

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ „КПІ”

До 90- річчя кафедри ливарного
виробництва чорних і кольорових металів

Методичні вказівки
до виконання лабораторних робіт
з дисципліни „Спеціальні та особливі види литва”
для студентів спеціальності „Ливарне виробництво чорних
і кольорових металів і сплавів”
усіх форм навчання

Київ 2015

Методичні вказівки
до виконання лабораторних робіт
з дисципліни „Спеціальні та особливі види литва”
для студентів спеціальності „Ливарне виробництво чорних
і кольорових металів і сплавів”
усіх форм навчання

Затверджено
на засіданні кафедри
ливарного виробництва чорних і
кольорових металів.
Протокол №16 від 10.06.15

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни „Спеціальні та особливі види литва” для студентів спеціальності 8(7).05040201 „Ливарне виробництво чорних і кольорових металів і сплавів” усіх форм навчання / Укладачі: Кочешков А.С., Ямшинський М.М., Самарай В.П. Гурія І.М. – Київ: НТУУ «КПІ», 2015. – 34 с.

*Гриф надано Вченою радою ІФФ НТУУ «КПІ»
(Протокол № 11/15 від 30.11.2015 р.)*

Методичні вказівки
до виконання лабораторних робіт з дисципліни
„Спеціальні та особливі види литва”

для студентів спеціальності
8(7).05040201 „Ливарне виробництво
чорних і кольорових металів і сплавів”
усіх форм навчання

Укладачі: Кочешков Анатолій Сергійович
Ямшинський Михайло Михайлович
Самарай Валерій Петрович
Гурія Ірина Миранівна

Відповідальний
редактор Р.В. Лютий, кандидат технічних наук, доц.

Рецензент В.М. Рибак, кандидат технічних наук, доц.

За редакцією укладачів
Надруковано з оригінал-макета замовника

Темплан 2015 р.

ЗМІСТ

ВСТУП	4
Лабораторна робота №1 ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ МОДЕЛЬНИХ КОПОЗИЦІЙ, ВОГNETРИВКИХ ОБОЛОНОК І ВИЛИВКІВ ПРИ ЛИТВІ ЗА МОДЕЛЯМИ, ЩО ВИТОПЛЮЮТЬ.....	5
Лабораторна робота № 2 ВПЛИВ ГРАНУЛОМЕТРИЧНОГО СКЛАДУ ПІНОПОЛІСТИРОЛУ НА ЯКІСТЬ МОДЕЛЕЙ І ВИЛИВКІВ ПРИ ЛИТТІ ЗА МОДЕЛЯМИ, ЩО ГАЗИФІКУЮТЬ	16
Лабораторна робота №3 ВИЗНАЧЕННЯ РІДКОТЕКУЧОСТІ ЛИВАРНИХ СПЛАВІВ.....	21
МАТЕМАТИЧНЕ ОБРОБЛЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ	26
ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ	33

ВСТУП

Методичні вказівки видаються студентам на початку I семестру.

За методичними вказівками слід вивчити мету, зміст і порядок виконання лабораторної роботи, а по кожній роботі – теоретичний матеріал (по лекціях і літературі). Об'єм теоретичної підготовки визначається контрольними питаннями, приведеними в кожній лабораторній роботі.

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 протоколів лабораторних робіт.

Виконану роботу оформлюють у вигляді звіту, форми для заповнення якого приведені в даних методичних вказівках по 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 в 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 устаткуванні.

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

Студенти заочної форми навчання виконують лабораторну роботу №3 протягом 4 год.

Лабораторна робота №1

ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ МОДЕЛЬНИХ КОМПОЗИЦІЙ, ВОГНЕТРИВКИХ ОБОЛОНОК І ВИЛИВКІВ ПРИ ЛИТТІ ЗА МОДЕЛЯМИ, ЩО ВИТОПЛЮЮТЬ

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

Робота розрахована на 9 годин.

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 дозволяє 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 до 4 класу і шорсткістю поверхні – до 6 класу.

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 системи, 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'являються наступні вимоги: легкоплавкість в межах 60...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, хороша рідкотекучість, мінімальна зольність, хімічна інертність по відношенню до матеріалу прес-форми і вогнетривкого покриття, можливість багаторазового використання та ін.

Модельні композиції розділяють на легко-, тугоплавкі і 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 (50...60 °С), невисоку міцність і велику нестабільну усадку (0,9...1,1%). Приклад цих матеріалів – 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 матеріалів 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 в термостатах шляхом розплавлення і перемішування парафіну і стеарину. Одержаний розплав фільтрують через щільну тканину для очищення його від сторонніх краплин, витримуючи при цьому температуру в межах 80...85 °С.

Виготовляють моделі вільним заливанням рідкої (при температурі 60...70 °С), або запресовуванням пастоподібної модельної композиції в прес-форму. Пастоподібну композицію готують шляхом охолодження до 42...45 °С рідкого розплаву при безперервному перемішуванні.

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 і прес-форми.

Перед запресовуванням модельних матеріалів 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 при співвідношенні 1:1.

Запресовування модельних композицій в прес-форми здійснюють за допомогою шприців, або на механічних пресах. У потоково-масовому виробництві застосовують установки, на яких всі операції, починаючи від приготування модельних матеріалів 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 системи.

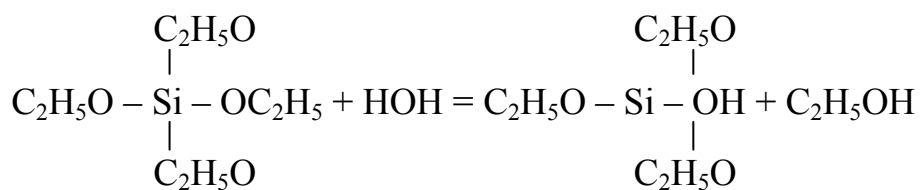
Виготовляють блоки моделей, тобто складають декілька моделей на одній ливниковій системі паянням моделей до стояка за допомогою електропаяльників, які мають наконечник у вигляді леза ножа. Цей спосіб виготовлення блоків малопродуктивний, тому застосовується в умовах дрібносерійного виробництва і при виробництві 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 збираються в блоки і передаються на подальші операції.

