

**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**

«На правах рукопису»

УДК 669.018.9

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

_____ М. М. Ямшинський

«__» _____ 2020 р.

Магістерська дисертація

**на здобуття ступеня магістра
за освітньою-професійною програмою
«Комп'ютеризовані процеси лиття»
зі спеціальності 136 – Металургія**

**на тему: «Робочі властивості стрижневих сумішей з комплексними
зв'язувальними компонентами на основі металофосфатів»**

Виконав:

студент VI курсу, групи ФЛ-91 мп
Згоранець Олег Васильович

Науковий керівник:

Доцент, к.т.н.
Лютий Ростислав Володимирович

Консультант з економічно-організаційної частини:

Доцент, к.т.н.
Нараєвський Сергій Вікторович

Рецензент

С.н.с., к.т.н.,
Мисливченко Олександр Миколайович

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних
посилань.

Студент _____

Київ – 2020 року

**Національний технічний університет України «Київський політехнічний
інститут імені Ігоря Сікорського»**

Інженерно-фізичний факультет

Кафедра ливарного виробництва чорних і кольорових металів

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою
«Комп'ютеризовані процеси лиття»

Спеціальність (спеціалізація) – 136 «Металургія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

М.М. Ямшинський

(підпис) (ініціали, прізвище)

“ ” _____ 2020 р.

ЗАВДАННЯ

НА МАГІСТЕРСЬКУ ДИСЕРТАЦІЮ СТУДЕНТУ

Згоранцю Олегу Васильовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації: «Робочівластивостістрижневихсумішей з
комплекснимизв'язувальними компонентами на
основіметалофосфатів»

НауковийкерівникЛютий Ростислав Володимирович к. т. н.

доцент,затверджені наказом по університетувід«16 » листопада 2020
року №3313-с.

Термінподання студентом дисертації: 14грудня 2020 року

3. Об'єктдослідження:

4. Предмет дослідження: Пригар на поверхнівилівоків;

шорсткістьлитихповерхонь; робота вибивання та

гігроскопічністьстрижневихсумішей

5. Перелік питань, які потрібно розробити:

5.1. Проаналізувати методики визначення стійкості до пригару та вибиваємості стрижневих сумішей та виготовити необхідне модельне оснащення для реалізації вказаних методів.

5.2. Виготовити ливарні форми та зразки стрижнів із експериментальних сумішей без протипригарних покриттів для контролю стійкості до пригару й вибиваємості.

5.3. На виливках із залізовуглецевого сплаву провести візуальний контроль на наявність пригару залежно від товщини литої стінки (від 5 до 40 мм).

5.4. Провести контроль шорсткості литих поверхонь залежно від товщини стінки виливків, виготовлених із використанням стрижнів із кожної експериментальної суміші.

5.5. Визначити вибиваємість зразків стрижневих сумішей.

5.6. Визначити гігроскопічність зразків стрижневих сумішей.

5.7 Розробити заходи з охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях;

5.8 Розробити організаційно-економічну частину роботи та стартаппроект;

6. Перелік ілюстративного матеріалу: Презентація (13 слайдів)

7. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Економічно-організаційна частина	к.т.н. доцент Нараєвський С. В.		
Нормконтроль	к.т.н доцент Лютий Р.В.		

8. Дата видачі завдання 01 вересня 2020 року

ЗМІСТ

1 ОГЛЯД ЗВ'ЯЗУВАЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ І ТЕХНОЛОГІЙ ВИГОТОВЛЕННЯ ЛИВАРНИХ СТРИЖНІВ.....	7
1.1 Історичний розвиток процесів формоутворення і ливарних формувальних матеріалів.....	7
1.2 Виготовлення стрижнів із тепловим зміцненням	11
1.2.1 Стрижні з піщано-смоляних сумішей.....	11
1.2.2 Стрижні з піщано-рідкоскляних сумішей.....	14
1.2.3 Стрижні з органічними неводними зв'язувальними компонентами.....	17
1.3 Фосфатні зв'язувальні компоненти та стрижневі суміші з ними	18
1.3.1 Загальна характеристика фосфатних матеріалів.....	18
1.4 Постановка задач дослідження.....	21
2 МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТІВ.....	23
2.1 Матеріали для приготування стрижневих сумішей	23
2.2 Приготування стрижневих сумішей	24
2.3 Методика контролю схильності сумішей до утворення пригару	25
2.4 Визначення роботи вибивання.....	27
2.5 Визначення гігроскопічності	27
3 ВИЗНАЧЕННЯ РОБОЧИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ СТРИЖНЕВИХ СУМІШЕЙ	28
3.1 Склад сумішей і технологія виготовлення стрижнів	28
3.2 Стійкість сумішей до утворення пригару на виливках.....	37
3.3 Вибиваємість стрижневих сумішей	57
3.4 Гігроскопічність стрижневих сумішей.....	58

4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	65
4.1 Науково-технічна актуальність теми дослідження	65
4.2 Розрахунок витрат на проведення дослідження	65
4.2.1 Витрати на оплату праці.....	65
4.2.2 Єдиний соціальний внесок	67
4.2.3 Матеріали, необхідні для проведення досліджень	67
4.2.4 Витрати на енергоносії	68
4.2.5 Витрати на спеціальне обладнання	69
4.2.6 Вартість послуг сторонніх організацій	69
4.2.7 Витрати на службові відрядження	69
4.2.8 Інші невраховані прямі витрати	69
4.2.9 Накладні витрати.....	69
4.2.10 Розроблення планової калькуляції кошторисної вартості теми....	70
4.3 Визначення очікуваних результатів магістерської дисертації та розрахунок показників економічної ефективності.....	71
4.4 Висновки до розділу 4	74
5 СТАРТАП-ПРОЕКТ.....	75
5.1 Команда.....	75
5.2 Назва проекту	75
5.3 Короткий опис проекту	75
5.4 Бізнес-модель	76
5.4.1 Цінний продукт	76
5.4.2 Сегмент споживачів.....	76
5.4.3 Канали збуту	76
5.4.4 Взаємодія з споживачами.....	76

5.4.5 Дохід (монетизація)	77
5.4.6 Ключові види діяльності	77
5.4.7 Ключові ресурси.....	77
5.4.8 Ключові партнери	77
5.4.9 Витрати.....	78
5.5 Споживчі властивості товару	78
5.6 Дослідження ринку	78
5.7 Дослідження конкурентного оточення	79
5.8 Маркетингова стратегія просування.....	79
5.9 Елементи фінансового плану.....	79
5.9.1 Опис бізнес-проекту	79
5.9.2 Опис товару/послуги/технології.....	79
5.9.3 Маркетинг та продаж.....	80
5.9.4 Фінансовий план	80
5.9.5 Резюме	81
ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	81
6.1 Організаційні питання охорони праці.....	81
6.2 Фактори впливу на організм людини.....	82
6.3 Забезпечення безпеки та запобігання надзвичайним ситуаціям	85
6.4 Висновки до розділу 6	85
ВИСНОВКИ.....	87
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	92

1 ОГЛЯД ЗВ'ЯЗУВАЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ І ТЕХНОЛОГІЙ ВИГОТОВЛЕННЯ ЛИВАРНИХ СТРИЖНІВ

1.1 Історичний розвиток процесів формоутворення і ливарних формувальних матеріалів

Розширення номенклатури виливків, ускладнення їх конструкції, розроблення нових сплавів при необхідному забезпеченні якості литва викликає необхідність удосконалення процесів виготовлення ливарних форм і стрижнів. Особливу увагу приділяють технологіям отримання стрижнів, тому що за їх допомогою відтворюються найскладніші елементи конфігурації виливків, внутрішні отвори та порожнини, в багатьох випадках без подальшого механічного оброблення [1, 2].

