

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»  
ІНСТИТУТ МАТЕРІАЛОЗНАВСТВА ТА ЗВАРЮВАННЯ ім. Є.О. ПАТОНА

Кафедра ливарного виробництва чорних і кольорових металів

До захисту допущено

Завідувач кафедри

Михайло ЯМШИНСЬКИЙ

“ \_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2021 р.

## Дипломна робота

на здобуття ступеня бакалавра

зі спеціальності 136 «Металургія»

за освітньо-професійною програмою «Комп'ютеризовані процеси лиття»

на тему: «Вплив модифікування високодисперсним карбідом кремнію на ливарні властивості вторинного сплаву системи Al-Si»

Виконав (-ла): студент (-ка) III курсу, групи ФЛ-п81

	Юзюк Денис Валерійович	_____
		(підпис)
Керівник	к.т.н, доцент Ямшинський Михайло Михайлович	_____
		(підпис)
Консультант		
з охорони праці	к.т.н., доцент Демчук Гліб Вікторович	_____
		(підпис)
Консультант		
з економічної частини	к.е.н, ст. викладач Нараєвський Сергій Вікторович	_____
		(підпис)
Консультант		
з нормоконтролю	<u>к.т.н, доцент Лютий Ростислав Володимирович</u>	_____
		(підпис)
Рецензент	д.т.н., доцент Мініцький Анатолій Вячеславович	_____
		(підпис)

Засвідчую, що у цій дипломній роботі немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Київ – 2021 р.

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Інститут матеріалознавства та зварювання ім. Є.О. Патона  
Кафедра ливарного виробництва чорних і кольорових металів

Освітньо-кваліфікаційний рівень «бакалавр»  
Спеціальність 136 Металургія  
Освітньо-професійна програма «Комп'ютеризовані процеси лиття»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Михайло ЯМШИНСЬКИЙ

“ \_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2021 р.

**З А В Д А Н Н Я**  
**НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Юзюку Денису Валерійовичу

1. Тема роботи: «Вплив модифікування високодисперсним карбідом кремнію на ливарні властивості вторинного сплаву системи Al-Si», керівник роботи Ямшинський Михайло Михайлович, завідувач кафедри ЛВЧКМ затверджені наказом по університету від «27» травня 2021 року № 1357-с

2. Строк подання студентом проекту 9 червня 2021 р.

3. Вихідні дані до роботи 3.1 Матеріали переддипломної практики; 3.2 Огляд літератури; 3.3 Інформаційні джерела.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки:

4.1 Виконати літературний

огляд; \_\_\_\_\_

4.2 Визначити мету та основні задачі науково-дослідницької роботи; \_\_\_\_\_

4.3 Визначити методику проведення досліджень \_\_\_\_\_

4.4 Дослідити мікроструктуру зразків \_\_\_\_\_

4.5 Дослідити ливарні властивості зразків \_\_\_\_\_

4.6 Опрацювати та проаналізувати отримані дані; \_\_\_\_\_

4.7 Проаналізувати основні чинники та питання з охорони праці; \_\_\_\_\_

4.8 Визначити технічно-економічні показники науково-дослідницької роботи; \_\_\_\_\_

5. Перелік ілюстративного матеріалу:

5.1 Постановка задачі та методика проведення досліджень (з 3 по 4 слайди); \_\_\_\_\_

5.2 Результати і аналіз експериментальних даних (з 5 по 9 слайди); \_\_\_\_\_

5.3 Висновки і рекомендації досліджуваного сплаву (10-й слайд). \_\_\_\_\_

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Експериментальна частина	к.т.н, завідувач кафедри ЛВЧКМ Ямшинський Михайло Михайлович		
Економічна частина	к.е.н, ст. викладач Нараєвський Сергій Вікторович		
Охорони праці	к.т.н., доцент Демчук Гліб Вікторович		

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Проходження переддипломної практики	<b>19.05.21</b>	
2	Формування літературного огляду	<b>22.05.21</b>	
3	Формування мети і постановка задач досліджень	<b>25.05.21</b>	
4	Визначення методик проведення досліджень	<b>25.05.21</b>	
5	Підготовка матеріалів та виготовлення вилівка	<b>27.05.21</b>	
6	Виготовлення зразків	<b>28.05.21</b>	
7	Дослідження ливарних властивостей зразків	<b>30.05.21</b>	
8	Аналіз і опрацювання експериментальних даних	<b>01.06.21</b>	
9	Оформлення економічного розділу та розділу з охорони праці	<b>04.06.21</b>	
10	Формування висновків та рекомендацій	<b>07.06.21</b>	
11	Рецензування	<b>08.06.21</b>	
12	Захист роботи	<b>18.06.21</b>	

Студент

Юзюк Денис Валерійович

Керівник роботи

Ямшинський Михайло Михайлович

Юзюк Денис Валерійович

Тема дипломної роботи: «Вплив модифікування високодисперсним карбідом кремнію на ливарні властивості вторинного сплаву системи Al-Si»

## РЕФЕРАТ

Дипломна робота: 57 стор., 12 рис., 27 табл., 17 посилань.

Об'єкт дослідження – модифікування вторинного сплаву системи Al - Si.

Мета роботи – дослідження впливу модифікатора на ливарні властивості вторинного сплаву Al - Si, заливанням при різних температурах (720, 700, 680, 660).

Методи дослідження – мета і поставлені в роботі задачі обумовили проведення комплексних теоретичних і експериментальних досліджень.

Результати НДР – встановлено значне покращення ливарних властивостей вторинного сплаву Al-Si з додаванням модифікатора.

Ступінь впровадження – випробувано в лабораторних умовах.

Галузі застосування – металургія, машинобудування тощо.

Прогнозні припущення – додавання модифікаторів у вторинні сплави безумовно мають значну перспективу щодо виробництва високоякісних литих деталей.

**МОДИФІКУВАННЯ, КАРБІД КРЕМНІЮ, ДОСЛІДЖЕННЯ ЛИВАРНИХ  
ВЛАСТИВОСТЕЙ.**

Yuziuk Denys Valerievich

Thesis topic: "The effect of modification of highly dispersed silicon carbide on the casting properties of the secondary alloy of the Al-Si system"

### **ABSTRACT**

T: 57 pages, 12 figures, 27 tables, 17 references.

The object of research is the modification of the secondary alloy of the Al - Si system.

The purpose of the work - to study the effect of the modifier on the casting properties of the secondary alloy Al - Si, pouring at different temperatures (720, 700, 680, 660).

Research methods - the purpose and tasks set in the work led to a comprehensive theoretical and experimental studies.

GDR results - a significant improvement in the casting properties of the secondary Al-Si alloy with the addition of a modifier.

Degree of implementation - tested in laboratory conditions.

Areas of application - metallurgy, mechanical engineering, etc.

Predictive assumptions - the addition of modifiers to secondary alloys certainly have significant prospects for the production of high quality cast parts.

**MODIFICATIONS, SILICON CARBIDE, RESEARCH OF FOUNDRY PROPERTIES.**

## ЗМІСТ

---

ВСТУП.....	9
1. ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД.....	11
1.1 Загальна характеристика алюмінію.....	11
1.2 Класифікація алюмінієвих сплавів.....	12
1.3 Вплив легуючих елементів і домішок на властивості силумінів.....	13
1.4 Підвищення якості силумінів.....	17
1.4.1 Рафінування.....	17
1.4.2 Вібраційне та ультразвукове оброблення.....	18
1.4.3 Вплив оброблення електричним струмом.....	19
1.4.4 Модифікування.....	20
1.5 Постановка задач досліджень.....	22
2. МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ.....	23
2.1 Методика дослідження об'ємної усадки.....	23
2.2 Методика дослідження впливу температури заливання та матеріалу форми на рідкотекучість сплавів.....	28
3. ОПИС РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	32
3.1 Опис результатів рідкотекучості вторинного сплаву системи алюміній - кремній (силумін).....	32
3.2 Опис результатів лінійної усадки вторинного сплаву системи алюміній - кремній (силумін).....	34
3.3 Опис результатів дослідження об'ємної усадки та густини вторинного сплаву системи алюміній - кремній (силумін).....	35
Висновок до 3-го розділу.....	39
4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	40
4.1 Загальна характеристика умов праці в ливарній лабораторії.....	40
4.2 Оцінка ключових небезпечних та шкідливих виробничих факторів і розроблення заходів поліпшення (нормалізації) умов праці в ливарній лабораторії.....	43

4.2.1 Фізичні джерела небезпечних і шкідливих виробничих факторів в ливарній лабораторії при виконанні ливарних робіт .....	44
4.2.1.1 Теплова безпека .....	44
4.2.1.2 Ураження електричним струмом.....	45
4.2.1.3 Хімічні фактори.....	48
Висновки до розділу 4.....	49
5. ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ.....	50
5.1 Економічно-технічна актуальність НДР .....	50
5.1.1 Мета і завдання науково-дослідницької роботи .....	50
5.2 Розрахунок витрат на проведення НДР .....	51
5.2.1. Витрати на оплату праці.....	52
5.2.2. Єдиний соціальний внесок.....	53
5.2.3. Матеріали, необхідні для проведення досліджень .....	54
5.2.4 Витрати на спеціальне обладнання .....	54
5.2.5 Витрати на службові відрядження .....	55
5.2.6 Інші прямі невраховані витрати .....	55
5.2.7 Накладні витрати по темі .....	55
5.2.8 Розроблення планової калькуляції кошторисної вартості теми.....	56
5.3. Науково-технічна ефективність НДР .....	57
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ .....	59
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ .....	60

## ВСТУП

---

На сьогоднішній день алюміній та сплави на його основі є одним з основних конструкційних матеріалів, які знайшли своє широке застосування у різних галузях сучасної промисловості. За об'ємом виробництва алюміній та сплави на його основі посідають друге місце в світі після сплавів на основі заліза. Одним із основних напрямків застосування алюмінію є авіакосмічна та транспортна промисловість. Це пов'язано з тим що алюміній має ряд переваг, які вигідно виділяють його серед інших конструкційних матеріалів. Найбільш значними перевагами алюмінію, які обумовлюють його поширеність в авіаційному будівництві, є його висока корозійна стійкість, мала густина, висока міцність та ударна в'язкість. Застосування алюмінію в якості основного матеріалу при виготовленні різноманітних конструкцій транспортних засобів, дозволяє значно знизити вагу конструкції, що призводить до підвищення маневреності всієї конструкції, а також зниження витрат пального. Крім того, алюміній добре піддається формуванню та литтю, а також подальшій механічній обробці, що дозволяє виготовляти з нього різноманітні деталі та конструкції складної конфігурації. Однак в чистому вигляді алюміній має ряд недоліків, таких як, низькі твердість та температура плавлення. Значно підвищити характеристики алюмінію дозволяє введення в нього різних легувальних елементів та модифікаторів.

У зв'язку з сучасним прогресом та постійним розвитком галузі авіабудування та транспортної промисловості в цілому, до конструкційних матеріалів висуваються все більш високі вимоги. Щоб відповідати вимогам сучасного світу потрібно постійно проводити дослідження та намагатись знаходити нові шляхи поліпшення якості та підвищення властивостей конструкційних матеріалів.

Актуальною проблемою є також розробка методів поліпшення якості вторинних сплавів на основі алюмінію. Виробництво первинного алюмінію є досить коштовним та енерговитратним процесом. Значно знизити витрати на виробництво алюмінієвих сплавів дозволяє перероблення алюмінієвого лому. Отримання 1 т вторинного алюмінію дозволяє зберегти 4 т бокситів, 700 кг кокса

та зменшує шкідливі викиди (включаючи CO) на 35 кг [1]. При використанні 1 т високоякісних вторинних сплавів на основі алюмінію при виготовленні відливок замість первинного алюмінію, у народному господарстві заощаджується, в залежності від марки сплаву та області його застосування, від 230 до 490 кг первинного алюмінію, від 24 до 197 кг кристалічного кремнію, від 1,1 до 4,6 т бокситів, від 0,4 до 1,8 т глинозему, а також від 4 до 16 тисяч кВт·ч електроенергії [2]. Але якість вторинної сировини поступається якості первинних сплавів. Основною причиною низької якості вторинних сплавів є їх висока забрудненість різними шкідливими домішками.

# 1. ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД

---

Вторинні сплави системи алюміній - кремній (силуміни) слугують основою багатьох алюмінієвих композицій, що широко вживаються як конструкційні матеріали для фасонного лиття в авіабудуванні, будівництві, транспорті та інших галузях промисловості. Це пов'язано, в тому числі, з можливістю і економічною доцільністю використання в широкій мережі повернення власного виробництва, а також використання таких сплавів в якості заміни первинних. Однак, механічні властивості вторинних сплавів, зазвичай, поступаються за своїм рівнем первинним сплавам, що обумовлено, насамперед, «погіршенням» їхнього хімічного складу та газовмісту. Тому розробка технологічних мір щодо поліпшення якості вторинних алюмінієвих ливарних сплавів для отримання якісних литих заготовок представляється актуальною задачею.