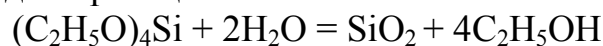
Нероз'ємні оболонкові форми виготовляють шляхом багаторазового занурення блоку моделей у вогнетривку суспензію. Для отримання якісного виливка керамічна вогнетривка форма має бути достатньо міцною, піддатливою, газопроникною і хімічно інертною до сплаву, яким заливають.

Як вогнетривкі матеріали до складу суспензії вводять пилоподібний (природний або плавлений) кварц, дисценсиліманіт, електрокорунд, циркон та ін. 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, при гідролізі 1 моля моноєфіру 2-ма молями води гідроліз йде за реакцією



а при більшій кількості води утворюються різні кремневі 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 в спирті, які разом добре розчиняються в

етилсилікаті. Кількість води, необхідної для гідролізу етил силікату, визначають за номограмою (рис. 1.1) або розраховують за методом В.А. Озерова:

$$x = 0,004 M \cdot a,$$

де x – кількість води, л або кг;

a – вміст етоксильних груп (C_2H_5O) в етилсилікаті, мас. % (визначають за сертифікатом);

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

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

Для прискорення процесу гідролізу здійснюють з використанням соляної кислоти, яка є каталізатором. Кількість соляної кислоти визначають за формулою:

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

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, етилсилікат, перемішують розчин до тих пір, поки він не охолоне. Для закінчення процесу гідролізу розчин витримують 2...18 год.

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

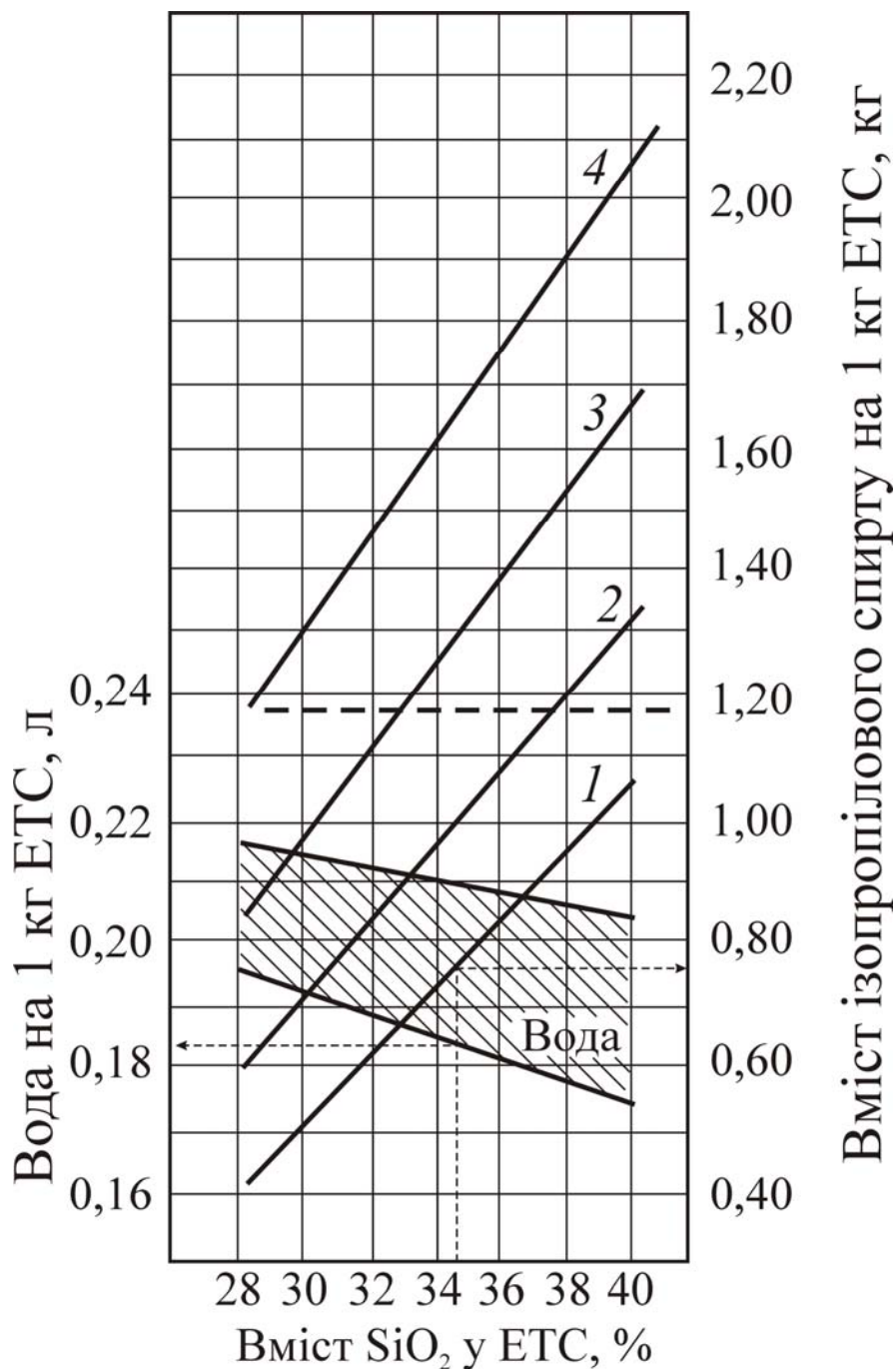
При суміщеному способі гідроліз ведуть в наступній послідовності. В гідролізер заливають етилсилікат і розчинник, перемішують 1...2 хв, після чого вводять воду, що підкислена HCl . Для усунення шкідливого впливу на гідролізований розчин домішок, які містяться в зернах наповнювача, додають H_2SO_4 (у такій же кількості, як HCl).