Розвиток технологій виготовлення стрижнів відбувається за двома напрямками. Перший включає в себе появу нових зв'язувальних компонентів (ЗК), підвищення комплексу властивостей сумішей. Другий напрям полягає в розробленні нових і удосконаленні існуючих технологічних процесів отримання стрижнів.

У першій половині ХХ століття існувало обмежене коло ЗК. Представниками неорганічних ЗК для стрижнів були формувальні глини або цемент. З органічних були відомі сульфітний луг (прототип нинішнього ЛСТ), рослинні олії та деякі полісахариди. До 50-х років було сформовано задачі нових досліджень щодо зв'язувальних систем, оскільки наведені вище не забезпечували належну точність виливків, якість литих поверхонь, а термін зміцнення стрижнів не давав можливості підвищувати продуктивність праці [1].

Зміцнення стрижнів здійснювали в основному через теплове сушіння. При цьому стрижень після ущільнення суміші в ящику вилучався з нього на спеціальну сушильну плиту, на якій поступав до печі. Таким чином

зміцнення відбувалось поза оснащенням, що призводило до зниження геометричної точності стрижнів і, як наслідок, виливків [3].

З початку 50-х років ХХ ст. на заміну сульфітному лугу прийшов більш удосконалений ЛСТ, рослинні олії замінили на синтетичні (нафтові), ряд робіт було присвячено удосконаленню полісахаридів та прискоренню твердіння піщано-цементних сумішей. Разом з іншими неорганічними ЗК, певну технологічну нішу займав гіпс, який дозволяв досить швидко отримувати форми з якісною поверхнею без теплового зміцнення. Але невисока термостійкість цього ЗК вже тоді обмежила область його застосування кольоровим литвом [1].

Важливим винаходом у цей час було відкриття нового ЗК, запозиченого ливарниками із будівельної промисловості. Цим матеріалом є рідке скло (РС), яке дозволило широко застосувати швидкісну технологію виготовлення форм і стрижнів, зміцнюваних в контакт з оснащенням при цехових температурах. Суміші з РС назвали швидкотвердними, а потім самотвердними [4]. Згодом з'явився термін холоднотвердна суміш (ХТС).

Подальше впровадження ХТС у ливарному виробництві дозволило значно підвищити продуктивність праці та якість литих деталей [1 – 4]. З'явилися такі різновиди сумішей як пластичні самотвердні (ПСС) та рідкорухомісамотвердні (РСС). Основу РСС складали рідке скло або ЛСТ. Суміші швидко (протягом 1 год ...2 год) зміцнювалися всередині оснащення, тому стрижні мали підвищену геометричну точність [5].

Згодом ливарники відмітили велику технологічну складність – незадовільну вибиваємість стрижнів з РС із виливків. Вирішенню цієї проблеми було присвячено багато наукових робіт впродовж 50 – 80-х рр., але остаточного вирішення вона не набула. Тому як альтернатива РС вже в 60-х рр. з'явилися нові ЗК органічного класу – синтетичні смоли. Разом з тим тривали дослідження щодо прискорення терміну зміцнення цементних сумішей та розвитку процесів зміцнення стрижнів в оснащенні [1, 2].

В середині 70-х рр. виник новий клас стрижневих сумішей, заснованих на кислотно-основній взаємодії ортофосфорної кислоти з оксидами металів. Ці суміші забезпечували прискорене холодне твердіння стрижнів, а також задовільну вибиваємість, тому на початку 80-х рр. розглядались як серйозна альтернатива сумішам з РС [3, 6, 7, 8, 9]. Але інтенсивний розвиток синтетичних смол і відповідних технологій холодного зміцнення з використанням рідких і газоподібних каталізаторів сприяв тому, що саме піщано-смоляні суміші зайняли провідні позиції [2].

Наприкінці ХХ – початку ХХІ ст. переважна більшість стрижнів виготовляється із сумішей на синтетичних смолах. На долю решти ЗК припадає не більше 10% всього промислового об'єму [10].

Технологічно стрижні в серійному і масовому виробництві виготовляють переважно в оснащенні (холодному або гарячому) [1 – 3].

Аналіз сучасного стану технологій виготовлення стрижнів, у залежності від їх масової групи та серійності виробництва виливків, наведено в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Область використання технологій виготовлення стрижнів

Серійність виробництва	Маса стрижнів, кг							
	До 6	6 – 16	16 – 25	25 – 40	40 – 100	100 – 600	600 – 1000	понад 1000
Індивідуальне, одиничне	1	1	1	1	1	1	1,3	3
Дрібносерійне	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2,3	1,2,3	2,3	3
Серійне	2,4	2,4	2,4	2,4	1,2,3,4	1,3,4	3	3
Крупносерійне	5,6	4,5,6	4,5	4,5	3,4	3,4	3	-
Масове	5,6	5,6	5,6	5,6	4	4	-	-

Примітки:

1 – ручне виготовлення стрижнів у дерев'яних ящиках із пластичних сумішей з подальшим сушінням або із ХТС з тривалим терміном зміцнення;

2 – ручне виготовлення стрижнів у металевих ящиках із пластичних ХТС з тривалим терміном зміцнення;

3 – виготовлення стрижнів у дерев'яних, пластмасових або металевих ящиках із РСС з віброаційним або ручним ущільненням;

4 – машинне виготовлення стрижнів у металевих ящиках із ХТС з рідкими або твердими затверджувачами;

5 – машинне (піскодувне) виготовлення стрижнів у металевих ящиках із ХТС з продуванням газовими реагентами;

6 – машинне (піскодувне) виготовлення стрижнів у гарячому оснащенні.

У крупносерійному і масовому виробництві найбільш поширеними є ХТС, які зміцнюються продуванням газовими реагентами. Розподіл використання цієї групи процесів у світі показано на рис. 1.1.

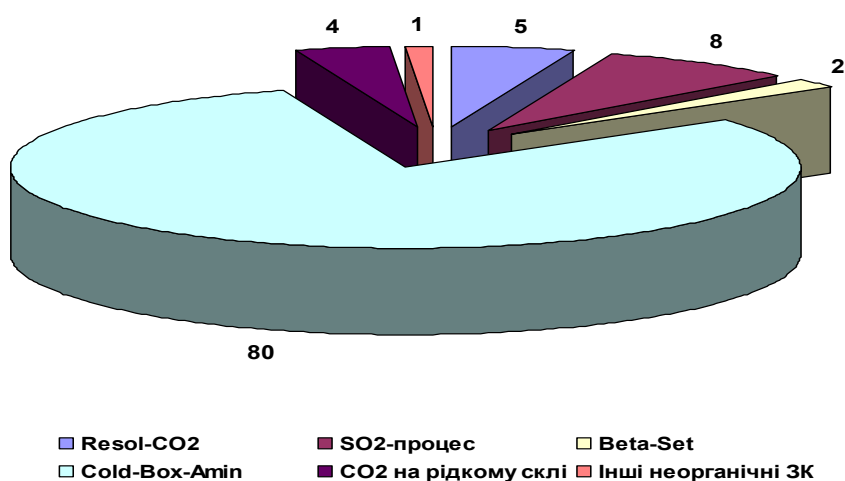


Рисунок 1.1 – Використання процесів виготовлення стрижнів із ХТС

Провідні технології ХТС займають порівняно невелику область із усіх процесів виготовлення стрижнів. Вони не вирішують проблем забезпечення стрижнями серійного та індивідуального виробництва, а також виготовлення крупних стрижнів.

1.2 Виготовлення стрижнів із тепловим зміцненням

Незважаючи на поширення холоднотвердних сумішей, при нагріванні або в гарячому оснащенні виготовляють близько 25% усіх стрижнів. Багато цехів і дільниць в Україні мають необхідне для цього обладнання, але не використовують його через ряд причин, одна із яких – відсутність якісних екологічних сумішей для реалізації цього процесу.