## 1.1 Загальна характеристика алюмінію

Алюміній являє собою метал який має ГЦК кристалічну решітку та не має алотропічних модифікацій. Алюміній є найпоширенішим металом який зустрічається в земній корі. Його головними обливостями є мала густина ( $\gamma = 2,72 \text{ г/см}^3$ ) – у три рази легше за сталь, низька температура плавлення ( $t_{пл} = 660 \text{ }^\circ\text{C}$ ), а також висока корозійна стійкість. Антикорозійні властивості алюмінію пояснюються тим, що на його поверхні утворюється тонка оксидна плівка  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , яка має високу міцність та щільність і захищає поверхню металу від впливу навколишнього середовища. Алюміній має високу стійкість у морській воді та у багатьох органічних кислотах, у концентрованій азотній кислоті, у повітрі, забрудненому сірчистими газами і т. д. Стійкість алюмінію проти атмосферної корозії в  $\sim 20$  разів більша за стійкість сталі. Однак цей метал може руйнуватися при впливі на нього лугами та деякими видами кислот, наприклад, соляною. Чистий алюміній має наступні механічні властивості у відпаленому стані:  $\sigma_B = 80 \dots 100 \text{ МПа}$ ,  $\sigma_{0,2} = 30 \dots 40 \text{ МПа}$ ,  $\delta = 35 \dots 40 \%$ ,  $\text{НВ} = 25 \dots 30$ . Холодна пластична деформація підвищує  $\sigma_B$  до  $150 \text{ МПа}$ , але знижує  $\delta$  до  $6 \%$ . Алюміній легко обробляється тиском, зварюється усіма видами

зварювання, але його обробка різанням ускладнена, має значну ливарну усадку. Після деформування і відпалу алюміній має однорідну зернисту структуру. Супутні алюмінію домішки (залізо, кремній тощо) утворюють з ним різні сполуки, які виділяються на границях зерен та всередині них. Алюміній із залізом утворює крихку інтерметалеву сполуку  $Al_3Fe$ , яка знижує його пластичність. За вмісту кремнію понад 0,05 % на межах зерен алюмінію з'являються голчасті крихкі кристали кремнію сірого кольору. У випадку одночасної присутності в алюмінії та його сплавах кремнію і заліза утворюються потрібні сполуки цих металів  $\alpha$ -(Al-Fe-Si) та  $\beta$ -(Al-Fe-Si) пластинчастої або голчастої форми. Склад  $\alpha$ -фази описує формула  $Fe_2SiAl_8$ , а  $\beta$ -фази –  $FeSiAl_5$ .

Шкідливий вплив заліза на механічні властивості технічного алюмінію та сплавів на його основі нейтралізують введенням невеликої кількості мангану і хрому, які утворюють фазу  $\alpha$ -(Al, Fe, Si, Mn) з формою часточок, близькою до поліедричної [3].

## 1.2 Класифікація алюмінієвих сплавів

Сьогодні алюмінієві сплави поділяють на: ливарні; деформовані та спечені (отримані методами порошкової металургії). За даними В.С. Золоторевського і Н.А. Белова [6] на частку ливарних сплавів доводиться від 20 до 30% від усього виробленого в світі алюмінію.

Найбільш поширеними ливарними сплавами є силуміни (близько 90% [6]), які бувають наступних систем легування: Al-Si (прості або подвійні силуміни), AlSi-Cu, Al-Si-Cu-Mg, Al-Si-Mg. Доля силумінів серед ливарних сплавів складає до 90% (від усієї номенклатури) завдяки високій технологічності при литті, невисокій собівартості та добрими фізико-механічними властивостями. Для фасонного лиття також знаходять застосування сплави на основі систем: Al-Cu, Al-Mg, Al-Cu-Mg, Al-Zn-Mg. Це пояснюється їх високими механічними та технологічними властивостями, а також низькою вартістю.

Конкурентоспроможність алюмінію визначається не тільки його властивостями, а й можливістю повторного використання. В даний час

розширення обсягів виробництва виробів з первинних алюмінієвих сплавів стримується великими витратами електроенергії на всіх стадіях технологічного процесу та забрудненням навколишнього середовища. Тому все більш широке застосування знаходять вторинні алюмінієві сплави. За даними автора роботи [8], на виробництво 1 т сплавів із вторинної сировини електроенергії витрачається приблизно в 20 разів менше, а вихідної сировини в десятки разів менше, ніж на виробництво 1т сплавів з первинних матеріалів, при цьому собівартість зменшується в декілька раз. Головними галузями, які постачають скрап і лом, що містить алюміній є транспорт, машинобудування, будівництво та харчова промисловість [6]. Характерною особливістю процесу при цьому є значне за обсягом (70 ... 80%) використання вторинної сировини (брухту, стружки, ливників). Це позитивно позначається на собівартості сплавів, але погіршує їх якість. Більш низька якість вторинних алюмінієвих сплавів пояснюється підвищенням вмістом шкідливих домішок: неметалевих, газів, заліза, магнію, олова, свинцю, цинку та інших металів.

В даний час у світі розподіл сплавів на первинні і вторинні зустрічається не завжди. В Україні існує ДСТУ 2839-94 (ГОСТ 1583-93) «Сплави алюмінієві Ливарні. Технічні умови». Однак аналіз літературних джерел показав, що вторинні сплави по технологічним, механічним і службовим властивостям поступаються первинним, тому питання позначення отримання сплаву зі вторинної сировини та підвищення їх якості залишаються актуальними до теперішнього часу.

### **1.3 Вплив легуючих елементів і домішок на властивості силумінів**

Широке застосування в промисловості ливарних алюмінієвих сплавів – силумінів, обумовлено сприятливим поєднанням ливарних, механічних, та експлуатаційних властивостей.

Основним елементом в силумінах є кремній, його зміст змінюється від 4 до 22%. За вмістом кремнію силуміни діляться на доевтектичні (4 ... 9% кремнію), евтектичні (10 ... 13% кремнію), заевтектичні (14...22% кремнію) [9].

При кімнатній температурі розчинність кремнію в алюмінії менше 0,1%, з підвищенням температури його розчинність збільшується, досягаючи при евтектичній температурі (577°C) 1,65% [10]. Внаслідок малої розчинності, кремній слабо зміцнює силуміни за твердо-розчинним механізмом, але утворюючи евтектики він сприяє зміцненню за дисперсійним механізмом. Внаслідок цього сплави системи Al-Si відносяться до сплавів, які не піддаються термічній обробці.

Подвійна евтектика алюміній-кремній має грубу структуру [11]. В алюмінієвій матриці кремнію виділяється у вигляді пластин або голок великих розмірів. Форма і розміри включень частинок кремнію в евтектиці досить значно впливають на властивості особливо доевтектичних силумінів. Тому при отриманні сплаву намагаються подрібнити кристали кремнію. Це можливо зробити двома способами: при кристалізації сплаву, збільшенням швидкості охолодження; введенням елементів-модифікаторів, які змінюють форму і величину структурних складових евтектики.

Наприклад в роботі [12] показано, що перегрів розплаву АЛ2 (АК12) до 770°C і охолодження зі швидкістю 103°C/с призвели до зменшення часток кремнію і відстані між ними. Найбільш високим рівнем властивостей (міцністю і пластичністю) володіли сплави, що мали компактні, дрібнодисперсні кристали евтектичного кремнію [13]. Збільшення дисперсної кремнієвої складової евтектики в 2 рази досягалося введенням в сплав АК5М2 нітриду титану в кількості 0,014% [14]. При цьому відносне подовження дорівнювало 2,3%, а межа міцності - 300 МПа.

Збільшення вмісту кремнію призводить до збільшення об'ємної частки евтектики (Al) + (Si) і, як наслідок, до поліпшення ливарних властивостей [13]. Величина нижньої межі по кремнію зумовлена необхідним мінімальним рівнем ливарних властивостей, а верхнього - мінімальним допустимим рівнем пластичності.

Основними легуючими елементами силумінів є Cu, Mg, Zn. Легування та термічна обробка дозволяють змінювати структуру та властивості алюмінієвих сплавів за рахунок різної розчинності елементів в матриці, утворенню

інтерметалідних фаз та зміни їх форми та розмірів. За даними авторів [15, 16] до групи допоміжних легувальних елементів можна віднести Mn, Cr, V, Ti, Zr, Mo, Ni, Nb. Ці елементи забезпечують додаткове зміцнення, подрібнюють структуру, підвищують технологічну пластичність та жароміцність сплавів за рахунок утворення комплексних інтерметалідів каркасного типу.

Додатково можна виділити елементи, які мають низьку розчинність в твердому алюмінію (Na, K, Li, Be, Ca, Sr, Ba, Bi, Cd). У вигляді мікродомішок вони покращують технологічні властивості [17].

До шкідливих домішок відносяться Fe, Sn, Pb, наявність яких призводить до підвищенню крихкості сплаву.

Вміст міді в силумінах коливається від 1,0% до 8,0%. Цей елемент забезпечує можливість істотного дисперсійного зміцнення в результаті старіння після гартування, при якому виділяються дисперсні частки фаз, що містять мідь, наприклад,  $Al_2Cu$ . Недоліком міді є те, що вона призводить до зменшення корозійної стійкості сплавів. Також підвищуються механічні властивості сплаву системи Al-Si-Cu, а збільшення вмісту міді до 10% призводить до збільшення рідинноплинності на 14%.

Магній, у порівнянні з іншими легуючими елементами, найбільш сильно впливає на механічні властивості силумінів, тому його концентрація знаходиться в досить вузьких межах. Кількість магнію в силумінах становить приблизно 0,2 ... 0,6% (іноді до 1%) [15]. При старінні виділяється фаза  $Mg_2Si$ , яка зміцнює сплав.

Цинк в силумінах може виступати як в якості легуючого елемента (до 12% практично повністю розчиняється в алюмінії), так і в якості домішки. За даними А.Г. Пригунової, збільшення вмісту цинку в сплаві з 1,5% до 8,0% і зміна швидкості охолодження призведе до зміни складу фаз і їх об'ємної частки, що призводить до зміни властивостей сплаву. За даними роботи, цинк до 2,5% не впливав на рідинноплинність. В той же час автори роботи наводили дані, що цинк від 0,4% до 1,5% збільшував рідинноплинність з 470 до 510 мм сплаву АК5М2, а також зменшував лінійну усадку.

Залізо належить до основних шкідливих домішок в алюмінієвих сплавах, внаслідок його дуже малої розчинності. При 0,005% заліза в алюмінієвих сплавах утворюється інтерметаліди  $Al_3Fe$ . Підвищений вміст заліза в алюмінієвих сплавах може призводити до утворення фаз різного складу:  $\alpha$  ( $Al_8SiFe_2$ ),  $\beta$  ( $Al_5SiFe$ ),  $Al_4SiFe$ ,  $\gamma$  ( $Al_3SiFe$ ),  $Al_8Si_6Mg_3Fe$ ,  $Al_7Cu_2Fe$  та ін. Вважається, що одним з найбільш шкідливим є включення  $Al_5SiFe$ , яке випадає у вигляді первинних кристалів і має пластинчасту форму.

За даними Л.Ф. Мондольфо, процес кристалізації силумінів починається з появи залізовмісних фаз. Зі збільшення вмісту заліза у вторинному силуміну з 0,40 до 1,45 мас. % призводило до збільшення об'ємної частки залізовмісних фаз з 4,17 до 11,89% і їх укрупнення. При вмісті заліза в сплаві до 2% різко погіршуються механічні (межа міцності, відносне подовження, твердість) і ливарні властивості алюмінієвих сплавів.

Марганець, молібден, нікель в якості легируючих елементів вводять у вторинні силуміни для нейтралізації негативного впливу заліза. Введення марганцю в кількості 4,5% призводить до зниження вмісту заліза в сплаві з 1,5 до 0,5%. Процес видалення заліза відбувався в результаті виділенні важкоплавких сполук типу  $Mn_xFe_yAl_z$  при відстоюванні або фільтрації. Згідно з результатами досліджень додавання молібдену до сплаву системи Al-Cu-Si сприяло утворенню фази  $Al_5SiFe$  у формі китайських ієрогліфів, що призводило до збільшення ударної в'язкості литого сплаву з  $2,28 \cdot 10^4$  до  $3,5 \cdot 10^4$  Дж/м<sup>2</sup>.

Натрій і стронцій використовуються для модифікування евтектики, первинних кристалів кремнію і залізовмісних фаз. Можуть використовуватися як в чистому вигляді, так і у вигляді сполук фтористих і хлористих солей, які входять до складу рафінуючих флюсів. До недоліків застосування натрію відносяться: короткочасність модифікувального ефекту, виділення шкідливих фтористих і хлористих сполук, зниження рідиноплинності сплавів. Згідно даних авторів робіт стронцій може збільшувати газонасиченість розплаву, що призводить до збільшення пористості.

Загальновизнаним модифікаторами первинних кристалів кремнію є фосфор та сірка [13]. Одночасне застосування сіркою і стронцієм покращує

ефект модифікування, впливаючи не тільки на евтектичний кремній, а і на залізомістку фазу.

## **1.4 Підвищення якості силумінів**

Існують різні методи поліпшення структури і підвищення службових і механічних властивостей вторинних силумінів. Залежно від механізму впливу їх можна розділити на фізичні і металургійні методи.