Перемішування продовжують до охолодження приготованої суспензії (≈ 1 год.). Гідроліз при суміщеному способі здійснюється швидше. Оболонки із суспензій, приготованих цим методом, характеризуються вищою міцністю, ніж оболонки, приготовані роздільним способом.

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

Виготовляють форми 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.



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

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

Технічні властивості та міцнісні характеристики етилсилікатів показано в табл. 1.1 та табл. 1.2 відповідно.

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики етилсилікату

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

Таблиця 1.2 – Механічні властивості керамічної оболонки

№ п.п.	Вміст SiO ₂ у розчині	Міцність при розриві, МПа
1	18% SiO ₂	1,0...1,2
2	16% SiO ₂	0,8...1,0
3	14% SiO ₂	0,6...0,8
4	12% SiO ₂	0,4...0,6

Після нанесення на блок вогнетривкого покриття необхідної товщини видаляють із форми модель витоплюванням. Для цього блок моделей з вогнетривким покриттям поміщають в електропечі, або нагрівають в гарячій воді, або парю.

Після видалення моделей блоки заформовують в контейнерах сухим кварцовим піском і прожарюють в електричних або газових печах при температурі 850...900 °С не менше 2 год з метою зміцнення оболонки і видалення з неї залишків модельного матеріалу і інших газотвірних речовин.

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

Техніка безпеки при литві за моделями, що витоплюють

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

2. Витоплювати моделі слід у ваннах при завантаженні їх не більш, ніж 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 обсипання 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 метал у форми необхідно спокійним струменем, направляючи його у середину ливникової чаші, і не допускати переливу.

9. При перенесенні розплавленого металу ручним ковшем його необхідно тримати збоку і позаду, щоб метал не потрапив на ноги.

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

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 циліндрових зразків на розрив (рис. 1.2), плоских зразків – на вигин (рис. 1.3), круглих коржиків – на газопроникність (рис. 1.4); печі: тигельна – для плавлення алюмінієвих сплавів, нагрівальна силітова – для прожарювання оболонок; водяна баня для приготування модельних матеріалів; 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 за тиском 0,6...0,7 МПа; термостат для термостатування модельних матеріалів; 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 матеріалів; 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; пілоподібний кварц для приготування вогнетривкої суспензії; кварцовий пісок для обсіпання моделей; алюмінієвий сплав; спецодяг і обтиральний матеріал; фільтрувальний папір.

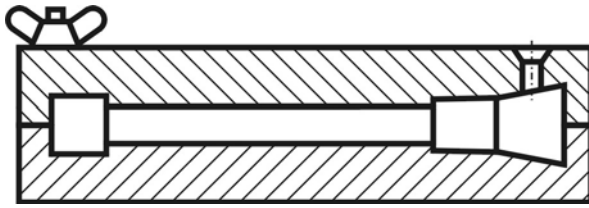
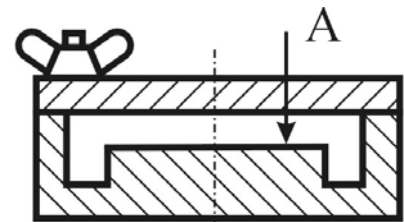


Рисунок 1.2 – Прес-форма для виготовлення моделей циліндрових зразків на розрив



Вид А

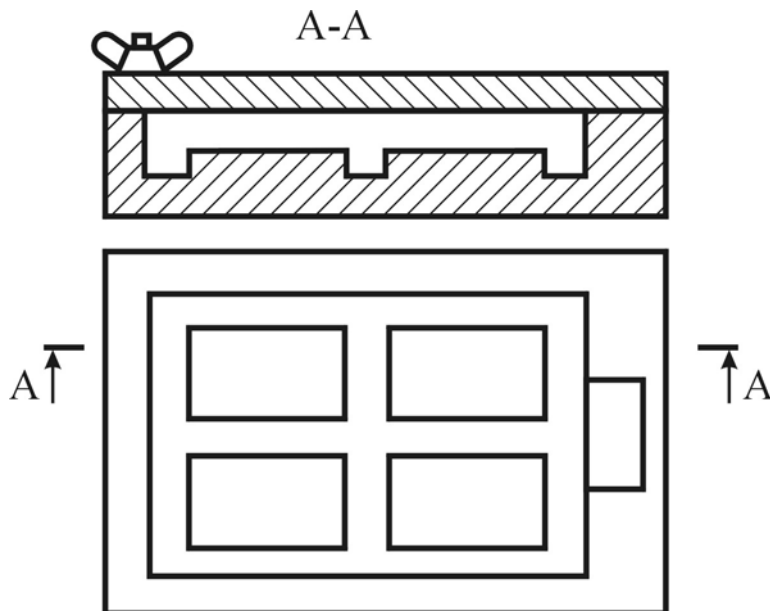


Рисунок 1.3 – Прес-форма для виготовлення моделей плоских зразків на вигин

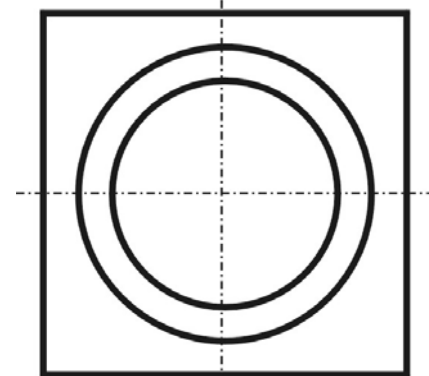


Рисунок 1.4 – Прес-форма для виготовлення моделей круглих зразків на газопроникність

Послідовність виконання роботи

1. Приготувати пастоподібну модельну композицію марки ПС50-50.
2. Виготовити моделі наступних зразків:
 - циліндричних (див. рис. 1.2) для визначення тимчасового опору розриванню – 7 шт. (1 – моделі із композиції марки ПС50-50; 3 – алюмінієвого сплаву під час заливання сифонною ливниковою системою; 3 – алюмінієвого сплаву під час заливання зверху);

– 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 в пастоподібному і розплавленому стані. Для цього в 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

$$B = \frac{V_0 - V}{V} \cdot 100\% \quad (1.1)$$

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 (див. табл. 1.3) за віскозиметром ВЗ-4. Дані занести в табл. 1.3.