1.2.1 Стрижніз піщано-смоляних сумішей

Взагалі, усі смоли здатні зміцнюватися при нагріванні, але в технологіях гарячого оснащення використовуються ті з них, суміші з якими мають найкращі технологічні і фізико-механічні властивості.

Виготовлення форм і, головним чином, стрижнів із сумішей, які зміцнюються в контактi з гарячим оснащенням, у порівнянні з формуванням по-сухому, дозволяє скоротити тривалість технологічного циклу і вивільнити площі ливарних цехів. Використовують два типи сумішей: сипкі (сухі) і пластичні (такі, що володіють певною міцністю в сирому стані). Основною перевагою методу гарячого оснащення є висока швидкість зміцнення [1].

Стрижневі суміші за Hot-box-процесом мають у своєму складі фенольну смолу без вмісту азоту в кількості 2,2 мас. ч. та сірчаноокислий затверджувач у кількості 0,5 мас. ч. Також до складу суміші входить 0,3 мас. ч. Fe_2O_3 для покращення якості поверхні виливків [2]. Виготовляють стрижні за гарячими ящиками для чавунного та сталевого литва [11].

Стрижневі суміші за Shell-moulding процесом містять модифіковані синтетичні смоли із зниженим вмістом фенолу (не більше 1%): Corrodur 5631 – для виливків великої маси, які використовують в автомобілебудуванні; Corrodur 6201 – для виливків з чавуну і сталі середньої та великої маси; Corrodur 2098 – для виливків із ковкого чавуну та сталі; Corrodur 3864/62 – для виливків середньої маси, елементів двигунів.

Каталізатором теплового зміцнення є гексаметилентетрамін (10...15%).

Також використовують зв'язувальний компонент CORDIS 8323/VW 31, який являє собою розчин силікату із синтетичною добавкою ANORGIT 8370 або 8396. Суміш характеризується міцністю на вигин: одразу після виготовлення – 1,0...1,2 МПа; через 1 год – 3,3...3,9 МПа. Застосовується для виготовлення геометрично складних стрижнів для виливків типу головки блоку циліндрів з алюмінієвого сплаву [11].

Суміші для Croning-Shell-процесу містять фенол-формальдегідні, карбамідо-фуранові та фенолокарбамідні смоли, а також каталізatori зміцнення в гарячому оснащенні. Застосовуються при виготовленні стрижнів для виливків із алюмінієвих сплавів і тонкостінних виливків із сірого та ковкого чавуну [12].

Смоли і каталізatori теплового зміцнення представлені в табл. 1.2.

Таблиця 1.2 – Смоли і каталізatori гарячого зміцнення [13]

Клас смоли	Марка	Каталізатор			Область застосування
		марка	хімічна природа	кількість, % від смоли	
1	2	3	4	5	6
Карбамідні	КФ-МТ, КФ-Ж ГОСТ14231-78	Водний розчин (0,5...10%) NH ₄ F		4...20	Виливки із кольорових сплавів
		Борна кислота Н ₃ ВО ₃		5	
		Водний розчин (9,0...9,5%) щавлевої кислоти		8...12	
	М-3 ТУ6-05-1596-77	Борна кислота Н ₃ ВО ₃		3...5	
Карбамідо-фуранові	БС-40 ТУ6-05-1750-77	КЦ-51 ТУ6-05-1950-83	Водний розчин аміачної селітри, ЛСТ, карбаміду і уротропіну	8...12	Виливки із кольорових сплавів
	КФ-35 ТУ6-05-1785-83	КЦ-51 ТУ6-05-1950-83	Водний розчин аміачної селітри, ЛСТ, карбаміду і уротропіну	25...30	Виливки із кольорових сплавів
Карбамідо-фуранові	КФ-40М ТУ6-05-1785-83	КЦ-32 ТУ6-05-1950-83	Водний розчин(13...17%) Cu(NO ₃) ₂ *3H ₂ O і ЛСТ	25...30	Виливки із кольорових сплавів,
	КФ-90 ТУ6-05-1785-83	КЧ-41 ТУ6-05-1950-83	Водний розчин(25...30%) Cu(NO ₃) ₂ *3H ₂ O, ЛСТ, карбаміду	20...25	Виливки із чавуну

Продовження табл. 1.2

1	2	3	4	5	6
Карбамідо-фенольні	ФПР-24 ТУ6-05-1507-76	ФС26/ 6 ТУ6-05-1950-83	Водний розчин карбаміду, NH ₄ Cl, NH ₄ Br і уротропіну	25...30	Виливки із чавуну
	СФ-411 ТУ6-05-031-516-76	М ТУ6-05-031-513-75	Карбамід 42%, NH ₄ Cl 10%, тіокарбамід 3%, вода 45%	24...28	Виливки із чавуну
Фенол-формальдегідні	СФ-480 ТУ6-05-1813-77	М-1 ТУ6-05-1813-77	Карбамід 30%, NH ₄ Cl 10%, CrCl ₃ 10%, вода 50%	20	Виливки із чавуну і сталі
	Фенолоспирт	Водний розчин FeCl ₃ густиною 1470 кг/м ³		10...15	Виливки із чавуну і сталі
Фенол-формальдегідні порошкові	СФП-011Л	Борна кислота Н ₃ ВО ₃		10	Виливки із чавуну і сталі
	СФ-015	Уротропін		10	Виливки із чавуну і сталі
		Стеарат кальцію		2...3	
	СФ-015	Уротропін		10	
Борна кислота Н ₃ ВО ₃		0,5			
Полівініловий спирт (10%-й водний розчин)	—	NH ₄ Cl або Н ₃ ВО ₃		1...2	Виливки із кольорових сплавів

Зараз для виготовлення оболонкових форм для сталевих і чавунних виливків використовують порошкові фенол-формальдегідні смоли, модифіковані уротропіном, марок СФП: СФП-011Л, СФП-011А, СФП-012Л, СФП-012А, СФП-015Л. Також використовують немодифіковані новолачні смоли: СФ-010А, СФ-010, СФ-011, СФ-012, СФ-015, СФ-121, СФ-0112А, СФ-0112, або резольні смоли: СФ-312, СФ-381, СФ-340, СФ-342, СФ-342А, СФ-361. Із них готують плаковані терморезистивні суміші.

Основним ЗК цього ряду є смола ПК-104 (ГОСТ 13507-68), яка являє собою тонко подрібнену суміш термопластичної новолачної фенол-формальдегідної смоли 104 із 7,4...8,0% уротропіну. При нагріванні під впливом уротропіну смола переходить в нерозчинний і неплавкий продукт (резит), який відрізняється високою термостійкістю.

Операцію плакування наповнювача смолами СФП здійснюють у два способи. Перший – холодне плакування. У змішувач вводять порошкову смолу з органічним розчинником (наприклад, ацетоном). В процесі перемішування смола розчиняється, і утворений розчин обкутує зерна піску. Протягом 5...7 хв органічний розчинник випаровується, і в результаті утворюється суха порошкова формувальна суміш.

Другий спосіб – гаряче плакування, при якому розчинник не використовують, а наповнювач із порошковою смолою нагрівають до 100...145 °С. Смола плавиться, після чого відбувається безпосередньо плакування піску.

1.2.2 Стрижніз піщано-рідкоскляних сумішей

При термодеструкції смоли виділяють велику кількість токсичних газоподібних речовин як на стадії формоутворення, так, особливо, під час заливання форм. Тому очевидно є необхідність заміни синтетичних смол нетоксичними неорганічними ЗК, наприклад, рідким склом. Необхідною умовою такої заміни є суттєве покращення вибиваємості сумішей при використанні рідкого скла.

Найвищу міцність мають суміші з рідким склом модуля 1,5. Їх міцність при розриванні ≥ 2 МПа при вмісті рідкого скла всього 2% [14].