### **1.4.1 Рафінування**

Рафінування – це процес очищення розплаву металу від шкідливих та небажаних домішок, з метою поліпшення якості сплаву, отримання більш задовільної структури, а також підвищення показників механічних та технологічних властивостей отриманого сплаву.

При виробництві сплавів разом з шихтою до розплаву неминуче потрапляють різноманітні забруднювальні домішкові елементи. Наявність в сплаві забруднювальних домішок призводить до утворення в структурі значної кількості інтерметалідних фаз. Інтерметалідні включення порушують мікроструктуру сплаву та являють собою концентратори напруги, що призводять до зниження міцності, пластичності та ударної в'язкості сплаву.

Рафінування сплавів на основі алюмінію, в більшості випадків, відбувається за допомогою методу оброблення розплаву флюсом та наступній їх обробці з використанням інертних газів або азоту. Широкого розповсюдження набули флюси на основі хлористих та фтористих сполук натрію та калію. Відповідно до даних [6, 7] використання флюса складу 15% NaF, 25% NaCl, 5% KCl, 5% Na<sub>3</sub>AlF<sub>6</sub> та 50% C<sub>2</sub>Cl<sub>6</sub> при отриманні вторинних сплавів АК7, АК9 та АК5М7 призводило до підвищення міцності литих виробів, а також зниження брака викликаного неметалевими включеннями та газовими порами. В роботах [6, 8] було встановлено, що після оброблення розплаву АК5М2 флюсом відбувається зниження газовмісту сплаву з 0,38 до 0,12 см<sup>3</sup> /100г та газової пористості з 4...5 до 1...2 балів за шкалою ВІАМ.

Недоліком оброблення алюмінієвих сплавів флюсами є небезпечність та шкідливість даного методу з екологічної точки зору. З'єднання фтору та хлору є токсичними речовинами для людини. Використання цих речовин в процесі виробництва становить потенційну загрозу для здоров'я робітників та негативно впливає на навколишнє середовище.

Ванадій та його з'єднання є досить коштовними речовинами. На сьогоднішній день в Україні не має власного виробництва ванадію, а потреба в цьому металі задовільняється за рахунок імпорту. Використання імпортного ванадію для рафінування сплавів алюмініє не є доцільним з економічної точки зору. Отже головним недоліком цього методу рафінування, є висока ціна оксидів ванадію.

#### **1.4.2 Вібраційне та ультразвукове оброблення**

Вібраційне та ультразвукове оброблення розплавів алюмінію дозволяє отримати дрібнозернисту структуру, яка рівномірно розподілена по всьому перетину виливка. Вібраційний імпульс застосовують відносно кокілю з розплавом алюмінію, в якому відбувається процес кристалізації, або до самої заготовки яка охолоджується. Вібрація, за своїм впливом, являє собою метод примусового перемішування розплаву частини виливка, що не затверділа. Частота вібрації при обробленні зазвичай становить 1...30 Гц при змінній амплітуді. При обробленні розплаву, в якому протікає процес кристалізації, вібраційні хвилі руйнують великі дендрити. Уламки цих дендритів потрапляють до розплаву та сприяють утворенню нових центрів кристалізації, що призводить до подрібнення зерен та зменшення зони стовпятих кристалів. Вібраційне оброблення дозволяє зменшити розмір зерен майже у 3 рази. Окрім цього таке оброблення розплаву сприяє дегазації та зменшенню ліквациї. Оброблення розплаву вібрацією може відбуватися при вібрації заливного пристрою або при вібрації самої форми.

При ультразвуковому обробленні на розплав впливають механічні коливання високої частоти. Ультразвукові хвилі створюються за допомогою

пристроїв, робота яких полягає у перетворенні електромагнітних коливань у механічні. При обробленні розплаву цим методом, ультразвукова хвиля, при проходженні крізь розплав, створює в ньому зони низького та високого тиску. У зонах низького тиску, на короткий період, утворюються дрібні порожнини (кавітаційні пухирі), які миттєво руйнуються. Це явище називається ультразвуковою кавітацією. Воно сприяє руйнуванню первинних дендритів та фазових складових, які слугують центрами кристалізації та призводять до подрібнення зерна.

Ультразвукова кавітація, разом з ефектом акустичного перемішування розплаву підвищує ступінь змочуваності твердої фази розплавом, що призводить до більш повної реалізації дисперсних частинок, які наявні в розплаві, в якості центрів кристалізації. Про це свідчить факт значного підвищення ефективності ультразвукового оброблення при впровадженні в розплав модифікаторів зародкового типу. Велика кількість центрів кристалізації не тільки подрібнює зерна але й призводить до значного зменшення зони стовпчатих кристалів, оскільки, при наявності великої кількості центрів кристалізації, процес кристалізації завершується на початковій стадії та зростаючі дендрити не встигають утворити стовпчасту форму.

Головними недоліками оброблення розплавів вібраційним та ультразвуковим методами є необхідність використання складного обладнання для генерації механічних коливань. Використання цього методу з метою підвищення якості продукції, може бути економічно не доцільним, оскільки потребує значних змін технології виробництва.

### **1.4.3 Вплив оброблення електричним струмом**

Оброблення розплаву при кристалізації з використанням електричного струму також дозволяє підвищити властивості алюмінієвих сплавів. Електричний струм здійснює вплив на дендритну структуру сплаву. Проходячи через розплав він спричиняє зменшення розміру дендритних осередків та формування тонкодисперсної евтектики в сплаві. Використання струму дозволяє

з середини регулювати приплив теплоти, за рахунок теплоти Джоуля-Ленса, що дозволяє контролювати стан зародків кристалізації в обсязі та часі. На етапі проходження фазових перетворень, використання електричного струму, дозволяє здійснювати направлений вплив на процес формування кристалічної структури та управляти формуванням властивостей сплаву.

Також встановлено, що пропускання електричного струму крізь розплав сприяє його дегазації. Така дія пояснюється впливом направленного потоку електронів, який називають «електронним вітром» на іони в розплаві, що знаходяться в стадії дифузії.

Метод оброблення розплаву електричним струмом може використовуватись разом з іншими методами підвищення властивостей виливків, наприклад при використанні дисперсного модифікування, з метою контролювання процесу модифікування.

Нажаль використання цього методу ускладнює процес виробництва, так як оброблення розплаву металу електричним струмом потребує використання спеціального обладнання. Крім того, цей метод є досить енергозатратним, що додатково збільшує собівартість виробництва.

#### **1.4.4 Модифікування**

Одним з ефективних і найбільш універсальних методів підвищення технологічних і механічних властивостей вторинних алюмінієвих сплавів є модифікування. Його основне завдання полягає в сприятливому зміні величини і форми структурних складових сплаву, при введенні в рідкий метал модифікаторів, які практично не змінюють хімічного складу сплаву. Ці добавки умовно розділені на дві групи: модифікатори I і II роду.

У першій групі в якості модифікаторів виступають хімічні елементи, які утворюють тугоплавкі сполуки, що кристалізуються в першу чергу. Виділяючись у вигляді дисперсних частинок, ці сполуки (карбіди, нітриди, оксиди) є зародками кристалів, що виникають під час затвердіння. В якості модифікаторів I роду можуть виступати титан, ванадій, цирконій і ін.

До другої групи належать поверхнево активні елементи, які адсорбуються на кордонах зародився кристала і тим самим знижують швидкість його росту. Лужні і лужноземельні метали (натрій, калій) відносяться до цієї групи. Останнім часом, в якості модифікаторів доевтектичних і евтектичних силумінів, широке поширення знайшли стронцій і сурма. Найбільш ефективним є використання комплексів, що складаються з декількох елементів-модифікаторів. У роботах В.З. Куцовой показано, що модифікування сплаву АК7ч комплексом, до складу якого входить 0,1% стронцію і 0,5% скандію, призводить до підвищення диференціювання евтектики, а також поліпшенню властивостей сплаву - підвищення межі міцності в 1,7 ... 2,0 рази, твердості в 1,5 ... 1,8 рази, при рівні пластичних властивостей немодифікованого силуміну. Застосування потрібної лігатури Al + 2,2% Si + 10% Sr при модифікуванні сплаву АЛ4 (АК9ч) забезпечувало отримання рівномірної структури, що містить розгалужені дендрити твердого розчину і тонкодиференційованої евтектики. Інтерметаллідні включення зі стронцієм розташовувалися по межах зерен, не знижуючи при цьому показників механічних властивостей сплаву.

В даний час для підвищення якості ливарних силумінів використовується технологія обробки порошковими модифікаторами. Як добавок, що модифікують виступають частки карбідів, нітридів, боридів, оксидів металів, розміри яких становлять 100 нм і менш. Застосування таких модифікаторів забезпечує полегшення і екологічну безпеку технологічного процесу виплавки алюмінієвих сплавів. У роботах, проведених Н.Є. Калініною зі співавторами, розроблений спосіб отримання нанокристалічних сполук карбіду кремнію, нітриду алюмінію, карбонітрида титану для модифікування сплавів, в тому числі і алюмінієвих. В якості модифікатора для ливарних алюмінієвих сплавів АЛ2, АЛ4, АЛ4С використовувався дисперсний порошок карбіду кремнію. Комплексні дослідження з вивчення механічних і технологічних властивостей сплавів показали, що обробка розплавів дисперсним порошком карбіду кремнію сприяла: подрібненню макро- і мікроструктури сплавів, підвищенню механічних і технологічних властивостей. Межа міцності підвищилася на 3 ... 8%, відносна подовження на 19 ... 26%, рідинноплинність збільшилася на 0,8 ... 3,3%,

щільність – на 1,5 ... 2,4%, спостерігалася висока тріщиностійкість, пористість склала 1 бал згідно ДСТУ 2839-94 (ГОСТ 1583-93).

Аналіз літератури показує, що дані про вплив якості шихти і процесів рафінування та модифікування на якість вторинних алюмінієвих сплавів часто є суперечливими. А для досягнення необхідного рівня механічних, технологічних та службових властивостей необхідний комплексний підхід до контролювання якості від сортування брухту та відходів до термічної обробки готових виробів. У зв'язку з цим необхідні дослідження з комплексного вивчення впливу якості шихти і рафінувально-модифікуючої обробки на механічні і технологічні властивості вторинних силумінів.

### **1.5 Постановка задач досліджень**

На підставі аналізу літератури та матеріалів практики в роботі поставлено наступні задачі: визначити ливарні властивості вторинного сплаву системи Al-Si залежно від кількості доданого модифікатора SiC та температури заливання сплаву.

## 2. МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

---

З метою оптимізації технології модифікування вторинних силумінів потрібно виконати:

- виконати літературний огляд з питань підвищення якості алюмінієвих сплавів;
- в лабораторній печі виплавити силумін із вторинної сировини;
- виготовити зразки для металографічного аналізу і механічних випробувань з металу дослідних плавок;
- провести механічні випробування;
- дослідити структуру силуміну;
- одержати залежності механічних властивостей від розміру присадки модифікатора в силуміні;
- зробити висновки за результатами роботи і пропозиції по оптимізації технології модифікування вторинних силумінів.

### 2.1 Методика дослідження об'ємної усадки

Густина більшої частини металів і сплавів при охолодженні підвищується, відповідно зменшується питомий об'єм - величина, протилежна густині. У зв'язку з цим спочатку неперервно зменшується об'єм розплаву, залитого в ливарну форму, вилівка, що поступово твердіє і, нарешті, твердого вилівка при зміні температури від температури кристалізації до нормальної. Якщо уявити, що поступове охолодження розплаву в ливарній формі відбувається лише по бічних і донній поверхнях, то зміна об'єму супроводжуватиметься зниженням рівня розплаву у формі. Це проявляється в утворенні концентрованих усадкових раковин і усадкових пор, що схематично показано на рис.1.1.