6.3 Виготовити зразки для визначення міцності і 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 30...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.

Межа міцності вогнетривкого покриття при статистичному вигині, Н/м^2 , визначають за формулою:

$$\sigma_B = \frac{M}{W} = \frac{3 \cdot P \cdot l}{2 \cdot b \cdot h^2}, \quad (1.2)$$

де M – максимальний момент при вигині:

$$M = \frac{1}{2} P \cdot l, \quad (1.3)$$

де W – момент опору для прямокутного перерізу,

$$W = \frac{b \cdot h^2}{\sigma}, \quad (1.4)$$

де P – навантаження при зламі 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.

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										

7. Узагальнити експериментальні дані щодо властивостей вогнетривких суспензій і 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 ПС50-50 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 30...35 с, піддаючи двогодинному сушінню кожен шар після обсипання його кварцовим піском в піскосипі, 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 і відрізати розривні зразки ножівкою.

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

Таблиця 1.4 – Тимчасовий опір розриванню зразків при різних способах підведення металу

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

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

8.7 Розрахувати відносну і абсолютну похибки вимірювань.

Контрольні питання

1. Сутність лиття за моделями, що витоплюють.
2. Основні переваги та недоліки цього методу.
3. Вихідні матеріали для модельних матеріалів.
4. Технологія приготування модельних композицій.
5. Компоненти вогнетривких суспензій.
6. Мета гідролізу етисилікату.
7. Технологія нанесення вогнетривких суспензій на моделі.
8. Способи видалення моделей з оболонок.
9. Призначення прожарювання оболонок (кераміки).
10. Способи очищення виливків від оболонок.
11. Техніка безпеки при литті за моделями, що витоплюють.

Зміст звіту

Звіт має містити такі матеріали:

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

Лабораторна робота № 2

ВПЛИВ ГРАНУЛОМЕТРИЧНОГО СКЛАДУ ПІНОПОЛІСТИРОЛУ НА ЯКІСТЬ МОДЕЛЕЙ І ВИЛИВКІВ ПРИ ЛИТТІ ЗА МОДЕЛЯМИ, ЩО ГАЗИФІКУЮТЬ

Мета роботи: дослідити тривалість підвспінювання 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 9 годин.

Литво за моделями, що газифікують, – 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 обробування 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 газифікують, застосовують в умовах індивідуального виробництва для виготовлення штампів, великих виливків з чавуну і сталі масою від декількох кілограмів до декількох тонн. Спосіб одержав застосування в масовому виробництві різних за конфігурацією і масою виливків, а також замість способу лиття за моделями, що витоплюють.

Технологія литва по моделях, що газифікують

Сутність процесу заснована на властивості модельного матеріалу – пінополістиролу – розкладатися і газифікуватися під дією високих температур і полягає в тому, що модель заформовують у формувальну суміш, сухий пісок, або у феромагнетний 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 і 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), і їх спінювання в металевих прес-формах, при якому відбувається «спікання» гранул в єдиний блок. Цей метод застосовують для масового виробництва моделей.

При виготовленні моделі гранули пінополістиролу піддають двостадійному обробленню. Спочатку гранули підспінюють, тобто збільшують їх об'єм шляхом короточасного (1...5 хв) нагрівання при температурі 105...110 °С, потім відбувається період активації, тобто охолодження і витримування на повітрі для вирівнювання тиску між порами гранул пінополістиролу і навколишнім середовищем. Після цього гранули повторно спінюють в прес-формах.

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

Під час остаточного спінювання в процесі нагрівання гранули знову розм'якшуються, збільшуються в об'ємі, заповнюють всі порожнечі і створюють тиск всередині прес-форми до 0,25 МПа, під дією якого гранули «спікаються» в єдину масу – модель. При охолодженні прес-форми відбувається оскляніння полістиролу і конденсація ізопентану, після чого прес-форму розкривають і вилучають з неї модель.

Моделі фарбують самовисихаючими фарбами, заформовують в наповнювачі і заливають металом.

Техніка безпеки при литві по моделями, що газифікують

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 повинна 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 в прес-формах мають здійснюватись під витяжними зонтами, оскільки при нагріванні з полістиролу виділяється мономер, гранично допустима концентрація якого в повітрі 5 мг/м³.

4. Під час зберігання пінополістиролу і моделей, виготовлених з нього, необхідно дотримуватись правил пожежної безпеки, оскільки він займається за температури 550...600 °С.

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

Устаткування, інструменти і матеріали

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

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 при безперервному перемішуванні 150 с, 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

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

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

P – маса наважки полістиролу, кг;

V – об'єм спіненого полістиролу, м³.

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

Одержані дані занести в табл. 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	$\rho_{ср}$

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

З підспінених при різному часу витримки гранул полістиролу виготовити моделі. Для цього підспінені гранули витримати на повітрі при нормальній температурі не менше доби для їх активації. Потім прес-форму змастити розділовим покриттям (5...8% господарського мила і 92...95% води) і заповнити гранулами.

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

6. Із залишків підспіненого полістиролу, за наведеною технологією виготовлення 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 і 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.

11. Розрахувати відносну і абсолютну похибку вимірювань

Контрольні питання

1. Сутність методу лиття за моделями, що газифікують.

2. Основні переваги та недоліки цього методу.

3. Технологія виготовлення моделей в одиничному та масовому виробництві.

4. Пресовий та безпресовий методи виготовлення моделей із пінополістиролу.
5. Мета підспінювання та активації гранул пінополістиролу.
6. Формування та заливання пінополістиролових моделей.
7. Техніка безпеки під час виготовлення моделей із пінополістиролу та виливків.

Зміст 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;
- висновки.

Лабораторна робота №3

ВИЗНАЧЕННЯ РІДКОТЕКУЧОСТІ ЛИВАРНИХ СПЛАВІВ

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

Робота розрахована на 9 годин.