Для збільшення міцності у суміш додають дрібнодисперсні аморфні часточки кремнезему у вигляді утеплювальної люнкеритної засипки (УЛЗ-90). Суміш з 2% рідкого скла і УЛЗ-90 має міцність при розриванні

2,8 МПа, що дозволяє зменшити вміст зв'язувального компонента до 1,5% при збереженні міцності на рівні 2 МПа.

Ефективною добавкою для покращення вибиваємості сумішей із сталевих виливків є глина. Максимально допустимий вміст глини в сумішах з низькомодульним склом, при якому ще зберігається початкова міцність суміші, складає 2,5...3,0%.

Оптимальний склад пластичної формувальної суміші з низькомодульним рідким склом для виготовлення оболонкових форм піскодувним способом в гарячому оснащенні наведено в табл. 1.3 під №2, а властивості – в табл. 1.4 під тим же номером.

Таблиця 1.3 – Рецептури рідкоскляних та лужносілікатних сумішей для теплового зміцнення стрижнів [14]

Індекс	Призначення та реологічний стан суміші	Компоненти суміші, мас. ч.			
		кварцовий пісок і ін.	спеціальні добавки		характеристика рідкого скла
			найменування	кількість	
1	Для крупних виливків з високолегованих сталей, пластична	хромо-магнезит 100	NaOH(10%-ний розчин)	1,5	(M=2,61...3,0; $\gamma=1480...1500$ кг/м ³)
2	Для форм та стрижнів сталевих виливків, пластична, для гарячих ящиків	Марка піску 1К ₁ О ₃ 03 100	Глина ПАР УЛЗ-90	2,0...2,5 0,04 1...1,5	2,5...3,0 (M=1,5; $\gamma=1500$ кг/м ³)
3	Так само, пластична для гарячих ящиків	100	Глина ПАР УЛЗ-90	1,5...2,0 0,1 1,0...1,5	3,0...3,5 (M=1,5; $\gamma=1500$ кг/м ³)
4	Так само, пластична з синтезом ЗК в гарячому оснащенні	100	Глина УЛЗ-90 ПАР NaOH ($\gamma=1170$ г/м ³)	3,0...5,0 3,0...4,0 0,05 3,5...6,0	–
5	Так само, рідкорухома з синтезом ЗК в гарячому оснащенні	100	Глина УЛЗ-90 ПАР NaOH ($\gamma=1400$ г/м ³)	1,5...2,0 1,5...2,0 0,1 1,5...2,0	–

Додаткова перевага таких сумішей у порівнянні з тими, які містять синтетичні смоли – їх низька газотвірність (втрати при прожарюванні не перевищують 0,4%). Це сприяє максимальному усуненню газових дефектів з вини форми і зменшує шорсткість поверхні виливків.

Для пресового способу виготовлення оболонкових стрижнів або двооболонкових формвикористовують рідкорухомірідкоскляні суміші, які зміцнюються в контактi з гарячим оснащенням (див. табл. 1.3, суміш № 3).

Для переведення суміші з пластичного в рідкорухомий стан до її складу додають ПАР та воду, а для компенсації втрати міцності внаслідок утворення внутрішніх порожнин в центрі стрижня або форми підвищують на 0,5% вміст низькомодульного рідкого скла і скорочують на 0,5% вміст глини. Такі суміші зберігають рідкорухомий стан протягом 5 хв. після виливання із змішувача. За цей час суміш необхідно залити в пресовий пристрій машини та запресувати її в гарячий стрижневий ящик.

Лужносилікатні суміші – це новий тип сумішей, в яких ЗК синтезується (а не виготовляється попередньо) і твердіє безпосередньо в формі або в стрижні під час їх теплового сушіння [14].

Зв'язувальний компонент, який синтезується, за мінералогічною природою – лужний силікат натрію, тобто рідке скло.

Лужносилікатні суміші характеризуються високою міцністю, яка регулюється в широких межах (від 1,0 до 4,2 МПа) через вміст інгредієнтів.

Позитивною особливістю технології застосування цих сумішей є те, що температурні параметри нагрівання та тривалість проходження реакції взаємодії NaOH з SiO_2 для синтезу лужносилікатного ЗК збігаються з температурними параметрами тверднення форм та стрижнів.

Оптимальний вміст компонентів у лужносилікатних сумішах наведено в табл. 1.3 (суміші № 4 і 5).

Переведення пластичної суміші в рідкорухому здійснюється водним розчином сульфонолу, який забезпечує високу стійкість піни в лужному середовищі.

Властивості рідкорухомих рідкоскляних та лужно-силікатних сумішей майже не відрізняються між собою. Ці суміші використовують для виготовлення оболонкових стрижнів та оболонкових півформ.

Раціональна область їх застосування – виробництво дрібних за масою та габаритами виливків з вуглецевих і легованих сталей.

1.2.3 Стрижні з органічними неводними зв'язувальними компонентами

Менше поширення мають інші зв'язувальні компоненти, які зміцнюються при нагріванні (табл. 1.4).

Таблиця 1.4 – Склад, властивості та температури сушіння сумішей з неводними зв'язувальними компонентами

Найменування інгредієнтів та їх вміст в суміші, мас. ч.			Властивості			Температура сушіння, °С
пісок 1К ₁ О ₁ 02	зв'язувальний матеріал	вода	міцність, МПа, при:		газопроникність, од.	
			стисканні в сирому стані	розриванні в сухому стані		
98,5	льняна олія 1,5...2,5	1...3	0,003...0,005	0,7...1,0	130...150	200...220
98,5	оліфа натуральна 1,5...2,5	3	0,003...0,005	0,7...1,0	130...150	200...220
98,0	оліфа оксоль 2,0	2	0,003...0,005	0,7...0,9	130...150	200...220
100	4ГУ 1,5...2,5	1...3	0,003...0,006	0,7...1,0	130...150	180...220
100	КО (кубовий залишок) 2...3	–	0,006...0,008	0,7...0,8	≥ 150	220...240

На сьогодні рекомендовано усі стрижні зміцнювати в оснащенні, тобто у стрижневому ящику. Незважаючи на це, сушіння стрижнів із цієї групи сумішей здійснюють не у ящиках, а на сушильних плитах. Суміші не гігроскопічні, тому при встановленні виготовлених з них стрижнів у сирі форми не лімітується термін витримування форм перед заливанням їх металом.

1.3 Фосфатні зв'язувальні компоненти та стрижневі суміші з ними

1.3.1 Загальна характеристика фосфатних матеріалів

Ці зв'язувальні компоненти являють собою системи із ортофосфорної кислоти і оксидів або інших сполук металів, які зміцнюються внаслідок хімічної взаємодії між ними при нормальних умовах або при нагріванні.

Ряд активності оксидів металів до H_3PO_4 має наступний вигляд (за зростанням активності): SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , ZrO_2 , Cr_2O_3 , Fe_2O_3 , CuO , FeO , MgO , ZnO , CaO , BaO [15].

У кінці ряду стоять основні оксиди, в середині йдуть амфотерні (перехідні), а на початку – кислотний (SiO_2).

Перші суміші (70-ті рр. XX ст.) засновано на процесі виключно кислотно-основної взаємодії. Роль кислотного компонента виконує звичайна або частково нейтралізована ортофосфорна кислота H_3PO_4 , а роль основного компонента – оксид заліза або магнію. Вибір основних оксидів, які стоять ближче до середини ряду (FeO , MgO) є не випадковим, оскільки вони утворюють ХТС із достатньою живучістю та відносно швидким терміном зміцнення.

Амфотерні і кислотні оксиди у поєднанні з ортофосфорною кислотою утворюють системи з більшою термостійкістю, аніж основні [16], але зміцнення у таких системах відбувається лише при нагріванні.

Останнім часом в КПІ ім. Ігоря Сікорського розроблено ряд фосфатних сумішей, які зміцнюються при нагріванні [17 – 22]. Зміцнення засновано на хімічній взаємодії ортофосфорної кислоти з оксидами алюмінію (250...300 °C), цирконію (320...360 °C) та навіть кремнію (300...320 °C). Таким чином, сам кварцовий пісок може утворювати зв'язувальний компонент при нагріванні суміші.