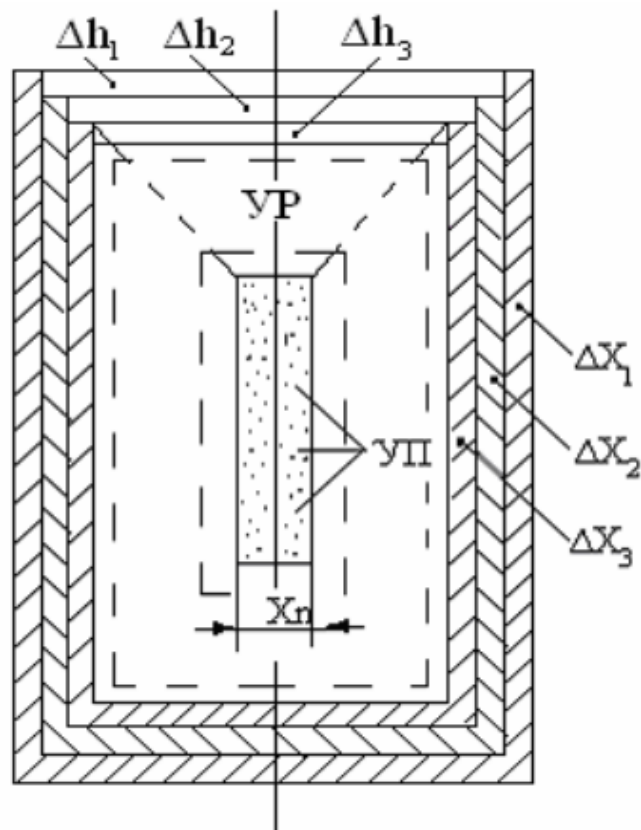


Рисунок 2.1 – Схема утворення усадкової раковини та осьової пористості

Якщо за час  $\Delta t$  на цих поверхнях утворився затверділий шар товщиною  $\Delta x_1$ , то це супроводжувалося зменшенням його об'єму внаслідок усадки в рідкому стані та при твердінні. Це спричинило зменшення рівня рідкого металу в порожнині на величину  $\Delta h_1$  (рис.2.1). При подальшому утворенні 2-го, 3-го і т.д. шарів відбувається відповідне зниження рівня рідкого металу в порожнині на величину  $\Delta h_2$  і т.д. Таким чином утворюється усадкова раковина УР. При пересуванні фронту кристалізації температура рідкої серцевини виливка поступово знижується. Вона збагачується неметалічними включеннями, розчиненими газами, кристалами твердої фази і її рідкотекучість зменшується. В певний момент часу при якійсь товщині  $x_p$  рідка серцевина втрачає здатність опускатися під дією сил земного тяжіння. При подальшому її твердінні і відбувається утворення усадкової пористості УП, яка в цьому випадку називається осьовою.

Зміна об'єму, що відбувається при охолодженні виливка, який затвердів, виявляється в зменшенні його лінійних розмірів. Отже, відносна загальна

об'ємна усадка металу чи сплаву  $\varepsilon_{\Sigma}$  складається з відносної усадки в рідкому стані  $\varepsilon_r$ , усадки в процесі кристалізації  $\varepsilon_{кр}$  та усадки в твердому стані  $\varepsilon_t$ , тобто загальна (повна) відносна об'ємна усадка дорівнює алгебраїчній сумі відносної зміни об'єму вилівка на кожному з трьох періодів охолодження:

$$\varepsilon_{\Sigma} = \varepsilon_r + \varepsilon_{кр} + \varepsilon_t; \quad (2.1)$$

Співвідношення об'ємів усадкової раковин і пор у виливках залежить від характеру кристалізації сплаву, насамперед від інтервалу кристалізації, та умов охолодження. Якщо сплав не має інтервалу кристалізації, виливок за будь-яких умов охолодження твердіє поступово шляхом неперервного наростання твердого шару. Тому об'ємна усадка при кристалізації проявляється у вигляді зосередженої усадкової раковини. Якщо сплав має інтервал кристалізації, у виливку, що твердіє, з'являється двофазна область. Доти, доки в середній частині виливка міститиметься рідкий сплав, об'ємна усадка при кристалізації проявлятиметься в утворенні усадкової раковини. Коли ж рідина зникне і двофазна область пошириться на всю центральну частину виливка, усадочна раковина припинить заглиблюватися і почне утворюватися пористість у середній частині виливка. Пористість утворюється, по-перше, у результаті відтоку розплаву на заповнення (живлення) периферійних шарів двофазної області, що тверднуть, а по-друге - унаслідок усадки при кристалізації розплаву між розгалуженнями дендритів у самій двофазній області. Об'єм усадкової пористості у виливку визначається розмірами двофазної області на кінцевій стадії твердіння, кількістю розплаву та величиною об'ємної усадки. Отже, у загальному вигляді об'єм усадкової пористості у виливку має залежати від величини інтервалу кристалізації сплаву, розподілу температури по перерізу виливка, швидкості кристалізації сплаву (інтенсивності наростання твердої фази в межах інтервалу кристалізації) та величини його об'ємної усадки. Умови охолодження виливка також впливають на утворення усадкових порожнин.

Збільшення інтенсивності охолодження виливка в процесі твердіння<sup>30</sup> приводить до скорочення двофазної області, об'єм усадкової пористості зменшується, а об'єм усадкової раковини збільшується. Зменшення інтенсивності охолодження виливка спричиняє протилежні зміни: об'єм

усадкової пористості збільшується, а усадкової раковини зменшується. У разі достатньо малої інтенсивності охолодження двофазна область поширюється на весь переріз виливка, і усадкова раковина зовсім не утворюється, об'ємна усадка проявляється лише у вигляді розсіяної усадкової пористості по всьому об'єму виливка. Подібне зустрічається у виливках із сплавів з широким інтервалом кристалізації, які одержують у формах, виготовлених із матеріалів, що мають малу теплоакумулюючу здатність: у виливках із сплавів алюмінію з інтервалом кристалізації понад 80°C і у виливках з олов'яних бронз із вмістом 5-10 % олова, які одержують у піщаних формах. Експериментально об'ємну усадку сплавів визначають на спеціальних виливках-пробах простої форми куля, куб, конус, циліндр. Коефіцієнт об'ємної усадки можна визначити за формулою:

$$\varepsilon_V = \frac{V_{\Phi} - V_{\text{пр}}}{V_{\text{пр}}} 100\%; \quad (2.2)$$

Для визначення об'ємної усадки, об'єму відкритих усадочних раковин та загального об'єму усадочних пор у сплавах найчастіше застосовують конусну пробу (рис. 2.2). Робочу порожнину конусної проби 6 виконують із піщаної формувальної суміші 2 і розміщують у верхній 1 та нижній 4 опоках. У порожнину 6 заливають досліджуваний сплав знизу через стояк 3 та живильник 5. За рахунок конусності робочої порожнини форми, верхнього кільцевого металевого холодильника 7 та сухого стрижня 8, який утримується вантажем 9, у пробі створюються умови для направленої твердіння металу та утворення концентрованої відкритої раковини у верхній частині конуса.

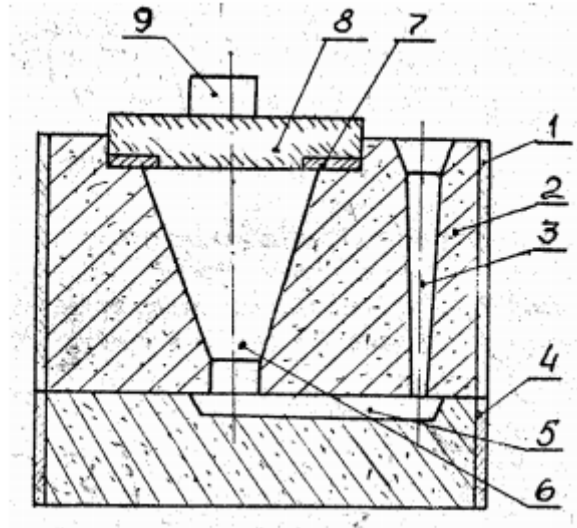


Рисунок 2.2 – Форма для одержання конусної проби при визначенні об'ємної усадки сплавів 1, 4 - опоки; 2 - суміш; 3 - стояк; 5 – ливниковий хід; 6 – порожнина форми; 7 - холодильник; 8 - стрижень; 9 – вантаж.

Об'єм відкритої усадкової раковини  $V_p$  вимірюють шляхом заливання її гасом з мірної бюретки. Загальний об'єм усадкових пор  $\Sigma V_p$  визначають непрямим способом. Для цього спочатку визначають густину зразка, який вирізається з циліндричної частини конусної проби 6. Зважуючи циліндричний зразок у повітрі та рідині (гідростатичне зважування), визначають густину сплаву,  $\rho_{\text{спл}}$ , г/см<sup>3</sup>:

$$\rho_{\text{спл}} = \frac{\rho_{\text{рід}} \cdot m_{\text{пов}}}{m_{\text{пов}} - m_{\text{рід}}}; \quad (2.3)$$

Потім визначають об'єм конусної проби  $V_{\text{к.пр}}$ , см<sup>3</sup> також гідростатичним зважуванням, тобто визначенням маси конусної проби в повітрі та рідині:

$$V_{\text{к. пр}} = \frac{M_{\text{к.пов}} - M_{\text{рід}}}{\rho_{\text{рід}}}; \quad (2.4)$$

За визначеними густиною сплаву  $\rho_{\text{спл}}$  та масою конусної проби в повітрі  $M_{\text{к.пов}}$ , визначають, власне, об'єм сплаву в конусній пробі  $V_{\text{к.спл}}$ , см<sup>3</sup>:

$$V_{\text{к. спл}} = \frac{M_{\text{к. пов}}}{\rho_{\text{спл}}}; \quad (2.5)$$

Сумарний об'єм усадкових пор у конусній пробі  $\Sigma V_{\text{п}}$ ,  $\text{см}^3$ , буде:

$$\Sigma V_{\text{п}} = V_{\text{к. пр}} - V_{\text{к. спл}} \quad (2.6)$$

Таким чином, загальний об'єм усадкових порожнин  $V_{\Sigma}$ ,  $\text{см}^3$ , складатиме:

$$V_{\Sigma} = V_{\text{р}} + \Sigma V_{\text{п}} \quad (2.7)$$

## 2.2 Методика дослідження впливу температури заливання та матеріалу форми на рідкотекучість сплавів

Рідкотекучістю розплавленого металу чи сплаву називають його здатність заповнювати порожнину ливарної форми, чітко та точно відтворювати її конфігурацію та обриси. Залежно від умов визначення розрізняють істинну, умовно-істинну та практичну рідкотекучість (рис.2.3).

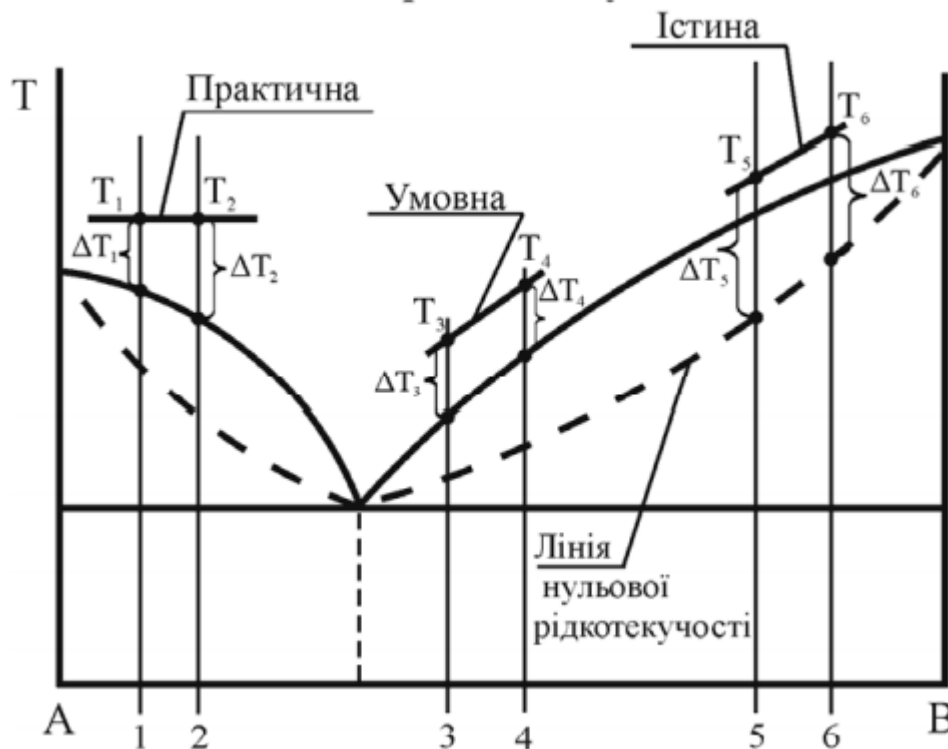


Рисунок 2.3 – Визначення температури заливання при контролі рідкотекучості

Істинна рідкотекучість сплавів визначається при однаковому перегріванні вище температури нульової рідкотекучості. Нульова рідкотекучість сплавів, тобто температура, при якій сплав втрачає рухомість, настає при температурі, що

лежить між температурами (лініями) ліквідуса та солідуса 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 ліквідуса. Під практичною розуміють рідкотекучість сплавів при сталій температурі заливання для сплавів однієї системи. У цьому разі різні сплави перегріваються вище температури ліквідуса та нульової рідкотекучості по різному (рис.2.3). На рідкотекучість впливає характер кристалізації сплаву. Чисті метали, евтектичні сплави та інтерметалеві сполуки, які кристалізуються при сталій температурі з мінімальним розвитком двофазної області, утворюють малорозгалужені дендрити. Тому вони мають більшу істинну рідкотекучість, ніж сплави тієї самої системи, що кристалізуються в інтервалі температур, для яких характерні більший розвиток двофазної області та велика розгалуженість дендритів твердої фази. При збільшенні величини інтервалу кристалізації істинна рідкотекучість сплаву зменшується. У той самий час можуть дещо підвищитися умовно істинна і особливо практична рідкотекучості, оскільки збільшується інтервал між температурою нульової рідкотекучості та температурою заливання. На рідкотекучість істотно впливає теплота кристалізації сплаву. Чим більше теплоти виділяється при кристалізації, тим повільніше відбувається твердіння і вища рідкотекучість сплаву. Теплоємність і теплопровідність істотно впливають на відведення теплоти в ливарну форму від металу, що заливається. Чим вищі ці величини у металі і матеріалі форми, тим швидше відбувається охолодження і нижча рідкотекучість сплаву. Поверхневий натяг і змочування стінок форми ливарними сплавами впливають на заповнення вузьких каналів. Переважна більшість сплавів не змочують стінок форми, тому капілярні сили перешкоджають відтворенню тонкого рельєфу. Чим більші поверхневий натяг сплаву та крайовий кут змочування поверхні ливарної форми і менші розміри виступів та западин на поверхні, тим важче забезпечити точне відтворення виливком рельєфу форми. Цьому також перешкоджають оксидні плівки, що утворюються на поверхні розплавів. Якщо метал змочує форму, то збільшується