Рідкотекучість – це здатність сплаву в рідкому стані заповнювати порожнину ливарної форми, відтворювати повністю і точно найтонші контури її конфігурації. Ця властивість сплаву впливає не лише на заповнення форми, але і на отримання якісних виливків без усадкових дефектів і тріщин. Якщо сплав має низьку рідкотекучість, то при заповненні 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 йдуть на переплав. Якщо при заповненні 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 і заварений. Заповнення ливарної форми не є чисто гідравлічним процесом, оскільки рух металу у формі супроводжується його кристалізацією. При температурі нижче температури ліквідусу у розплаві утворюється тверда фаза. У міру накопичення твердої фази швидкість руху зменшується, і при певному відсотку твердих кристалів рух металу припиняється. Також на швидкість і якість заповнення металом форми впливає утворення окисних плівок.

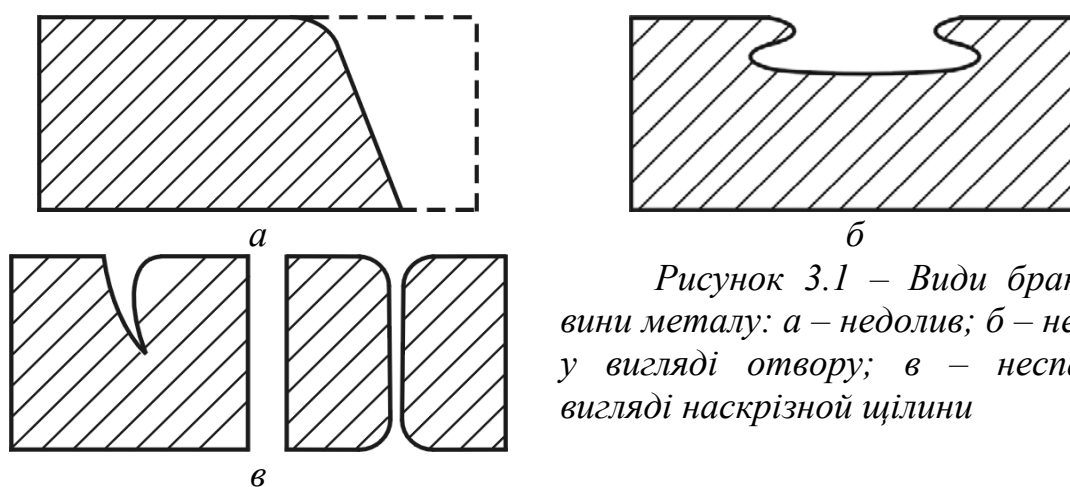


Рисунок 3.1 – Види браку за вини металу: а – недолив; б – неспай у вигляді отвору; в – неспай у вигляді наскрізної щілини

Отже, можливість заповнення ливарної форми обмежена часом, впродовж якого розплав, знаходячись в рідкому і твердорідкому 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.

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 поверхні форми, що відводить тепло, тобто уперек руху металу, який заповнює порожнину форми. При цьому «живий» переріз каналів швидко зменшується і рух металу утруднюється. Тому такі сплави заповнюють форму гірше, ніж чисті метали і евтектичні сплави, які кристалізуються при постійній температурі з утворенням малорозгалужених дендритів і кристалів компактної форми. Окрім заповнення форми, важливою є точність відтворення литого рельєфу поверхні форми. Здатність сплаву відтворювати рельєф поверхні форми називають формозаповненням. 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 і 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 при контакті сплаву з повітрям, та значно підвищують зусилля, необхідні для подолання поверхневого натягу. Плівки, які утворюються на поверхні розплавів, нітриди і сульфіди зменшують рідкотекучість і погіршують заповнення форми.

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, введення від 0,5 до 1,5% фосфору в чавун

дозволяє збільшити його рідкотекучість настільки, що з такого чавуну відливаються тонкостінні радіатори водяного опалення, поршневі кільця двигунів внутрішнього згорання і інше тонкостінне і ажурне литво. Бронза із вмістом фосфору близько 1% використовується 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 при спільній присутності в сплавах утворюють сполуки, які знижують рідкотекучість. При оцінці 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 при однаковому перегріванні вище температури нульової рідкотекучості. Нульова рідкотекучість сплавів, тобто температура, при якій сплав втрачає рухомість, настає при температурі, яка лежить між температурами (лініями) ліквідусу та солідусу при відповідній кількості твердої фази. Відомо, що нульова рідкотекучість чавуну спостерігається при концентрації твердої фази близько 30%, а сталі – близько 20%. Практично важко визначити температуру нульової рідкотекучості, тому визначають не істинну, а умовно-істинну рідкотекучість сплавів при однаковому перегріванні їх вище температури ліквідусу.

Під практичною розуміють рідкотекучість сплавів при сталій температурі заливання для сплавів однієї системи. У цьому разі різні сплави перегріваються вище температури ліквідусу та нульової рідкотекучості порізно.

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 рідко текучість сплаву. Підвищення теплоємності сплаву навпаки, збільшує його рідко текучість.

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 6 мм, що заповнилася, виміряна від місця переходу ширшого стояка у вузький канал.

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 і ложки перед заливанням мають бути просушені і підігріті.
4. Для попередження опіків роботу з кокілем здійснювати в рукавицях, а вилівок виймати з кокілю кліщами.
5. Розливання металу здійснювати тільки в спецодязі і захисних окулярах або в масці.