Структура фосфатів має багато спільного із структурою силікатів, зокрема тетрадричні кристалічні ґратки: міжатомна відстань у тетрадрах SiO_4^{4-} – 0,162 нм, а в PO_4^{3-} – 0,155 нм; іонний радіус Si^{4+} – 0,039 нм, P^{5+} – 0,034 нм [7, 18], що і зумовлює добудову фосфатами кристалічної ґратки силікатів (піску), а внаслідок цього – високу міцність формувальних сумішей з ними.

Як правило, чисту ортофосфорну кислоту не використовують для приготування сумішей, а замість неї застосовують так звані фосфатні зв'язувальні компоненти – частково нейтралізовані розчини кислоти.

Найбільш поширеним є алюмофосфатний зв'язувальний компонент (АФС). Його готують розчиненням при 90...110 °C гідроксиду алюмінію в ортофосфорній кислоті. АФС у поєднанні з оксидами заліза або магнію забезпечує більшу живучість ХТС, а також більшу міцність. Наявність глиноземної складової у структурі ЗК (продукти зміцнення суміші мають вигляд $x\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot y\text{P}_2\text{O}_5 \cdot m\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) підвищує термостійкість суміші (табл. 1.5).

Також широко застосовується алюмохромфосфатний зв'язувальний компонент (АХФС). Його готують розчиненням у гарячій H_3PO_4 гідроксиду алюмінію (8...10%) і оксиду хрому (3,5...4,5%). Аналогічно, при додаванні оксидів заліза або магнію, утворюється продукт типу $x\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot y\text{P}_2\text{O}_5 \cdot m\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot k\text{Cr}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, який має ще вищу термічну стійкість (див табл. 1.5) [1, 2].

Менш поширені, а точніше майже не використовуються, алюмоборфосфатний (АБФС), магнійалюмофосфатний (МАФС), кальцій-магній-алюмофосфатний (КМАФС), цинк-магній-алюмофосфатний (ЦМАФС)

зв'язувальні компоненти та деякі інші. Їх готують розчиненням в ортофосфорній кислоті ряду оксидів указаних металів. Механізм зміцнення ХТС – аналогічний [23].

Таблиця 1.5 – Характеристика фосфатних композицій

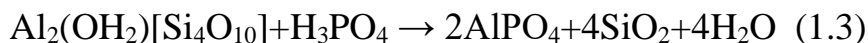
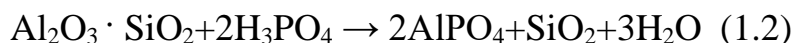
Складові композиції	Температура зміцнення, °С	Сполуки, які утворюються при твердінні	Термостійкість, °С
1	2	3	4
H ₃ PO ₄ (АФС, АХФС) + Fe ₃ O ₄ , Fe ₂ O ₃	ХТС	xFe ₂ O ₃ *yP ₂ O ₅ *nH ₂ O або xFe ₂ O ₃ *yP ₂ O ₅ *mAl ₂ O ₃ *nH ₂ O	1100
H ₃ PO ₄ (АФС, АХФС) + MgO	ХТС	xMgO*yP ₂ O ₅ *nH ₂ O або xMgO*yP ₂ O ₅ *mAl ₂ O ₃ *nH ₂ O	1250
АФС	250...300	yP ₂ O ₅ · mAl ₂ O ₃ · nH ₂ O	1400...1600
АХФС	200...250	mAl ₂ O ₃ · kCr ₂ O ₃ · nH ₂ O	1600...1800
H ₃ PO ₄ + Al ₂ O ₃	250...300	AlPO ₄ ; Al ₂ (HPO ₄) ₃ ; Al(H ₂ PO ₄) ₃	1400...1600
H ₃ PO ₄ + SiO ₂	300...320	SiP ₂ O ₇	1400...1600
H ₃ PO ₄ + ZrSiO ₄	320...360	ZrP ₂ O ₇	1600...2000
H ₃ PO ₄ + Na ₅ P ₃ O ₁₀	150	Na ₂ H ₂ P ₂ O ₇	1200...1300
H ₃ PO ₄ + KCl	250	K ₃ PO ₄ , K ₂ HPO ₄ , KH ₂ PO ₄	1000
H ₃ PO ₄ + KBr	250	K ₃ PO ₄ , K ₂ HPO ₄ , KH ₂ PO ₄	1000
H ₃ PO ₄ + NaCl	300	Na ₂ HPO ₄ ; NaH ₂ PO ₄ ; Na ₃ PO ₄	1200...1300
H ₃ PO ₄ +Na ₂ CO ₃	150	NaH ₂ PO ₄ ; Na ₅ P ₃ O ₁₀ ; Na ₂ HPO ₄	1200...1300
H ₃ PO ₄ + Al(NO ₃) ₃	200...250	AlPO ₄	1400...1600
H ₃ PO ₄ + Al ₂ (SO ₄) ₃	200	Al ₂ (HPO ₄) ₃ ; Al(H ₂ PO ₄) ₃	800...900
H ₃ PO ₄ + MnSO ₄	150	Mn ₃ (HPO ₄) ₂	1100

Новим напрямком дослідження фосфатних зв'язувальних компонентів є створення систем, які зміцнюються при взаємодії ортофосфорної кислоти із вогнетривкими наповнювачами стрижневих сумішей при нагріванні. Ці суміші не потребують використання спеціальних затверджувачів і є найбільш економічними.

Кварцовий пісок або пилоподібний кварц при нагріванні до 300...320 °С реагує за наступною схемою [17, 19, 22, 24]:



Алюмосилікатні матеріали – дистен-силіманіт та пірофіліт, враховуючи їх особливості будови, взаємодіють із кислотою так [20, 21, 22]:



Циркон складається з оксидів кремнію та цирконію. Взаємодія з кислотою відбувається так [22]:



Зв'язувальними компонентами в сумішах є пірофосфати кремнію та цирконію або ортофосфат алюмінію [22, 24]. Вони термічно стійкі і стабільні, тому стрижні придатні до використання у сталевому і чавунному литві.

Дослідженнями КПІ ім. Ігоря Сікорського також доведено можливість утворення фосфатних ЗК при взаємодії ортофосфорної кислоти із неорганічними солями металів (див. табл. 1.5). Незважаючи на те, що H_3PO_4 за хімічною природою слабша від сірчаної, соляної та азотної кислот, науково доведено, що вона здатна при нагріванні вступати у взаємодію із їхніми солями та утворювати міцні ЗК [25, 26].

1.4 Постановка задач дослідження

Стрижневі суміші, розроблені протягом 2010 – 2020 рр. на кафедрі ЛВЧКМ КПІ ім. Ігоря Сікорського, показали конкурентоспроможність порівняно із провідними піщано смоляними та піщано-рідкоскляними аналогами. В результаті фундаментальних наукових досліджень встановлено фізико-хімічні режими синтезу ЗК у більшості із цих сумішей. Пробні партії виливків, виготовлених у лабораторії, переважно із залізобуглецевих сплавів, мають належну якість литих поверхонь.

Однак для широкого впровадження розроблених сумішей і встановлення їх галузей застосування на сьогодні даних мало. Важливими вимогами до ливарних стрижнів є стійкість до фізико-хімічної взаємодії з металевими розплавами та мінімальна робота вибивання. Не останню роль у формуванні вказаних властивостей грає гігроскопічність стрижневих сумішей. Вказаний комплекс властивостей, які називають робочими, для новостворених металофосфатних сумішей не встановлено.

Отже, метою дисертаційної роботи є визначення комплексу робочих властивостей: стійкості до пригару, вибиваємості, а також технологічної властивості – гігроскопічності стрижневих сумішей, які містять зв'язувальні компоненти металофосфатного типу.