площа поверхні контакту. А це, у свою чергу, може прискорити охолодження і зменшити рідкотекучість сплаву. На рідкотекучість істотно впливає хімічний склад металів і сплавів. Чисті метали, а також евтектичні сплави мають достатньо високу рідкотекучість. Сплави, які є твердими розчинами та хімічними сполуками, мають незадовільну рідкотекучість. Для визначення рідкотекучості використовують проби сталої та змінної площі перерізу. До проб сталої площі перерізу належать пруткова, U- подібна та спіральна (рис.2.2.). Змінну площу перерізу мають клинова та кулькова проби. За допомогою проб сталої площі перерізу оцінюють здатність сплавів заповнювати довгі порожнини форми, а за допомогою кулькових та клинових проб - здатність сплаву заповнювати тонкі канали та порожнини у формі. Для визначення рідкотекучості за допомогою проб сталої площі перерізу довжину та площу перерізу порожнини форми встановлюють такими, щоб метал до моменту припинення заливання заповнив порожнину не до кінця. Мірою рідкотекучості при використанні цих проб є довжина одержаного прутка за добраних умов заливання та охолодження сплаву. За допомогою проб сталої площі перерізу встановлюють зв'язок рідкотекучості сплаву з його положенням на діаграмі стану. У більшості випадків рідкотекучість збільшується зі зменшенням інтервалу кристалізації, хоча пряма залежність відсутня.

Для вимірювання рідкотекучості металів і сплавів найчастіше застосовують спіральну пробу (рис.2.4, в).

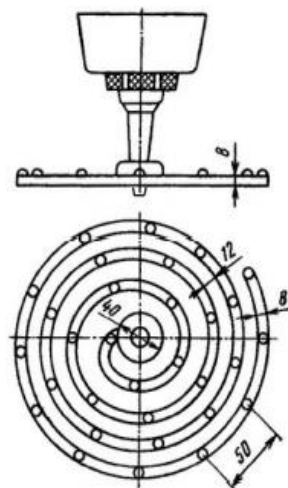


Рисунок 2.4 – Проба на рідкотекучість

Хімічний склад вторинного сплаву системи алюміній - кремній (силуміни) – табл.2.1.

Таблиця 2.1 – Хімічний склад вторинного сплаву АК12

Елемент		Mg	Al	Si	Mn	Fe	Cu	Zn
Масова частка	1	0,528 ± 0,034	84,969 ± 0,050	21,539 ± 0,041	0,242 ± 0,007	0,905 ± 0,005	1,174 ± 0,003	0,692 ± 0,002
	2	0,355 ± 0,044	85,004 ± 0,070	11,752 ± 0,060	0,244 ± 0,004	0,903 ± 0,006	1,069 ± 0,004	0,673 ± 0,003
	3	0,485 ± 0,036	86,207 ± 0,056	10,502 ± 0,046	0,253 ± 0,003	0,871 ± 0,005	1,093 ± 0,004	0,589 ± 0,002

### 3. ОПИС РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

#### 3.1 Опис результатів рідкотекучості вторинного сплаву системи алюміній - кремній (силумін)

В роботі досліджено вплив модифікатора SiC у кількості до 0,2%.  
Результати наведено в табл. 3.1 та рис.3.1.

Таблиця 3.1 – Рідкотекучість сплаву вторинного АК12

№	Кількість модифікатора, %	Температура заливання, °C	Рідкотекучість, мм	
			пгф	Кокіль
1	0	660	305	110
2		680	425	130
3		700	520	165
4		720	570	230
5	0,1	660	370	135
6		680	540	150
7		700	555	240
8		720	630	295
9	0,2	660	390	250
10		680	450	260
11		700	505	300
12		720	645	355

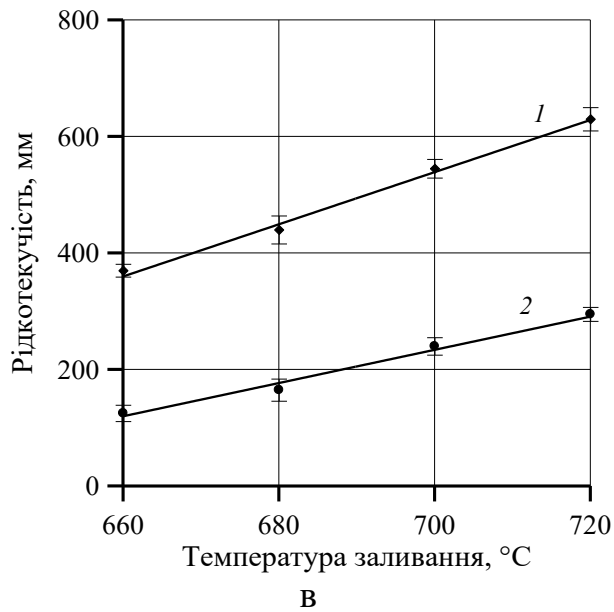
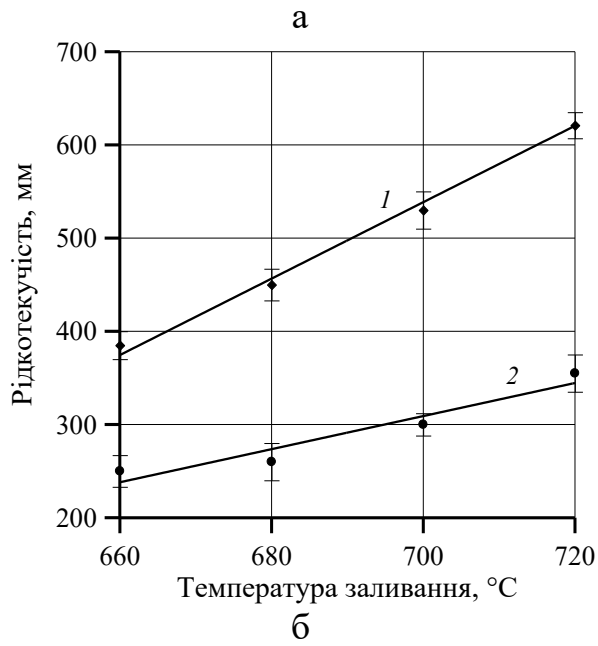
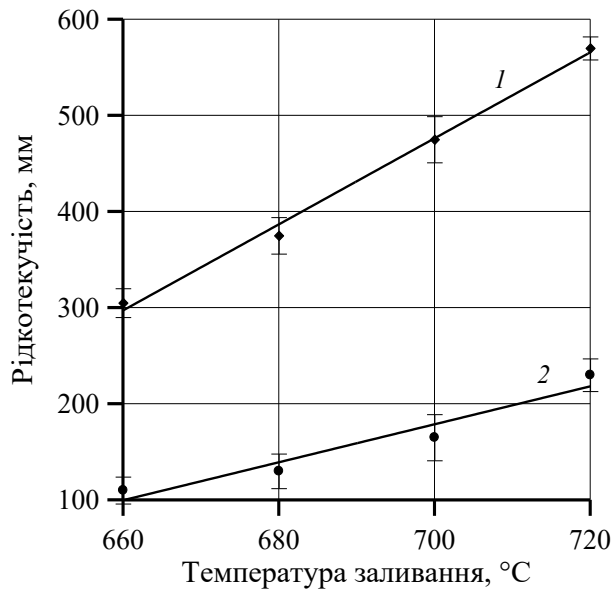


Рисунок 3.1 – Вплив температури заливання на рідкотекучість вторинного сплаву АК12 залежно від температури: а – вихідний сплав; б – кількість модифікатора 0,1%; в – кількість модифікатора 0,2%; 1 – ПГФ; 2 – кокіль

Отже дивлячись на результати досліджень, можна зробити висновок, що при зростанні температури заливання та додаванні модифікатора (SiC), рідкотекучість сплаву значно зростає, як ПГФ так і кокілі.

### 3.2 Опис результатів лінійної усадки вторинного сплаву системи алюміній - кремній (силумін)

Досліджено вплив модифікатора на лінійну усадку вторинного АК 12. Результати наведено в табл. 3.2 та рис. 3.2

Таблиця 3.2 – Лінійна усадка вторинного АК12

№	Кількість модифікатора, %	Температура заливання, °С	Лінійна усадка, %
1	0	660	0,67
2		680	1,15
3		700	1,54
4		720	2,06
5	0,1	660	0,9
6		680	1,32
7		700	1,71
8		720	2,11
9	0,2	660	1,48
10		680	1,69
11		700	2,06
12		720	2,35

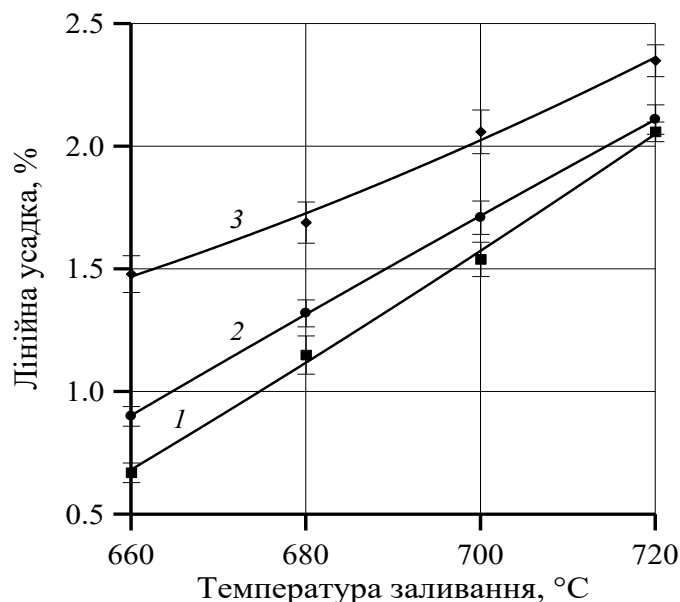


Рисунок 3.2 – Вплив температури заливання на лінійну усадку вторинного сплаву системи алюміній - кремній (силумін) при додаванні різної кількості модифікатора. 1 – вихідний; 2 – 0,1%; 3 – 0,2%

Проаналізувавши результати досліджень можна зробити висновок, що при збільшенні температури заливання та при додаванні модифікатора коефіцієнт лінійної усадки збільшується, що являється спірним результатом.

### 3.3 Опис результатів дослідження об'ємної усадки та густини вторинного сплаву системи алюміній - кремній (силумін)

В роботі визначено вплив кількості модифікатора на щільність та об'єм пор вторинного сплаву АК12. Результати дослідження наведено в табл. 3.3-3.5.