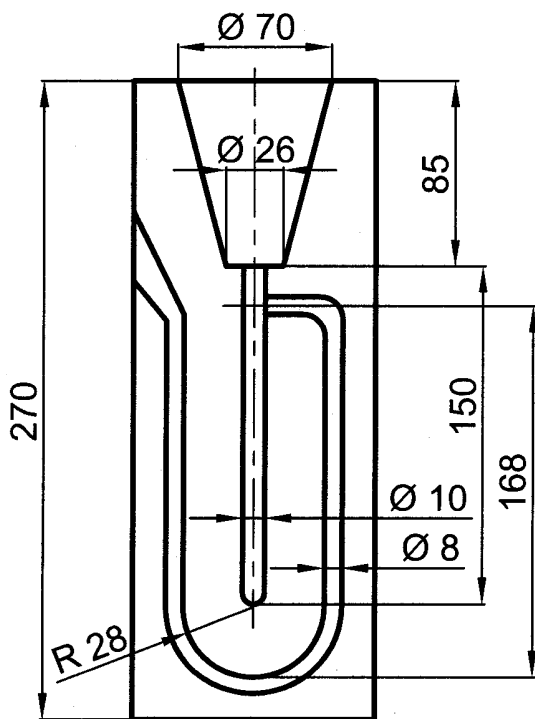


Рисунок 3.2 – U-подібна проба
Нехендзі-Самаріна

5. Виміряти довжину проби.
6. Приготувати і нанести один шар покриття, провести заливання, повторити операції за п.п. 3, 4.
7. Визначити товщину покриття.
8. Повторити досліди за п.п.3, 4 з двома і трьома шарами покриттів.
9. Проаналізувати отримані результати і побудувати графік залежності рідкотекучості від товщини покриття.
10. Розрахувати відносну і абсолютну похибку вимірювань.

Устаткування, інструменти та матеріали

Металева форма для литва технологічних проб, плавильна піч, вимірювальна лінійка, потенціометр з термопарою, матеріали для приготування теплоізоляційного покриття, спецодяг, ківш, кліщі.

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 вилівок впродовж 10 хв у формі.
4. Вилучити вилівок з форми і охолодити його на повітрі.

Контрольні питання

1. Що розуміють під рідкотекучістю сплавів?
2. Чинники, які впливають на рідкотекучість.
3. Зв'язок між рідкотекучістю і в'язкістю.
4. Зв'язок рідкотекучості і інтервалу кристалізації.
5. Як визначають рідкотекучість?
6. Поняття практичної, умовної і умовно-істинної рідкотекучості.
7. Що таке нульова рідкотекучість і умови її появи?
8. Зв'язок між рідкотекучістю і часом заливання форми.
9. Види браку виливків, пов'язаних з низькою рідкотекучістю сплавів.

Зміст 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;
- висновки.

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 виборок, користуються критерієм Ст'юдента, при цьому порівнюють: $t = \frac{|x' - \bar{x}|}{S_x}$ з табличним значенням t_p . Якщо $t > t_p$, то з довірчою імовірністю P можна вважати, що результат вимірювання x' є промахом.

При виключенні одного або декількох 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 Ст'юдента $t_{\alpha}(n)$ 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:

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

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 і 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:

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

При невеликій вибірці ($n \leq 50$) 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.

Практична обробка результатів досліджень.

На першому етапі на новому аркуші MS EXCEL слід створити таблицю з експериментальними даними у вигляді, представленому на рис. 1. Для наочності вхідний фактор (кількість модифікатора) позначимо X , а вихідний фактор (тимчасовий опір розриванню) позначимо Y_1 , Y_2 , Y_3 (по кількості паралельних досліджень). Середнє арифметичне (математичне очікування)

позначимо Y . Ще два стовпчика додамо для розрахунку стандартного відхилення та довірчого інтервалу.

Для розрахунку середнього арифметичного, стандартного відхилення та довірчого інтервалу у відповідні комірки введемо формули і скопіюємо їх для усіх восьми точок, як на рис. 1.

F2		fx =CPЗНАЧ(C2:E2)						
	A	B	C	D	E	F	G	H
1	№	X	Y1	Y2	Y3	Y	Стандартне відхилення	Довірчий інтервал
2	1	0	153	162	156	157	4,582575695	4,35187324
3	2	0,2	163	164	174	167	6,08276253	5,776535565
4	3	0,4	185	177	181	181	4	3,798626388
5	4	0,6	183	180	186	183	3	2,848969791
6	5	0,8	175	176	180	177	2,645751311	2,512555186
7	6	1	168	164	160	164	4	3,798626388
8	7	1,2	156	163	158	159	3,605551275	3,424035554
9	8	1,4	159	157	155	157	2	1,899313194
10								
11			=CPЗНАЧ(C9:E9)				=ДОВЕРИТ(0,1;G9;3)	
12			=СТАНДОТКЛОН(C9:E9)					

Рисунок 1 – Введення експериментальних даних в таблицю MS EXCEL

За отриманими даними побудуємо графік залежності середніх значень тимчасового опору розриванню від кількості модифікатора і позначимо на ньому довірчі інтервали.

Для побудови графіка необхідно вибрати команду меню „Вставка-діаграма-графік”. Потім необхідно натиснути кнопку „Далі” і перейти на ярлик „Ряд”. На ярлику „Ряд” необхідно натиснути кнопку „Додати” і ввести в графу „Значення” діапазон комірок F2:F9 а в графу „Підписи під X” – діапазон B2:B9. Після цього необхідно натиснути на кнопку „Готово”.

Отриманий графік необхідно відформатувати. Для форматування необхідно двічі клацнути по одній із точок. В меню, що відкриється, необхідно прибрати лінію і залишити тільки маркери, поміняти колір фону, додати вертикальну сітку. Перейшовши на ярлик „Y-погрішності” встановити планки погрішностей – обидві, величину погрішності – користувача. В додатні і від’ємні погрішності ввести діапазон комірок H2:H9.

В результаті має з’явитися графік, представлений на рис. 2.

Приклад № 2 оброблення експериментальних даних у MS EXCEL.

Передбачається наприклад, що ми провели серію з 10 дослідів, вимірюючи деяку величину X . Номери дослідів від 1 до 10 легко ввести простяганням, а ось чисельні значення X треба послідовно ввести (табл. 1). Записи в колонках D і E – це підказки, які допоможуть розібратися з тим, які характеристики ми будемо розраховувати. Колонка F у Вас повинна бути поки порожньою, в неї будемо розміщувати наші формули.