Для досягнення поставленої мети в роботі поставлено наступну послідовність теоретичних і практичних задач:

1. Проаналізувати методики визначення стійкості до пригару та вибиваємості стрижневих сумішей та виготовити необхідне модельне оснащення для реалізації вказаних методів.

2. Виготовити ливарні форми та зразки стрижнів із експериментальних сумішей без протипригарних покриттів для контролю стійкості до пригару й вибиваємості.

3. На виливках із залізовуглецевого сплаву провести візуальний контроль наявності пригару залежно від товщини литої стінки (від 5 до 40 мм).

4. Провести контроль шорсткості литих поверхонь залежно від товщини стінки виливків, виготовлених із використанням стрижнів із кожної експериментальної суміші.

5. Визначити вибиваємість зразків стрижневих сумішей.

6. Визначити гігроскопічність зразків стрижневих сумішей.

2 МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТІВ

2.1 Матеріали для приготування стрижневих сумішей

Ортофосфорна кислота використовувалась марки ОСН12-3 ГОСТ 10678–76, концентрація 85%, виробництва Китаю. Густина 1670 кг/м³.

Як наповнювач стрижневих сумішей використано річковий пісок на основі кварцу ЗК₅О₃025 ГОСТ2138-91.

До складу стрижневих сумішей з метою утворення ЗК з ортофосфорною кислотою додано наступні матеріали:

- сульфат алюмінію технічний 18-водний ГОСТ 12966-85;
- натрію триполіфосфат технічний ГОСТ 13493-86 у вигляді дрібнодисперсного білого порошку;
- натрію гексаметафосфат ГОСТ 20291-80 у вигляді глиб розмірами від 1 до 10 см;
- кальцій фосфорнокислий тризаміщений ГОСТ 23999-80 у вигляді дрібнодисперсного білого порошку;
- натрій алюмінієвокислий (алюмінат натрію) технічний згідно з нормативними документами, чинними в Україні, у вигляді дрібнодисперсного білого порошку;
- пудра алюмінієва пігментна ПАП-1 ГОСТ 5494-95;
- натрій азотистоокислий ГОСТ 19906-74 у вигляді дрібнодисперсного жовтого порошку;
- манган сірчаноокислий 5-водний ГОСТ 435-77 у вигляді дрібнодисперсного рожевого порошку;
- пилоподібний кварц марки КП1 ГОСТ 9077-82 (пилоподібна фракція – 95%, фракція 005 – 5%);
- магнію хлорид 5-водний ГОСТ 4209-77 у вигляді дрібнодисперсного білого порошку;

- калію хлорид технічний ГОСТ 4234-77 у вигляді дрібнодисперсного білого порошку;
- калію бромід технічний ГОСТ 4160-74 (ДСТУ 7752:2015) у вигляді дрібнодисперсного жовтуватого порошку;
- натрію хлорид технічний ГОСТ 4234-77 у вигляді дрібнодисперсного білого порошку;
- натрію карбонат технічний ГОСТ 5100-85 у вигляді дрібнодисперсного білого порошку;
- магнію сульфат 7-водний технічний ГОСТ 4523-77;
- кобальт сірчаноокислий 7-водний ГОСТ 4462-72 у вигляді дрібнодисперсного темно-рожевого порошку.

2.2 Приготування стрижневих сумішей

В роботі використано три способи приготування сумішей. Усі суміші готували в лабораторному змішувачі з вертикальними котками моделі 018М.

За першим способом спочатку змішували сухі компоненти: наповнювач та пилоподібну добавку. Після цього додавали у змішувач ортофосфорну кислоту, а далі – воду в необхідній кількості. Загальна тривалість приготування 2...3 хв.

Другий спосіб передбачає приготування готового сухого ЗК. Наважки неорганічних солей металів, наведених у п. 2.1, змішували в лабораторному посуді із ортофосфорною кислотою. Після цього їх поміщали в нагрівальну піч, де витримували при температурі 150 °С (для триполіфосфату натрію та сульфату марганцю) та 200 °С (для сульфату алюмінію) протягом 1 год для здійснення хімічної взаємодії між компонентами. Згодом наважки діставали з печі, охолоджували на повітрі і в разі наявності в них грудок або спечених конгломератів часток подрібнювали та просіювали через сито із розміром комірки 0,2 мм, після чого використовували для приготування сумішей. Для

приготування суміші спочатку змішували сухі компоненти (наповнювач і ЗК), після чого додавали воду. Загальна тривалість приготування 2...3 хв.

За третім способом готували рідкий ЗК, який являє собою розчин або суспензію. До складу таких ЗК входять H_3PO_4 і різні неорганічні солі металів. Вказані солі розчиняли або замішували в кислоті (концентрація розчинів 10...50%). Для приготування суміші спочатку змішували наповнювач із отриманим розчином ЗК. Загальна тривалість приготування 1...2 хв.

Зважування компонентів сумішей проводили на лабораторних терезах 2-го класу моделі ВЛТК-500г-М з механізмом компенсації тари, похибка зважування яких становить ± 500 мг. Зважування піску та інших компонентів, кількість яких у суміші становила 100 г і більше, відбувалося на терезах марки РН10Ц13У, похибка зважування яких становить ± 5 г, мінімальна маса зваженого матеріалу 50 г.

2.3 Методика контролю схильності сумішей до утворення пригару

Для оцінки шорсткості поверхні чавунних виливків, одержуваних з застосуванням досліджуваних сумішей, застосовувалася спеціальна технологічна проба (рис. 2.1, 2.2).

Дана технологічна проба має різну товщину стінок (5, 10, 15, 20, 30, 40 мм). Внутрішня порожнина проби виконується стрижнем (рис. 2.2), виготовленим з досліджуваної суміші. Шестигранний стержень виготовлявся по витряхному стержневому ящику. Після заливки форми чавуном, що кристалізується з відбілом (температури заливання 1450 °С), охолодження виливка у формі, вибивання та очищення, шорсткість стінок з внутрішньої сторони проби (від 0,8 до 50 мкм) визначали методом порівняння з еталонними поверхнями (рис. 2.3).