Таблиця 3.3 – Розрахунок об’ємної усадки та густини (Вихідний)

	V <sub>p</sub>	M <sub>пов.</sub>	M <sub>вод.</sub>	m <sub>пов.</sub>	m <sub>вод.</sub>	щільність	V <sub>к.пр</sub>	V <sub>к.спл</sub>	СумV <sub>п</sub>	V <sub>сум</sub>	E <sub>v</sub>
660	0,43	253,80	120,97	9,07	4,62	2,94	132,83	124,38	8,45	8,88	6,67
680	0,52	174,00	104,47	6,43	4,20	2,88	69,53	60,49	9,04	9,56	13,65
700	0,86	236,23	135,77	7,30	4,68	2,78	100,47	84,89	15,57	16,43	16,22
720	0,92	136,53	64,30	7,87	4,91	2,66	72,23	51,37	20,86	21,78	29,77

Таблиця 3.4 – Розрахунок об’ємної усадки та густини (алюміній+0,1% SiC)

	V <sub>p</sub>	M <sub>пов.</sub>	M <sub>вод.</sub>	m <sub>пов.</sub>	m <sub>вод.</sub>	щільність	V <sub>к.пр</sub>	V <sub>к.спл</sub>	СумV <sub>п</sub>	V <sub>сум</sub>	E <sub>v</sub>
660	0,52	271,23	169,23	7,30	4,73	2,84	101,63	95,49	6,14	6,66	6,52
680	0,93	145,43	85,40	6,43	4,06	2,71	60,03	53,58	6,46	7,39	12,12
700	1,16	255,33	144,83	5,57	3,48	2,66	110,50	95,86	14,64	15,80	14,15
720	1,26	191,70	99,07	4,93	3,02	2,58	92,63	74,35	18,28	19,54	20,82

Таблиця 3.5 – Розрахунок об'ємної усадки та густини (0,2% SiC)

	$V_p$	$M_{\text{пов.}}$	$M_{\text{вод.}}$	$m_{\text{пов.}}$	$m_{\text{вод.}}$	щільність	$V_{\text{к.пр}}$	$V_{\text{к.спл}}$	$\Sigma V_{\text{п}}$	$V_{\text{сум}}$	$E_v$
660	0,61	277.93	171.50	7.33	4.67	2.76	106.43	100.81	5.62	6.23	5.82
680	1,33	208.30	122.73	6.43	3.97	2.61	85.57	79.87	5.70	7.03	8.09
700	1,43	261.97	146.70	7.50	4.53	2.53	115.27	103.62	11.64	13.07	11.20
720	1,47	148.93	74.39	6.70	3.96	2.44	74.55	60.98	13.57	15.04	19.78

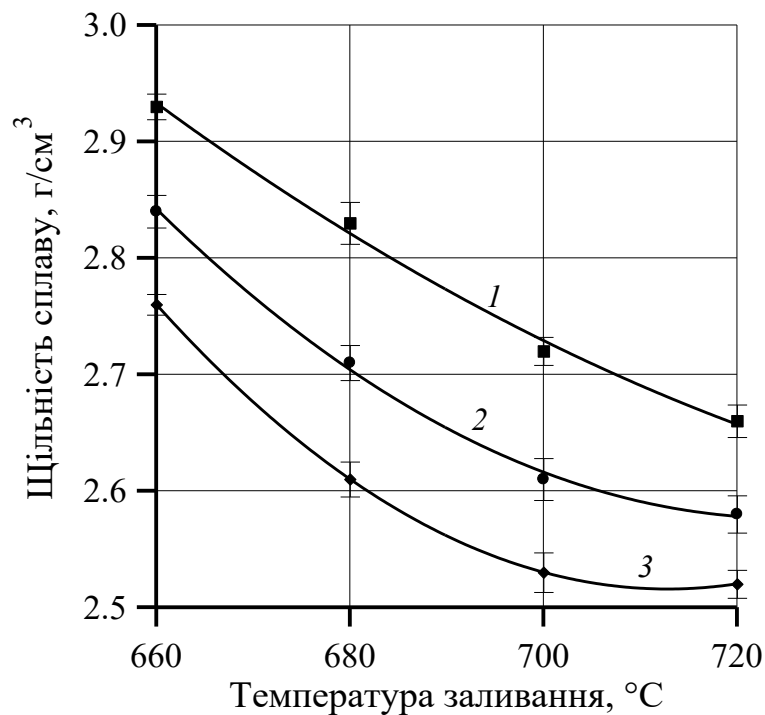


Рисунок 3.3 – Вплив температури заливання на щільність вторинного сплаву системи алюміній - кремній (силумін) при додаванні різної кількості модифікатора: 1 – вихідний; 2 – 0,1%SiC; 3 – 0,2%SiC

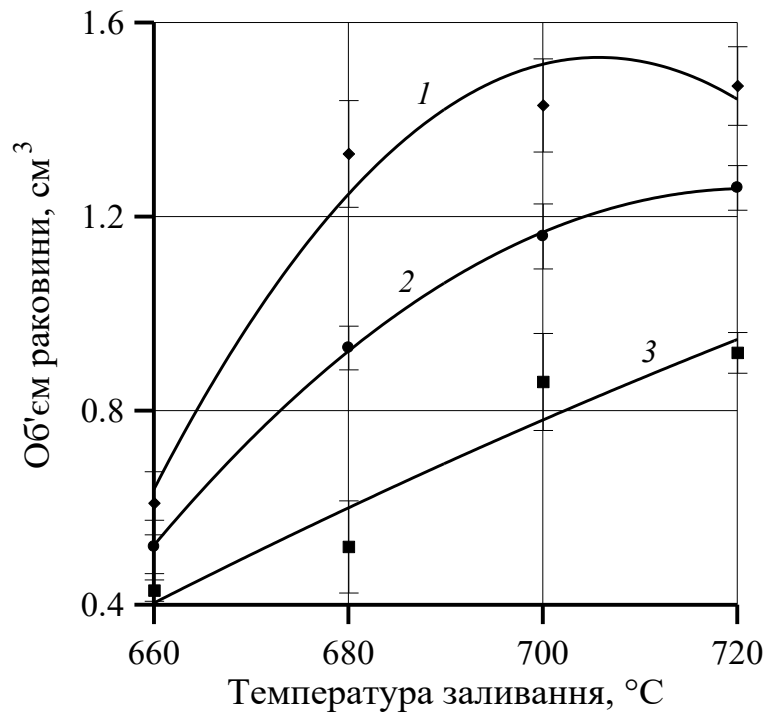


Рисунок 3.4 – Вплив температури заливання на зразки для визначення об'єму усадкових раковин із вторинного сплаву системи алюміній - кремній (силумін) при додаванні різної кількості модифікатора: 1 – вихідний; 2 – 0,1%SiC; 3 – 0,2%SiC

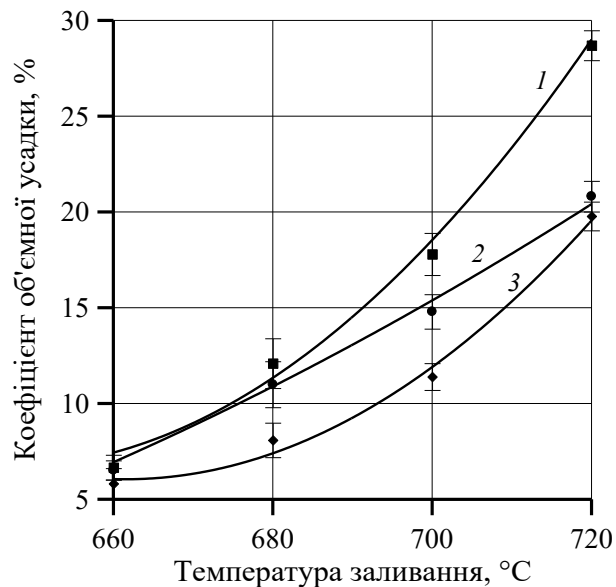


Рисунок 3.5 – Зміна коефіцієнту об'ємної усадки вторинного сплаву системи алюміній - кремній від температури заливання та кількості модифікатора: 1 – вихідний; 2 – 0,1%SiC; 3 – 0,2%SiC

Дивлячись на результати цього дослідження, можна зробити висновок, що густина значно зменшується, коефіцієнт об'ємної усадки також зменшився, що являє собою позитивний результат на ливарні властивості вторинного сплаву системи алюміній – силумін. Розмір усадкових раковин збільшився.

### **Висновок до 3-го розділу**

---

Отже можна зробити висновок, що модифікатор виконує поставлену для нього задачу. Та значно покращує ливарні властивості вторинного сплаву системи алюміній - кремній (силумін), у свою чергу модифікуючи розплав можна покращити ливарні та механічні властивості при використанні вторинного алюмінію, для виливків невідповідальної групи. Цим можна дати рекомендацію щодо застосування на ливарних підприємствах привиготовлені виливки невідповідального призначення. Та рекомендації щодо виготовлення покращення властивостей не тільки вторинного сплаву, а й чистого розплаву.

## **4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ**

---

Метою розділу охорони праці є аналіз шкідливих та небезпечних факторів, при яких виникає небезпека ураження організму, умов, що можуть привести до травмування в процесі дослідження модифікування вторинного сплаву системи алюміній – силумін(SiC), а також розробка заходів спрямованих на усунення цих факторів та безпеку у надзвичайних ситуаціях.

### **4.1 Загальна характеристика умов праці в ливарній лабораторії**

Дана дипломна робота проводилась в ливарній лабораторії факультету. Параметри лабораторії занесено до таблиці 4.2, план дослідної лабораторії зображено на рисунку 4.1. Все це має неабияку небезпеку під час роботи і за для усунення проблем в роботі та травмувань, уражень електричним струмом, та уникнення робочих травм маємо дотримуватися всіх правил охорони праці та безпеки під час роботи на всіх, без винятку, установках [22].

Проведення експериментальної частини при виробництві та дослідженні біметалевих виливків проводились в ливарному цеху – лабораторії кафедри “Ливарне виробництво чорних і кольорових металів” НТУУ “КПІ ім. Сікорського” (рис. 4.1). В подальшому ми будем розглядати охорону праці на прикладі ливарних процесів.

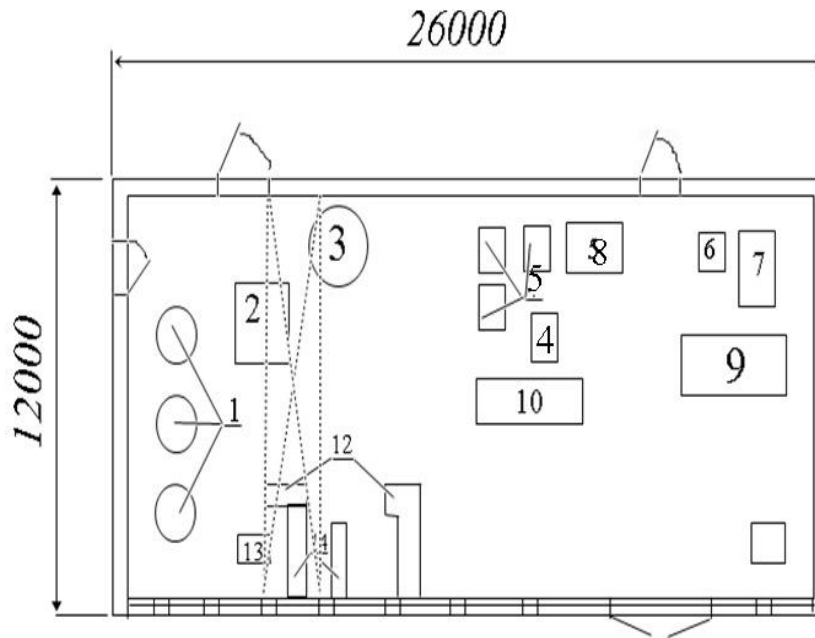


Рисунок 4.1 – План ливарного цеху з технологічним устаткуванням  
 1 – тигельна піч опору; 2 - сушило; 3 - котковий змішувач; 4 - шліфувальний станок формувальні машини; 5 - формувальні машини; 6, 7 – індукційна піч; 8 - машини відцентрового лиття; 9 - стелаж; 10 - стіл; 11 - кран-балка; 12 - шафи; 13 - установка ЕШП; 14 - столи; 15 - контейнер для сміття.

Під час наших дослідницьких робіт, використовувалось наступне обладнання: сушило для сушіння форм; котковий змішувач; шліфувальний станок; тигельна піч опору.

Таблиця 4.2 – Параметри ливарної лабораторії

№	Найменування	Основні характеристики	кількість	Позиція на рисунку
Приміщення				
1	Параметри приміщення	$S=312 \text{ м}^2$ ; $V=15 \text{ м}^3$	-	-
2	Кількість працюючих	Донець, зав учбов. лабораторією, інженер-дослідник, лаборант	3	-
3	Природне освітлення	Вікна металопластикові вікна з профілю Mega line 500 3200мм×2000мм	3	-
4.	Штучне освітлення	Світильник підвісний промисловий right hausen led 150w 6500K IP65	3	-

До таблиці 4.3 занесли основне обладнання і оснащення лабораторії, що безпосередньо приймало участь в нашому дослідженні.

Таблиця 4.3 – Обладнання і оснащення лабораторії що безпосередньо приймало участь в дослідженні

№	Назва	Розміри	Основні характеристики	Кількість	Позиція на рисунку
1	Піч опору тигельна	3040×3370×4420 мм;	- матеріал: метал; - місткість 2,5 т; - потужність 1500 кВт; - вага: 31060 кг; - напруга 380 В; - температура 1800 °С.	3	1
2	Шліфувальний станок 3А732	2505x1190x1500	Матеріал: метал; Напруга: 380 В; Вага: 3225.	1	2
3	Котковий змішувач 15114	2795x780x1700	Матеріал: метал; Напруга: 380 В; Вага: 3685.	1	3
4	Сушилка KS 720 / 85	3195x1200x1500	Напруга: 380 В; Вага: 2835.	2	4

Відповідно до основних вимог будівель виробничого призначення, які викладені в ДСП 173-06, висота виробничих приміщень повинна бути не менше 3,2 м, а об'єм і площа – 15 м<sup>3</sup> та 4,5 м<sup>2</sup> відповідно на кожного працівника. В нашому випадку площа приміщення складає:  $S = 1872 \text{ м}^2$ , а об'єм приміщення  $V = 312 \text{ м}^3$ . Під час досліджень в лабораторії працює 4 чоловіки, звідки ми отримуємо, що площа на одного чоловіка складає:

$$S_{\text{ч}} = 312/4 = 78 \text{ м}^2 / \text{чол.}, \text{ а об'єм} - V_{\text{ч}} = 1872/4 = 468 \text{ м}^3 / \text{чол.}$$

Таблиця 4.4 – Реальні та нормативні характеристики приміщення і розміщення технологічного обладнання

№	Параметр приміщення	Реальне значення	Нормативні значення
1	Площа на 1 працюючого	78 м <sup>2</sup>	4,5 м <sup>2</sup>
2.	Об'єм на 1 працюючого	468 м <sup>3</sup>	15 м <sup>3</sup>
3.	Мінімальна ширина проходу	2,6 м <sup>2</sup>	1,5 м
4.	Площа на одного чоловіка	4,5 м <sup>2</sup>	78 м <sup>2</sup> /чол
5.	Об'єм на одного чоловіка	15 м <sup>3</sup> /чол	468 м <sup>3</sup> /чол

Отже, згідно [22] приміщення за геометричними параметрами відповідає основним вимогам до будівель виробничого призначення.