Оброблення результатів почнемо з розраховування числа дослідів n . Здавалося б, це очевидне число, але в ході роботи якийсь результат ми можемо відкинути, або провести ще пару дослідів. Бажано, щоб нам не довелося при цьому переробляти всі формули.

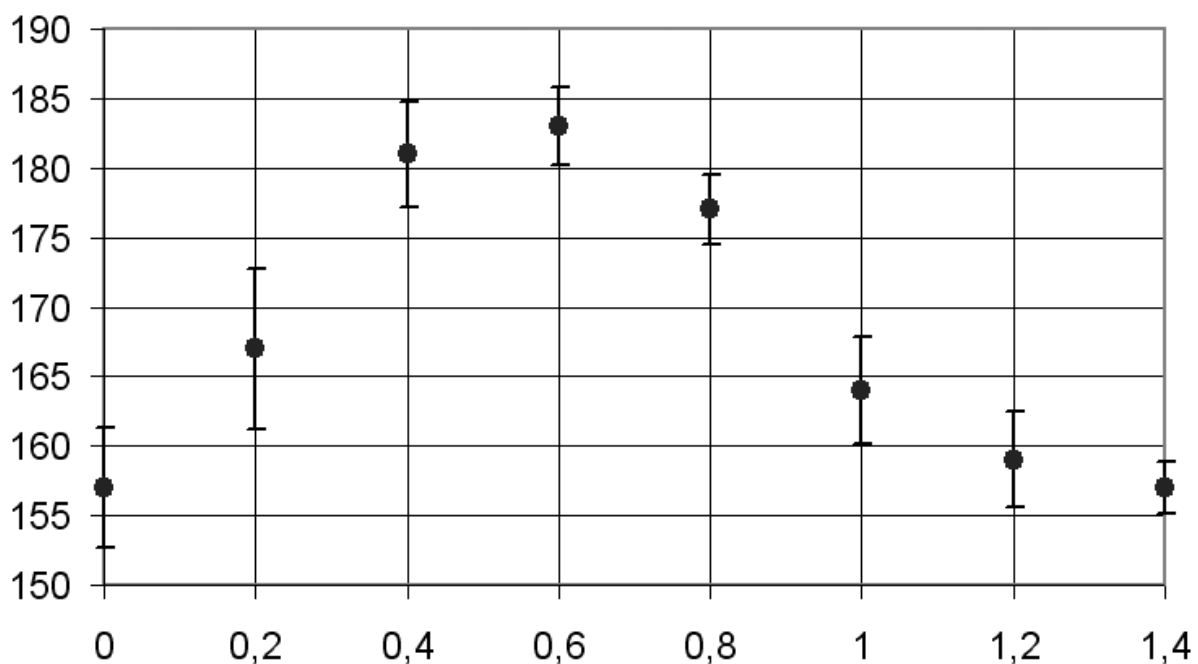


Рисунок 2 – Графік середніх значень дослідів з довірчими інтервалами

Для визначення числа значень використовується спеціальна функція, яка називається РАХУНОК. Для введення формули з функціями використовується Майстер функцій, який запускається командою «Вставка функції» через меню «Вставка» - «Функція» або кнопкою на панелі інструментів з позначенням fx . Наведемо мишкою на комірку F6, де має знаходитися результат, і запусимо «Майстер функцій».

Перший крок роботи (рис. 3) служить для вибору потрібної функції. Всі функції розділені, залежно від свого призначення, на кілька категорій (математичні, логічні та ін.) Для оброблення даних експерименту використовують в основному статистичні функції. Тому перш за все в списку категорій вибираємо категорію «Статистичні». 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, що дозволяє знайти без труднощів потрібну нам функцію РАХУНОК («Підраховує кількість чисел у списку аргументів»). Виділивши клацанням цю функцію, натискаємо кнопку ОК і переходимо до кроку 2.

Другий крок (рис. 4) служить для завдання аргументів функції. Функції РАХУНОК треба вказати, які числа їй треба перераховувати, або в яких осередках знаходяться ці числа.

Таблиця 1. – Зразковий вид аркуша «Помилки»

	A	B	C	D	E	F
1						
2						
3	Данные эксперимента			Обработка		
4						
5	№	X				
6	1	14,85	Число значений n	СЧЕТ		10
7	2	14,80	Среднее значение $\bar{X}_{ср}$	СРЗНАЧ		14,803
8	3	14,84	Станд. отклонение S	СТАНДОТКЛОН		0,0643
9	4	14,81	Ст. откл. среднего $S_{ср}$	=S / КОРЕНЬ(n)		0,0203
10	5	14,63	К.Стьюд (5%, n-1) t	СТЬЮДРАСПОБР		2,2622
11	6	14,81	Доверит. интервал ДИ	= t * $S_{ср}$		0,046
12	7	14,80	Относит ошибка δ	= ДИ / $\bar{X}_{ср}$		0,0031
13	8	14,85				
14	9	14,84				
15	10	14,80				

Діапазон клітинок вказується адресами першої та останньої комірки, записаними через двокрапку, в нашому випадку дані знаходяться в комірках B6: B15. Як і в інших випадках, ці адреси краще не вводити, а показати мишкою. Для цього встановлюємо покажчик мишки на перший осередок, натискаємо ліву кнопку і ведемо до останньої. Зверніть увагу, що вікно аргументів можна переміщати, якщо воно затуляє потрібну частину екрана.

Крім того, поряд з полем для введення є маленька кнопка з червоною стрілочкою. При клацанні по ній вікно аргументів згортається до вузької смужки. Коли ми показуємо в основному вікні діапазон комірок, у вікні аргументів з'являється запис діапазону адрес, а поруч з ним – значення чисел з перших осередків. Попереднє значення функції теж показується після введення її аргументів. Це допомагає уникати помилок. Допомогає роботі з

майстром функцій і підказка під полем для введення аргументів, в якій роз'яснюється їх зміст і можливі значення. Закінчується робота з майстром функцій натисненням кнопки "ОК" або клавіші "Enter". Якщо все зроблено правильно, в комірці F6 з'явиться потрібне значення "10".

