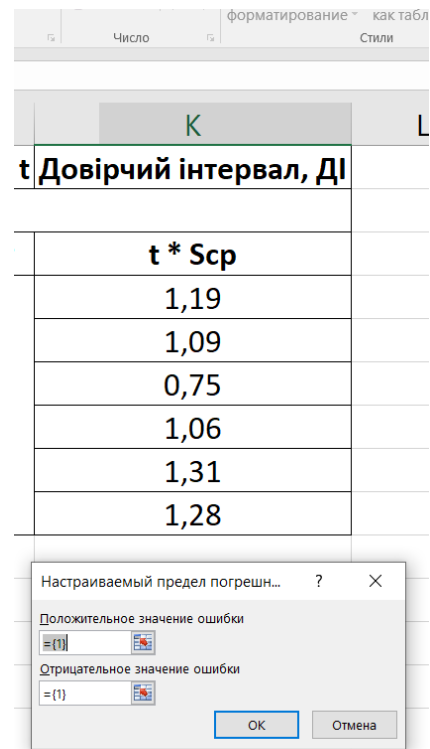
а



б



в



г

Рисунок А.5 – Приклад побудови довірчих інтервалів в MS EXCEL

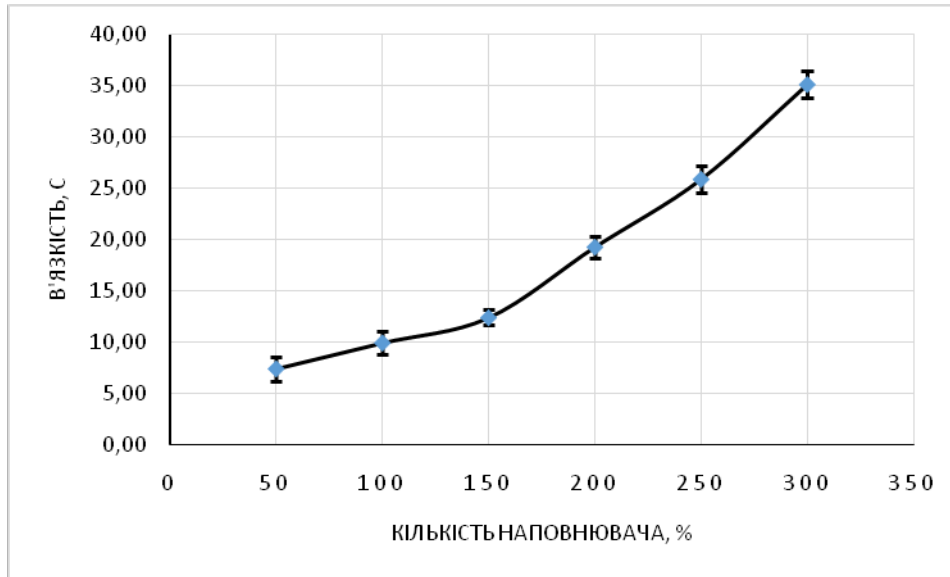


Рисунок А.6 – Графік середніх значень дослідів з довірчими інтервалами

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Investmentcasting / [P. R. Beeley, R. F. Smart, G. Bell at. al.] ; edited by Peter R. Beeley and Robert F. Smart. – London : The University Press Cambridge, 1995. – 516 p.
2. Sopcak J. E. Handbook of Lost Wax or Investment Casting / J. E. Sopcak. – Baldwin Park : Gem Guides Book Company, 1986. – 66 p.
3. Turbine Blade Investment Casting Die Technology / D. Zhang, Y. Cheng, R. Jiang, N. Wan. – Berlin : SpringerNature, 2018. – 242 p.
4. Foseco Ferrous Foundryman's Handbook / edited by John R. Brown. – Oxford : Butterworth-Heinemann, 2000. – 360 p.
5. Nath J. Aluminum Castings Engineering Guide / J. Nath. – Materials Park, Ohio : ASM International, 2018. – 302 p.
6. ASM Handbook Volume 15: Casting / [R. M. Nunes, G. J. Abbaschian, H. Abramowitz at. al.] ; edited by D.M. Stefanescu. – Materials Park, Ohio : ASM International, 1998. – 2002 p.
7. AliKhan M. A., Sheikh A. K., Al-Shaer B. S. Evolution of Metal Casting Technologies : A Historical Perspective / M. A. Ali Khan, A. K. Sheikh, B. S. Al-Shaer. – Cham : Springer Nature, 2017. – 44 p.
8. Science and Technology of Casting Processes / edited by Malur Srinivasan. – Rijeka : InTech, 2012. – 350 p.
9. Hurst S. Metal Casting : Appropriate Technology in the Small Foundry / S. Hurst. – London : Intermediate Technology Publications, 1996. – 228 p.
10. Реп'ях С.І. Технологічні основи лиття витоплюваними моделями. Дніпропетровськ : Ліра, 2006. – 1056 с.
11. Технологія конструкційних матеріалів: навч. посіб. /С. В. Марченко, О. П. Гапонова, Т. П. Говорун, Н. А. Харченко. – Суми : Сумський державний університет, 2016. – 146 с.

12. В. П. Мовчан, М. М. Бережний. Основи металургії. Дніпропетровськ : Пороги, 2001. – 336 с.

13. Конспект лекцій з дисципліни «Технологія ливарної форми » для студентів денної та заочної форм навчання спеціальності 7.05040201, 8.05040201 «Ливарне виробництво чорних та кольорових металів і сплавів» /Укладачі: Гресс О.В., Стороженко С.А. – Дніпродзержинськ. : ДДТУ, 2012. – 55 с.

14. Голофаєв А.М., Гутько Ю.І., Тараненко Н.О. Технологічна оснастка ливарного виробництва: Навчальний посібник – Луганськ: Вид-во СНУ ім. В. Даля, 2006. - 304 с.

15. Гини Э. Ч. Технология литейного производства : Специальные виды литья : учебник для студ. высш. учеб. заведений / Э. Ч. Гини, А. М. Зарубин, В. А. Рыбкин ; под ред. В. А. Рыбкина. – 2-е изд., стер. – М. : Издательский центр «Академия», 2005. – 352 с.

16. Литье по выплавляемым моделям / В. Н. Иванов, С. А. Казеннов, Б. С. Курчман и др. ; подобщ. ред. Я. И. Шкленника, В. А. Озерова. – 3-е изд. – М. : Машиностроение, 1984. – 408 с.

17. Шуляк В. С. Литье по газифицируемым моделям / В. С. Шуляк. – СПб. : НПО «Профессионал», 2007. – 408 с.

18. Литье в кокиль / С. Л. Бураков, А. И. Вейник, Н. П. Дубинин и др. ; под ред. А. И. Вейника. – М. : Машиностроение, 1980. – 415 с.

Навчальне видання

Анатолій Сергійович КОЧЕШКОВ
Михайло Михайлович ЯМШИНСЬКИЙ
Ростислав Володимирович ЛЮТИЙ
Іван Віталійович ЛУК'ЯНЕНКО

СПЕЦІАЛЬНІ ТА ОСОБЛИВІ ВИДИ ЛИТТЯ

ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ

НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК

*Навчальний посібник призначено для студентів спеціальності 136 «Металургія»
КПІ ім. Ігоря Сікорського і може бути рекомендований для закладів вищої освіти України з
металургійним напрямом підготовки
денної та заочної форм навчання*

Електронне мережне навчальне видання

КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022