#### 4.2 Оцінка ключових небезпечних та шкідливих виробничих факторів і розроблення заходів поліпшення (нормалізації) умов праці в ливарній лабораторії

Згідно НПАОП 0.00-2.24-05 та НПАОП 0.00-4.12-05 до переліку робіт з підвищеною небезпекою відносяться плавильні, заливочні роботи і роботи при сушінні форм [22].

Таблиця 4.5 – Небезпечні та шкідливі виробничі фактори при виконанні ливарних робіт

Види процесів	Шкідливі виробничі фактори										Небезпечні виробничі фактори			
	Шкідливі речовини	Випромінювання в оптичному діапазоні			Електромагнітні поля	Магнітні поля	Вібрація	Шум	Запилення	Статичне навантаження на руку	Електричний струм	Іскри, бризки і викиди розплавленого металу	Механізми і вироби, що рухаються	Системи, які знаходяться під тиском,
		Ультрафіолетове	Видиме	Інфрачервоне										
Плавка	xx	xx	x	xx	x	-	-	x	-	-	xx	x	-	x

Примітки: xx – інтенсивний фактор; x – помірний фактор; (-) – незначний фактор чи його відсутність

Оскільки, більшість нашої роботи проходило на кафедрі, то і більшість роботи було пов'язано зі устаткуванням нашої ливарної лабораторії, за приклад я взяв роботи з тигельною піччю опору, і оцінював роботу саме з нею.

## 4.2.1 Фізичні джерела небезпечних і шкідливих виробничих факторів в ливарній лабораторії при виконанні ливарних робіт

### 4.2.1.1 Теплова небезпека

Основна теплова небезпека, яка створюється в технологічному процесі при роботі в ливарній лабораторії з тигельною піччю занесено в таблицю 4.6.

Таблиця 4.6 – Основні теплові небезпеки, які створюються при виконанні ливарних робіт

	Джерело небезпеки	Причини небезпеки	Наслідки небезпеки	Наслідки небезпеки
1	Тигельна піч опору	сталь, тигель	розплав сталі, нагрівання тиглю, нагріті поверхні обладнання та матеріалів, пари алюмінію	опіки, гіпертермія, пневмонія.

Як ми можемо побачити з таблиці 4.6. існує потенційна небезпека отримання фізичних пошкоджень (опіки, гіпертеромія). У таблиці 4.7 наведені заходи з забезпечення охорони праці від теплової небезпеки [22].

Таблиця 4.7 – Заходи забезпечення охорони праці від теплового та інфрачервоного випромінювання

№ п/п	Група номенклатурних заходів з ОП	Вид заходу	Критерій вибору
1	Технічні заходи	Екранування джерел теплового випромінювання та інфрачервоного випромінювання	Для захисту від опіків та гіпертермії, шкідливих парів алюмінію.
2	Організаційні заходи	Встановлення водних кулерів з питною водою	З метою профілактики зневоднення організму.
3	Експлуатаційні	<ul style="list-style-type: none"> <li>- спеціальний одяг або одяг з натуральних тканин;</li> <li>- ЗІЗ для захисту голови;</li> <li>- захисні окуляри;</li> <li>- спецвзуття;</li> <li>- рукавички.</li> </ul>	<p>Для уникнення можливих опіків</p> <p>Знизити ризики пов'язанні зі шкідливими парами</p>

#### 4.2.1.2 Ураження електричним струмом

Електричні фактори небезпеки та засоби захисту від електроураження. Небезпека ураження електричним струмом збільшується при невиконанні правил експлуатації електрообладнання, термінів ремонту обладнання. [23]

Дія електричного струму може викликати опіки, механічні ушкодження організму людини. Небезпека ураження може виникнути в результаті короткого замикання, іскріння, ушкодження ізоляції. [22]

Основні небезпеки пов'язані з дією на організм людини електричного струму, який використовується в технологічному процесі при виконанні ливарних робіт занесено в таблицю 4.8.

Таблиця 4.8 – Електричні джерела небезпеки

№	Найменування	Джерело небезпеки	Причини небезпеки	Наслідки небезпеки
1	Тигельна піч опору	Корпус з металоконструкції	Підлога, дотик без спецодягу, висока температура	Ураження струмом,

Шляхом зіставлення проєктованих рівнів показників з їх нормативно допустимими рівнями, складена таблиця 4.9. Нормативні значення було взято з НПАОП 40.1-1.21-98. «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів».

Таблиця 4.9 – Реальні та нормативні фактори небезпеки ураження електричним струмом

№	Фактор небезпеки	Реальне значення	Нормативні значення
1	Максимальний струм	>1 А	0,025 А
		380 В	42 В

Для зниження ймовірності настання небезпечної ситуації, необхідно дотримуватись заходів безпеки.

Таблиця 4.10 – Засоби захисту від електротравм

№	Група номенклатурних заходів з ОП	Вид заходу	Критерій вибору
1	Технічні	<ul style="list-style-type: none"> <li>- захисні заземлення електричного устаткування (електричне з'єднання із землею або її еквівалентом металевих неструмоведучих частин);</li> <li>- захисне розділення електромереж (роздільні трансформатори).</li> </ul>	Уникнення пробоя, витоків струму уникнення контакту зі струмопровідними частинами
2	Організаційні	Інструктаж з правил електробезпеки.	Доступність знань щодо безпеки експлуатації
3	Індивідуальний захист	Засоби індивідуального засобу (електро-захисні).	Забезпечення безпечної роботи з обладнанням
4	Режимні	Перевірка робочого устаткування тільки у відключеному стані.	Уникнення контакту з елементами під напругою
5	Експлуатаційні	Своєчасна заміна будь-яких пошкоджених елементів.	Забезпечення безпечної роботи з об'єктом
6	ЗІЗ	<p>Взуття шкіряне спеціальне для працюючих;</p> <p>рукавиці суконні;</p> <p>повстяний капелюх, захисна каска з підшоломником;</p> <p>для захисту очей та обличчя – маски захисні з прозорим екраном, окуляри захисні козиркові з світлофільтрами.</p>	Забезпечення засобами індивідуального захисту

Виявлена наявність електробезпеки, яка може проявитися у вигляді витоків струму з електромережі та надання травм організму при контакті джерелом небезпеки [22].

### 4.2.1.3 Хімічні фактори

Основні небезпеки пов'язані з впливом шкідливих речовин, які виділяються при роботі з тигельною піччю опору занесено в таблицю 4.13

У таблиці 4.11 представлено джерела хімічної небезпеки, причини та їх наслідки.

Таблиця 4.11 – Нормативне і реальне значення хімічної небезпеки

№ п/п	Найменування	Джерело небезпеки	Причини небезпеки	Наслідок
1	Тигельною піч опору	Плавка алюмінію, сталі	Пил, газ	Ризик виникнення ряду хвороб

Таблиця 4.12 - Реальні та нормативні фактори небезпеки

№ п/п	Фактор небезпеки	Реальне значення	Нормативне значення
1	Пил, загазованість ливарної лабораторії	2 мг/м <sup>3</sup>	1 мг/м <sup>3</sup>

Можливі заходи та їх реалізація представлених джерел небезпеки представлені в таблиці 4.13.

З таблиці 4.11 існує потенційна небезпека негативного впливу шкідливих речовин на організм працівника. Для мінімізації ризику отримання професійного захворювання у таблиці 4.13 наведені засоби та заходи захисту.

Таблиця 4.13 – Засоби захисту від шкідливих хімічних факторів

№ п/п	Вид заходу	Критерій вибору
1	Засоби індивідуального захисту	Респіратори та маски, спеціальний одяг
2	Технічні заходи	Сучасні витяжки, витяжні зонти, установки повітряного дозування. (Похилий боковий панельний відсмоктувач)
3	Експлуатаційні заходи	Своєчасна заміна будь-якого пошкодженого обладнання, контроль обладнання
4	Організаційні	Інструктаж з правил безпеки, забезпечення засобами індивідуального захисту

#### Висновки до розділу 4

У розділі з охорони праці розглянуті небезпеки фізичного та хімічного характеру, описані та розроблені заходи для їх усунення або зменшення.

## 5. ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ

---

### 5.1 Економічно-технічна актуальність НДР

Потреби сучасного світу постійно стимулюють розроблення та створення нових матеріалів, які будуть вмщати в собі комплекс властивостей, забезпечуватимуть високу міцність, корозійну стійкість, теплопровідність, жароміцність, зносостійкість тощо.

Нажаль, більшість металів і сплавів окремо не можуть в повній мірі забезпечити поєднання у собі необхідної гама властивостей, що є актуальною проблемою сучасності. Одним із варіантів її вирішення є розроблення технологій з'єднання окремих металів або сплавів в одному виробі, який би поєднував переваги кожного з них.

Зараз існує велика кількість методів отримання біметалевих виробів: лиття, зварювання, наплавка, тощо. Але саме отримання біметалевих методом лиття на відміну від інших способів, відрізняються високим комплексом властивостей, стабільністю результатів, тому широко застосовується у наш час.

Для дослідження було обрано біметал залізо – алюміній, в даному сплаві постає можливість одночасно поєднати високу твердість, хорошу зносостійкість і жароміцність сталі з малою питомою вагою і відмінною теплопровідністю алюмінієвого сплаву. Цей біметал широко використовується в різних галузях: машинобудування, нафтовій, суднобудуванні, тощо.

#### 5.1.1 Мета і завдання науково-дослідницької роботи

Метою даної роботи є дослідження впливу різного роду покриттів на циліндричні сталеві вставки та на їх геометричні параметри, на якість перехідної зони біметалевої заготовки.

Було проведено лиття у піщано-глинясті форми для отримання біметалічних виливків з алюмінієвого сплаву. Для поліпшення склеювання біметалевих виливків були проведені різні методи обробки поверхні сталевих

прутків, і виходячи із результатів, були зроблені висновки, і надана перевага одному з методів обробки, спираючись на результати.

Відповідно до мети в роботі були поставлені наступні задачі:

- дослідити мікроструктуру перехідних шарів виливків.
- встановити вплив покриття циліндричної сталеві вставки діаметром 4, 6 та 8 мм пересиченим розчином хлориду амонію та алюмінієм на якість перехідної зони біметалевої заготовки.
- встановити вплив покриття циліндричної сталеві вставки діаметром 4, 6 та 8 мм пересиченим розчином парафіну і гасі на якість перехідної зони біметалевої заготовки.
- встановити вплив покриття циліндричної сталеві вставки діаметром 4, 6 та 8 мм розчином мінеральної оливи у насичених вуглеводнях на якість перехідної зони біметалевої заготовки.

## **5.2 Розрахунок витрат на проведення НДР**

Розрахунок усіх витрат організації-виконавця НДР, пов'язаних з виконанням теми, дає можливість встановити її собівартість або кошторисну вартість. Визначення планової собівартості проведення НДР проводиться згідно з типовим положенням з планування, обліку і калькулювання собівартості науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт.

Планування забезпечує зниження трудових і матеріальних витрат з метою отримання найкращих результатів за найменших витрат.

Планова собівартість визначається за наступними статтями витрат:

- заробітна плата науково-дослідницького персоналу;
- єдиний соціальний внесок;
- вартість спецобладнання для виконання НДР;
- вартість матеріалів, необхідних для проведення НДР;
- витрати на службові відрядження;
- інші прямі невраховані витрати по темі;
- накладні витрати.

### 5.2.1. Витрати на оплату праці

Виконання наукових досліджень, а також впровадження результатів НДР вимагає певних витрат, які необхідно розглянути.

Витрати на оплату праці розраховують на основі даних про трудомісткість окремих робіт по темі (табл. 5.1) та посадових окладів безпосередніх їх виконавців (табл. 5.2).

Таблиця 5.1 – Трудомісткість робіт виконання науково-дослідної роботи

Етапи НДР	Доцент	Зав. Учбов. лаборат орією	Інженер- дослідник
Аналіз літературної складової з теми НДР	12	---	8
Розробка методів дослідження	8	---	6
Підготовка обладнання для проведення НДР	8	14	6
Виготовлення зразків	11	20	8
Макроструктурний аналіз	5	---	--
Мікроструктурний аналіз	5	---	--
Аналіз механічних властивостей	6	---	--
Опрацювання результатів	---	22	22
Оформлення результатів роботи	10	8	--
Разом	65	58	50

Подальші розрахунки витрат на оплату праці проводяться за алгоритмом, зрозумілим із табл. 5.2

Середньоденна заробітна плата за категоріями виконавців розраховується шляхом ділення їх посадового місячного окладу на 21,2 (де 21,2 – усереднене число робочих днів за місяць).