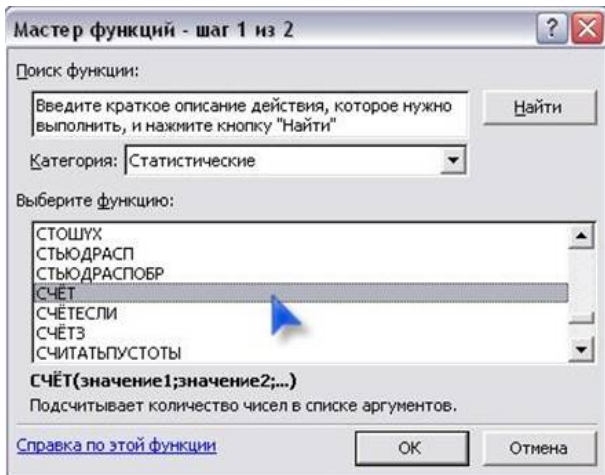


Рисунок 3 – Майстер функцій fx

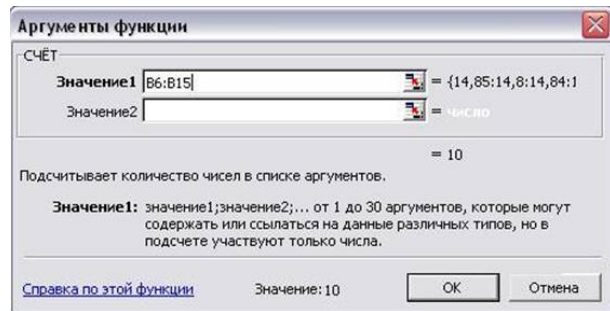


Рисунок 4 – Аргументи функції "РАХУНОК"

Наступні два етапи оброблення серії дослідів проводяться аналогічно. В комірці F7 за допомогою функції СРЗНАЧ розраховується середнє значення вибірки, в комірці F8 – стандартне відхилення вибірки, за допомогою функції СТАНДОТКЛОН. Будьте уважні під час вибору функцій – серед них є дуже схожі за назвою. Аргументами цих функцій служить все той же діапазон комірок.

Наступна формула складна, частково вона набирається як звичайна формула, починаючи з символу "=". Вказавши, де знаходиться подільне S і набравши знак операції (= F8 /), викликаємо майстер функцій. Функція КОРІНЬ – математична, тому на першому кроці вибираємо категорію математичних функцій. Аргументом цієї функції служить число дослідів, яке ми розраховували в комірці F6. Остаточний вигляд формули "= F8 / КОРІНЬ (F6)".

Для розрахунку довірчого інтервалу необхідно визначити коефіцієнт Стюдента. Він залежить від ймовірності помилки (зазвичай при заданій надійності 95% вірогідність помилки складає 5%), і від числа ступенів свободи n-1). Для знаходження коефіцієнта Стюдента використовується статистична функція Excel СТЬЮДРАСПОБР ("Стюдента розподіл зворотне"). Особливістю цієї функції є те, що перший аргумент, число 5% (або 0,05) вводиться у відповідне вікно з клавіатури. Для другого вказуємо адресу комірки, де знаходиться значення n, потім дописуємо у вікні "-1". Отримуємо запис "F6-1".

Для знаходження довірчого інтервалу використовують звичайну формулу множення. Звичайно, замість букв там мають стояти адреси комірок, де знаходяться коефіцієнт Стюдента і стандартне відхилення середнього. Як правило, значення довірчого інтервалу округлюється до однієї значущої цифри, такий же порядок округлення має бути і у середнього. Тому остаточний результат можна записати так: з 95%-ною надійністю $X = 14,80 \pm 0,05$. На закінчення порахуємо відносну помилку визначення X : $\delta = \Delta / X_{\text{ср}}$ (формула: " $= F11/F7$ "). Значення відносної помилки зазвичай виражають у відсотках, у нас 0,3%.

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, калькулятор (з цією метою може бути використаний мобільний телефон).
3. Перебуваючи на робочому місці, уважно стежити за станом обладнання.
4. Виконувати дослідження бригадами мінімум по дві особи. В разі особистого виконання роботи студентом його дії контролює викладач.
6. 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 устаткування.
9. Заносити в лабораторію напої, їжу, пакувальні матеріали.
10. Самовільно покидати лабораторію або заходити до неї.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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», 2007. – 352 с.
2. Репях С.И. Технологические основы литья по выплавляемым моделям. Дн-ск.: Лира, 2006. – 1056 с.
3. Специальные способы литья /В.А. Ефимов, Г.А. Анисович, В.Н. Бабич и др.; под ред. В.А. Ефимова. – М.: Машиностроение, 1991. – 736 с.
4. Шуляк В.С. Литье по газифицируемым моделям. – СПб.: НПО «Профессионал», 2007. – 408 с.
5. Литье в кокиль. (Под ред. А.И. Вейника. – М.: Машиностроение, 1978. – 415 с.
6. Литье по выплавляемым моделям. (Под ред. Я.И. Шкленника, В.А. Озерова) – 3-е изд. – М.: Машиностроение, 1984. – 408 с.
7. Литье по выжигаемым моделям: Учебное пособие для студентов специальности 110400 «Литейное производство черных и цветных металлов» // Сост. В.М. Григорьев. – Хабаровск: Изд-во Хабар. гос. техн. ун-та, 2002. – 57 с.
8. Кечин В.А., Селихов Г.Ф., Афонин А.Н. Проектирование и производство литых заготовок: Учеб. пособие / Владим. гос. ун-т. Владимир, 2002. – 228 с.
9. Цветное литье: справочник / Галдин Н.М., Чернега Д.Ф., Иванчук Д.Ф. – М.: Машиностроение, 1989. – 519 с.
10. МакКрайт, Тим. Практическое литье. Руководство для мастерской.: Пер. с англ. – перераб. изд. – Омск: Наследие. Диалог-Сибирь, 2002. – 164 с.