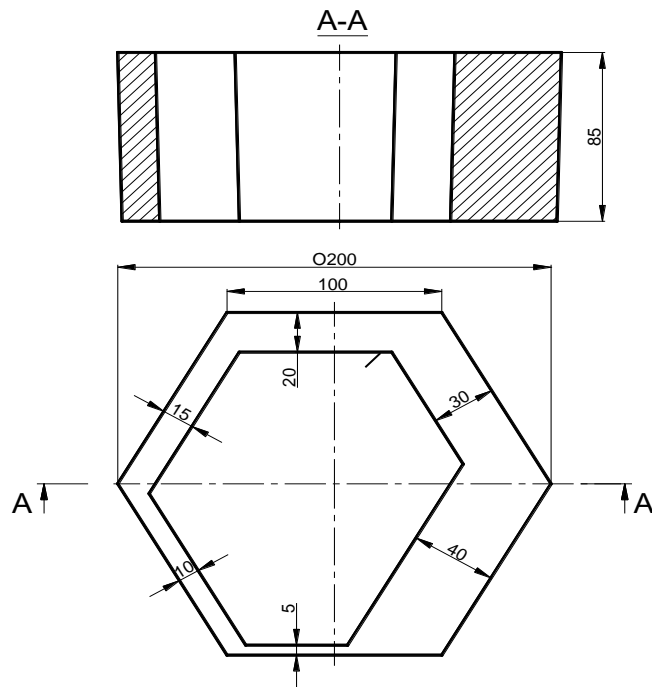
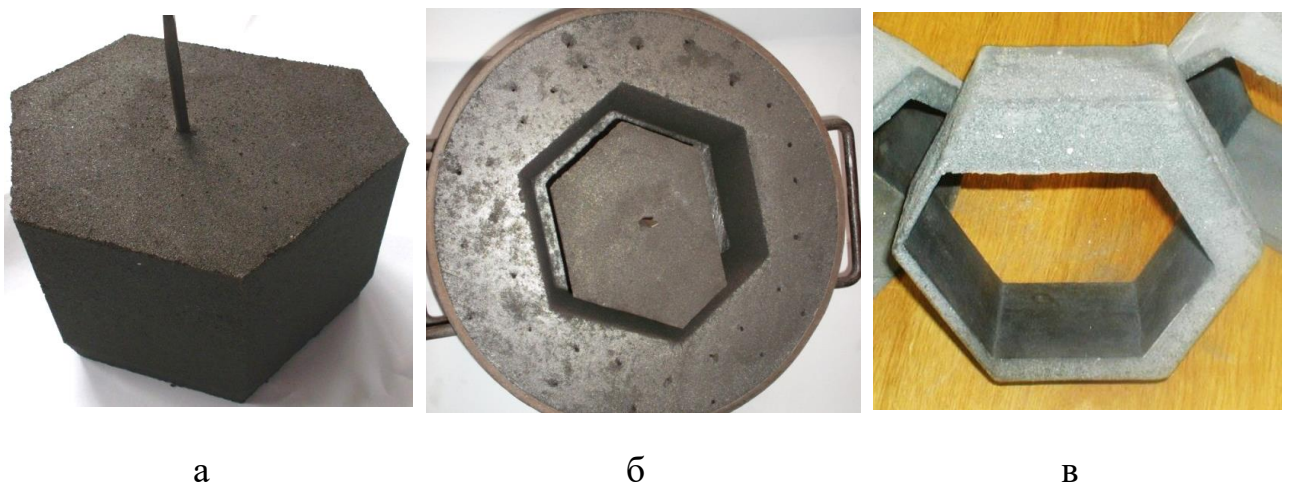


Рисунок 2.1 – Схема технологічної проби на пригар



а – стрижень із досліджуваної суміші; б – ливарна форма із стрижнем; в – виливкитехнологічної проби на пригар

Рисунок 2.2 – Методика виготовлення технологічної проби на пригар



Рисунок 2.3 – Еталони шорсткості литих поверхонь

2.4 Визначення роботи вибивання

Вибиваємість сумішей оцінюють за допомогою технологічної проби – виливка розмірами 160*95*50 мм, у якому залиті два циліндричних зразки із дослідної суміші.

Зразки із виливка вибивають на спеціальній установці на базі лабораторного копра. Вибиваємість оцінюють за роботою вибивання даного зразка або за числом ударів, необхідних для його повного прошивання:

$$A = N \cdot m \cdot g \cdot h, \quad (2.1)$$

де A – робота вибивання зразка, Дж;

N – кількість ударів копра, витрачена на вибивання зразка;

m – маса вантажу, $m = 6,35$ кг;

g – прискорення земного тяжіння, $g = 9,81$ м/с²;

h – висота падіння вантажу в копрі, $h = 0,05$ м.

2.5 Визначення гігроскопічності

Гігроскопічність – це здатність суміші поглинати вологу із повітря. Це призводить до беззаперечного погіршення усіх властивостей – міцності, обсипаємість, зростання вологості і газотвірності.

Для визначення гігроскопічності за ГОСТ 23409-78 стандартний циліндричний зразок у зміцненому стані зважують та розміщують в ексикаторі на фільтрувальному папері, розміщеному на шарі кварцового піску із вмістом вологи 5 %, і витримують протягом 2 год. Після цього зразок знову зважують. Гігроскопічність визначають:

$$\Gamma = \frac{m - m_1}{m} \cdot 100,$$

де Γ – гігроскопічність зразка, %;

M – маса зразка після випробування, г;

M_0 – маса зразка до випробування, г.

3 ВИЗНАЧЕННЯ РОБОЧИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ СТРИЖНЕВИХ СУМІШЕЙ

3.1 Склад сумішей і технологія виготовлення стрижнів

У роботі використано в загальній кількості 16 стрижневих сумішей. Кожна із них має оригінальну рецептуру і технологію виготовлення стрижнів, розроблена на кафедрі ЛВЧКМ КПІ ім. Ігоря Сікорського.

Із ЗК, який синтезується із ортофосфорної кислоти та сульфату алюмінію, виготовлено дві суміші, які принципово відрізняються технологією підготовки ЗК.

Таблиця 3.1 – Склад суміші з сухим ЗК на основі ортофосфорної кислоти і сульфату алюмінію

Індекс	Вміст компонентів, мас. ч.			Температура виготовлення стрижня, °С
	сухий ЗК на основі сульфату алюмінію*	вода	пісок кварцовий	
1.1	5,0	5,0	100,0	200

* Сухий ЗК складається із 5 мас. ч. $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ і й 1 мас. ч. H_3PO_4 , його виготовлено за п. 2.2

У цій суміші міститься готовий ЗК, який складається, як встановлено раніше, із поєднання сульфату та фосфату алюмінію. Тривалість повного зміцнення стрижня склала 1 год 20 хв при загальній масі стрижня 2,6 кг. Після виготовлення стрижень зберігався у лабораторії протягом 48 год, візуально він не гігроскопічний.

Таблиця 3.2 – Склад суміші № 1 з рідким ЗК на основі ортофосфорної кислоти і сульфату алюмінію

Індекс	Вміст компонентів, мас. ч.			Температура виготовлення стрижня, °С
	рідкий ЗК на основі сульфату алюмінію*	вода	пісок кварцовий	
1.2	4,0	1,0	100,0	250

* Рідкий ЗК складається із 1 мас. ч. $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ і й 4 мас. ч. H_3PO_4 , його виготовлено за п. 2.2

Оскільки у цій суміші не міститься готовий ЗК, то його синтез відбувається безпосередньо у стрижні. Цим пояснюється необхідність збільшення температури сушіння (до 250 °С) і тривалості процесу (до 3 год).

Із ЗК, який синтезується із ортофосфорної кислоти та триполіфосфат натрію, виготовлено також дві суміші, які принципово відрізняються технологією підготовки ЗК.

Таблиця 3.3 – Склад суміші з сухим ЗК на основі ортофосфорної кислоти і триполіфосфату натрію

Індекс	Вміст компонентів, мас. ч.			Температура виготовлення стрижня, °С
	сухий ЗК на основі триполіфосфату натрію *	вода	пісок кварцовий	
2.1	5,0	5,0	100,0	150

* Сухий ЗК складається із 5 мас. ч. $Na_5P_3O_{10}$ і й 1 мас. ч. H_3PO_4 , його виготовлено за п. 2.2

У цій суміші міститься готовий ЗК, який являє собою двозаміщений пірофосфат натрію. Тривалість повного зміцнення стрижня склала 2 год 15 хв. Після виготовлення стрижень зберігався у лабораторії протягом 48 год. Візуально він має незначну гігроскопічність, тому перед встановленням у форму його було підсушено.

Таблиця 3.4 – Склад суміші № 2 з рідким ЗК на основі ортофосфорної кислоти і триполіфосфату натрію

Індекс	Вміст компонентів, мас. ч.			Температура виготовлення стрижня, °С
	рідкий ЗК на основі триполіфосфату натрію*	вода	пісок кварцовий	
2.2	5,0	1,25	100,0	150

* Рідкий ЗК складається із 1 мас. ч. $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ і й 4 мас. ч. H_3PO_4 , його виготовлено за п. 2.2

Оскільки у цій суміші не міститься готовий ЗК, то його синтез відбувається безпосередньо у стрижні. Цим пояснюється необхідність збільшення тривалості процесу сушіння стрижня (до 3 год).