Таблиця 5.2 – Розрахунок витрат на оплату праці<sup>1</sup>

<sup>1</sup> У разі виконання роботи на науково-технічній базі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» розмір заробітних плат можна взяти за цим посиланням.

Посада виконавців теми	Планова трудомісткість, люд-днів	Заробітна плата, грн		
		Посадовий місячний оклад	Середньоденна зарплата	Усього за виконавцями
1. Доцент	65	18262	861,4	55965
2. Зав. учбовою лабораторією	58	10546	497,4	28849,2
3. Інженер-дослідник	50	7730	364,6	18230
Разом оплата праці з теми				103044,2

Величина фонду заробітної плати (ФЗ) визначається як добуток трудомісткості та денної заробітної плати виконавців:

$$\text{ФЗ} = 346,6 \cdot 50 + 861,4 \cdot 65 + 497,4 \cdot 58 = 103044,2 \text{ грн.}$$

### 5.2.2. Єдиний соціальний внесок

Єдиний соціальний внесок (ЄСВ) – це обов’язкове відрахування на загальнодержавне соціальне страхування. З 1 січня 2016 р. ставка ЄСВ складає 22 %. Базою для нарахування ЄСВ слугують загальні витрати на оплату праці по темі (підсумок по табл.1.2).

$$\text{ЄСВ} = \text{ЗП} \cdot 0,22$$

де ЗП – загальні витрати на оплату праці по темі

Наразі ЄСВ буде становити:

$$\text{ЄСВ} = 103044,2 \cdot 0,22 = 22669,7 \text{ грн.}$$

### 5.2.3. Матеріали, необхідні для проведення досліджень

Витрати на матеріали ( $V_M$ ), які необхідні для проведення даної НДР вираховуються виходячи із ціни одиниці і загальної кількості використаного матеріалу. Результати розрахунків зведені в табл. 5.3.

Таблиця 5.3 – Розрахунки витрат на матеріали

Назва матеріалу	Одиниця виміру	Кількість	Ціна за одиницю, грн	Сума, грн
Алюмінієвий сплав	кг	30	40	1200
Порошок SiC	кг	0.200	750	150
Разом				1350

Транспортно-заготівельні витрати приймаємо на рівні 10 % від планової вартості загальних витрат на матеріали:

$$T_B = 1350 \cdot 0,1 = 135 \text{ грн.}$$

У такому разі загальна сума витрат на закупівлю матеріалів та їх транспортування буде становити:

$$V_M = 1350 + 135 = 1485 \text{ грн.}$$

### 5.2.4 Витрати на спеціальне обладнання

Всі дослідження проводились на наявному обладнанні, і витрати на НДК не передбачались. В таблиці 5.4 наведено перелік використаного обладнання.

Таблиця 5.4 – Перелік наукового устаткування, необхідного для виконання НДР

Найменування устаткування	Модель устаткування
Піч індукційна тигельна	ІЧТ-016
Аналітичні ваги	ВЛ-500

### 5.2.5 Витрати на службові відрядження

Всі роботи були проведені в лабораторіях факультету, тому витрати на службові відрядження не передбачені.

### 5.2.6 Інші прямі невраховані витрати

Даний розділ поєднує в собі всі витрати на проведення НДР, що не увійшли до переліку попередніх статей. При виконанні даної роботи інші прямі невраховані витрати ( $V_i$ ) складають 10% від суми розрахованих прямих витрат на НДР.

$$I_v = (ЗП + ЄСВ + V_m) \cdot 0,1 ,$$

Наразі  $I_v$  буде становити:

$$I_v = (103044,2 + 22669,7 + 1485) \cdot 0,1 = 12719,87 \text{ грн.}$$

### 5.2.7 Накладні витрати по темі

Накладні витрати включаються до калькуляції кошторисної вартості теми пропорційно обсягам витрат на оплату праці основних виконавців або пропорційно сумі прямих витрат на виконання теми досліджень по нормативам організації-виконавця цього дослідження.

В даному розділі розраховуються витрати на заробітну плату управлінського та загальногосподарського персоналу з єдиним соціальним внеском, витрати на допоміжні виробництва, витрати на охорону праці та

техніку безпеки, поточний ремонт, витрати на утримання виробничої площі, на утримання й експлуатацію універсального обладнання для експериментальних цілей тощо. Накладні витрати (НВ) складають 20% від суми всіх прямих витрат по НДР:

$$H_B = (ЗП + ЄСВ + V_M + I_B) \cdot 0,2 ,$$

Наразі  $H_B$  буде становити:

$$H_B = (103044,2 + 22669,7 + 1485 + 12719,87) \cdot 0,2 = 27983,75 \text{ грн.}$$

### 5.2.8 Розроблення планової калькуляції кошторисної вартості теми

Розрахунок за всіма статтями витрат зведено в табл. 5.5

Таблиця 5.5 – Планова калькуляція кошторисної вартості НДР

Найменування статей витрат	Сума, грн	Обґрунтування
1	2	3
1.Витрати на оплату праці	103044,2	Відповідно до розрахунків
2.Єдиний соціальний внесок	22669,7	22,0 % від загальних витрат на оплату праці
3.Матеріали для проведення досліджень	1485	Відповідно до розрахунків
4.Енергоносії для проведення досліджень	–	Відповідно до розрахунків (у нашому випадку включаються у статтю накладні витрати)
5.Спецобладнання для наукових цілей	–	Відповідно до розрахунків (у нашому випадку включаються у статтю накладні витрати)
6.Вартість послуг сторонніх організацій	–	За договором із сторонніми організаціями (у нашому випадку включаються у статтю накладні витрати)
7.Витрати на службові відрядження	–	Відповідно до розрахунків (у нашому випадку не передбачено)
8.Інші невраховані прямі витрати по темі	12634,673	10 % від суми прямих розрахованих витрат по темі
9.Накладні витрати	27796,28	Відповідно до нормативів організації-виконавця теми (у нашому випадку 20 % від суми прямих витрат)
10.Усього витрат по темі	166777,684	Сума попередніх статей

### 5.3. Науково-технічна ефективність НДР

Розрахунок очікуваного економічного ефекту НДР необхідно для визначення доцільності проведення даної роботи.

Для визначення річного економічного ефекту скористаємося бальною системою оцінювання економічної ефективності за наступними показниками:

- важливість розробки ( $K_1$ );
- можливість використання результатів розробки ( $K_2$ );
- теоретичне значення та рівень новизни ( $K_3$ );
- складність дослідження ( $K_4$ ).

Загальна оцінка вираховується в балах (Б) перемноженням коефіцієнтів.

$$B = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4;$$

де  $K_1$  – важливість розробки;

$K_2$  – можливість використання результатів розробки;

$K_3$  – теоретичне значення та рівень новизни;

$K_4$  – складність розробки.

Таблиця 5.6 – Бальна оцінка ефективності НДР

Показник оцінки ефективності НДР	Умовне позначення показника	Характеристики даної роботи	Кількість балів
1. Важливість розробки	$K_1$	Робота виконується за угодою про науково-технічне співробітництво	3
2. Можливість використання результатів розробки	$K_2$	Результатами розробки можуть користуватися у різних галузях	10
3. Теоретична значимість та рівень новизни розробки	$K_3$	Під час виконання роботи отримана нова інформація, яка доповнює уявлення про сутність досліджуваних процесів	3
4. Складність дослідження	$K_4$	Робота виконується декількома підрозділами, витрати від 100 000 до 200 000 гривень	7

$$B = 3 \cdot 10 \cdot 3 \cdot 7 = 630$$

Умовний ефект НДР розраховується за формулою:

$$E_{\text{НДР}}^y = 500 \cdot B - E_n \cdot V_{\text{НДР}},$$

де 500 – умовна вартість одного балу;

$E_n$  – нормативний коефіцієнт економічної ефективності (може бути в межах 0,1 – 0,3);

$V_{\text{НДР}}$  – сумарні витрати на виконання НДР (підсумок табл. 1.4);

У нашому прикладі умовний ефект виконання НДР буде становити:

$$E_{\text{НДР}}^y = 500 \cdot 630 - 0,15 \cdot 166777,684 = 289983,347 \text{ грн.}$$

Економічна ефективність НДР визначається коефіцієнтом умовної економічної ефективності  $E_e$ . Він є відношенням умовного ефекту виконання НДР до сумарних витрат на виконання НДР та розраховується за формулою:

$$E_e = \frac{E_{\text{НДР}}^y}{V_{\text{НДР}}}.$$

У нашому прикладі  $E_e$  буде становити:

$$E_e = \frac{289983,347}{166777,684} = 1,73$$

Коефіцієнт умовної економічної ефективності науково-дослідної роботи становить 1,73 (перевищує одиницю), даної НДР є економічно обґрунтованим.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

---

Досліджено:

1. Виконали літературний огляд з питань підвищення якості алюмієвих сплавів;
2. В лабораторній печі виплавили силумін із вориної сровинни;
3. Виготовили зразки для дослідження ливарних властивостей;
4. За результатами роботи зробили висновки і пропозиції по оптимізації технології модифікування вкоринних силумінів.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

---

1. Гавриленко, Б. Б. Економіко-правові важелі раціонального природокористування / Б. Б. Гавриленко. – Запоріжжя: Поліграф, 2004. – 144 с.
2. Алексахин А. В. Эффективность использования вторичных алюминиевых сплавов в литейном производстве / А. В. Алексахин, Н. В. Хмельницкая, Е. К. Сиваева // Экономические проблемы литейного производства России: тез. докл. Всерос. конф. – Пенза, 1991. – С. 52–54.
3. Золоторевский В.С., Белов В.А. Металловедение цветных металлов/ - Учебное пособие. – Москва, МГИС. – 2000. – 147с.
4. Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов. Учебник для вузов / Колачев Б. А., Елагин В. И., Ливанов В. А. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: МИСИ, 1999. – 416 с.
5. Фоченков Б.А. Исследование состава печной атмосферы и ее влияние на изменение содержания водорода в алюминии и его сплавах: автореф. дис. на соискание уч. степени канд. техн. наук: спец. 05.16.04 «Литейное производство» / Б.А. Фоченков. – М., 1989. – 21 с.
6. Кораблин В.П. Рафинирование сплава АК5М7 жидкими диспергированными флюсами / В.П. Кораблин, В.В. Каварцев, Т.В. Сильченко // Литые износостойкие материалы: Сб. научн. трудов. – К., 1992.- С.127-129.
7. Ершов Г.С. Высокопрочные алюминиевые сплавы на основе вторичного сырья / Г.С. Ершов, Ю.Б. Бычков. - М.: Металлургия, 1979.- 192 с.
8. Прогрессивные способы обработки алюминиевых расплавов перед разливкой / В.А.Косинцев, В.М. Потысьев, В.А. Захаров [и др.] //Технология автомобилестроения. - 1986. - №2. - С. 3-6.
9. Немененок Б.М. Безопасные способы повышения качества отливок из силуминов / Б.М. Немененок, А.П. Бежок, С.П. Задруцкий // Проблемы безопасности труда на предприятиях с взрывоопасным производством: тез. докл. межд. научн.-техн.сем. – Минск, 1995. – С. 69-71

10. Исследование комплексных оксидных флюсов для обработки силуминов /С.М. Петров, С.Г. Петрова, А.И. Конягин [и др.] // Совершенствование производства алюминиевых сплавов и полуфабрикатов: Сб. научн. трудов. - Л.: ВАМИ, 1983. - С. 27-29.

11. Петров С.М. Флюсы для обработки алюминиево-кремниевых сплавов / С.М. Петров, С.Г. Петрова, А.И. Конягин // Высокопрочные цветные сплавы и прогрессивные методы производства отливок: Сб. научн. трудов. - М., 1983. - С. 53-55.

12. Низкотоксичная обработка вторичных медистых силуминов // Б.М. Немененок, В.М. Беседин, М.И. Стриженков [и др.] // Современные технологические процессы получения высококачественных изделий методом литья и порошковой металлургии: тез. докл. конф. – Чебоксары

13. Курдюмов А.В. О возможности повышения пластичности вторичных силуминов фильтрованием расплавов / А.В. Курдюмов, Т.А. Базлова // Литейное производство. – 1991.- № 8.- С. 7-8.

14. Микуляк О.П. Исследование структуры и свойств рафинированных алюминиевых сплавов из вторичного сырья: автореф. дис. на соискание уч. степени канд. техн. наук: спец. 05.16.04 «Литейное производство» / О.П. Микуляк. - Донецк, 1978. - 22 с.

15. Литвинчук В.М. Развитие технологии рафинирования жидких металлов фильтрацией / В.М. Литвинчук // Проблемы специальной электрометаллургии. - 1988. - № 4. - С.77-80.

16. Eady J.A. Filtration of aluminium melts / J.A. Eady, D.M. Smith, J.F. Grandfield //Aluminium Technology 86: Proc. Int. Conf. - London, 1986. - P.93- 100.

17. Hack J.A. The Filtration of steel castings / J.A. Hack, H. Dark, Child // Foundryman. - 1990. - № 4. - P.183-187.