Таблиця 3.5 – Склад суміші № 3 з гексаметафосфатом натрію

Індекс	Вміст компонентів, мас. ч.		Температура виготовлення стрижня, °С
	50%-й водний розчин гексаметафосфату натрію	пісок кварцовий	
3	4,0	100,0	150

* Рідкий ЗК складається із 1 мас. ч. $(\text{NaPO}_3)_n$ і й 4 мас. ч. H_3PO_4 , його виготовлено за п. 2.2

Ця суміш не містить ортофосфорної кислоти. Її приготовлено для перевірки зв'язувальної здатності гексаметафосфату натрію як самостійного ЗК. Тривалість повного зміцнення стрижня склала 3 год. Після виготовлення стрижень зберігався у лабораторії протягом 48 год. Візуально він не має гігроскопічності.

Таблиця 3.6 – Склад суміші № 4 з ортофосфорною кислотою і фосфатом кальцію

Індекс	Вміст компонентів, мас. ч.				Температура виготовлення стрижня, °С
	ортофосфорна кислота	фосфат кальцію	вода	пісок кварцовий	
4	5,0	5,0	5,0	100,0	150

Стрижень із цієї суміші набув тільки поверхневу міцність, а всередині залишився сирим. Загальна міцність не дала змоги транспортувати стрижень і він, на жаль, розвалився. Із цієї суміші виготовлено тільки стандартні зразки на вибиваємість.

Таблиця 3.7 – Склад суміші № 5 з ортофосфорною кислотою і алюмінатом натрію

Індекс	Вміст компонентів, мас. ч.				Температура виготовлення стрижня, °С
	ортофосфорна кислота	алюмінат натрію	вода	пісок кварцовий	
5	5,0	2,0	2,0	100,0	250

За результатами попередніх досліджень, зміцнення цієї суміші відбувається при 200 °С, однак витримка стрижня протягом 2 год 45 хв при цій температурі не дала результату. Після підняття температури до 250 °С стрижень зміцнився за 30 хв. Витримка стрижня у лабораторії перед заливанням 24 год показала, що він не гігроскопічний.

Таблиця 3.8 – Склад суміші № 6 з ортофосфорною кислотою і алюмінієвою пудрою

Індекс	Вміст компонентів, мас. ч.				Температура виготовлення стрижня, °С
	ортофосфорна кислота	алюмінієва пудра	вода	пісок кварцовий	
6	3,0	1,0	0,8	100,0	20

Представлена у табл. 3.8 суміш – єдиний представник холоднотвердних композицій у роботі. Процес сумішоприготування супроводжувався

екзотермічним ефектом, який почався приблизно через 7...10 хв після змішування кислоти з алюмінієвою пудрою. Внаслідок цього процесу утворюється ортофосфат алюмінію, який і виконує роль ЗК.

Зміцнення стрижня відбулося протягом 1,0...1,5 год за нормальної температури. Після виготовлення стрижень зберігався у лабораторії протягом 48 год. Візуально він не має гігроскопічності.

Таблиця 3.9 – Склад суміші № 7 з рідким ЗК на основі ортофосфорної кислоти і нітриту натрію

Індекс	Вміст компонентів, мас. ч.			Температура виготовлення стрижня, °С
	рідкий ЗК на основі нітриту натрію*	вода	пісок кварцовий	
7	5,0	–	100,0	250

* Рідкий ЗК складається із 1 мас. ч. NaNO_2 і й 9 мас. ч. H_3PO_4 , його виготовлено за п. 2.2

Приготування розчину нітриту натрію в кислоті супроводжується значним виділенням бурого газу, після чого розчин набуває зеленуватого кольору.

Зміцнення стрижня в печі при температурі відбувається повільно. Після витримки 4 год стрижень набув загальної міцності, але поверхня залишилась сирою. В такому стані стрижень і було встановлено до форми, адже його маніпуляційна міцність виявилась достатньою. Процеси зміцнення цієї суміші та будову ЗК поки що не встановлено.

Таблиця 3.10 – Склад суміші № 8 з сухим ЗК на основі ортофосфорної кислоти і сульфату мангану

Індекс	Вміст компонентів, мас. ч.			Температура виготовлення стрижня, °С
	сухий ЗК на основі сульфату марганцю*	вода	пісок кварцовий	
8	5,0	4,0	100,0	150

* Сухий ЗК складається із 5 мас. ч. $\text{MnSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ і й 1 мас. ч. H_3PO_4 , його виготовлено за п. 2.2

У цій суміші ЗК являє собою поєднання сульфату і фосфату мангану. Тривалість сушіння стрижня становить 2 год 30 хв, після чого він набув достатньо високої міцності. Витримка протягом 24 год у лабораторії перед заливанням показала, що він не наділений гігроскопічністю.

Таблиця 3.11 – Склад суміші № 9 з ортофосфорною кислотою і пилоподібним кварцом

Індекс	Вміст компонентів, мас. ч.				Температура виготовлення стрижня, °С
	ортофосфорна кислота	кварц пилоподібний	вода	пісок кварцовий	
9	4,0	4,0	1,0	100,0	300

У цій суміші ЗК утворюється внаслідок взаємодії кислоти з пилоподібним кварцом і являє собою пірофосфат кремнію.

Тривалість зміцнення стрижня близько 3 год. Після витримки 24 год він проявив незначну гігроскопічність, тому необхідним було підсушування його перед встановленням до форми.

Таблиця 3.12 – Склад суміші № 10 з ортофосфорною кислотою і хлоридом магнію

Індекс	Вміст компонентів, мас. ч.				Температура виготовлення стрижня, °С
	ортофосфорна кислота	хлорид магнію	вода	пісок кварцовий	
10	4,0	2,3	2,0	100,0	200

Із цієї суміші було виготовлено тільки два стандартні циліндричні зразки внаслідок недостатньої кількості хлориду магнію. Процес зміцнення цієї суміші і будову ЗК поки не встановлено. Очевидно, ним є фосфат магнію.

Таблиця 3.13 – Склад суміші № 11 з рідким ЗК на основі ортофосфорної кислоти і хлориду калію

Індекс	Вміст компонентів, мас. ч.			Температура виготовлення стрижня, °С
	рідкий ЗК на основі хлориду калію*	вода	пісок кварцовий	
11	5,0	–	100,0	250

* Рідкий ЗК складається із 1 мас. ч. КСl і й 4 мас. ч. Н₃РO₄, його виготовлено за п. 2.2

У цій суміші ЗК утворюється безпосередньо під час теплового сушіння стрижня. Цей процес зумовлено взаємодією хлориду калію з ортофосфорною кислотою, внаслідок чого утворюється ряд фосфатів калію. Тривалість зміцнення стрижня 2 год 30 хв. Витримка стрижня в атмосфері лабораторії показала, що він має певну гігроскопічність.

Таблиця 3.14 – Склад суміші №12 з рідким ЗК на основі ортофосфорної кислоти і броміду калію

Індекс	Вміст компонентів, мас. ч.			Температура виготовлення стрижня, °С
	рідкий ЗК на основі броміду калію*	вода	пісок кварцовий	
12	5,0	–	100,0	250

* Рідкий ЗК складається із 3 мас. ч. КВг й 7 мас. ч. Н₃РO₄, його виготовлено за п. 2.2

У цій суміші ЗК також утворюється під час теплового сушіння стрижня. Цей процес зумовлено взаємодією броміду калію з ортофосфорною кислотою, внаслідок чого утворюється ряд фосфатів калію. Тривалість зміцнення стрижня 2 год 30 хв. Витримка стрижня в атмосфері лабораторії показала, що він має певну гігроскопічність.

Таблиця 3.15 – Склад суміші № 13 з рідким ЗК на основі ортофосфорної кислоти і хлориду натрію

Індекс	Вміст компонентів, мас. ч.			Температура виготовлення стрижня, °С
	рідкий ЗК на основі хлориду натрію*	вода	пісок кварцовий	
13	5,0	–	100,0	300

* Рідкий ЗК складається із 3 мас. ч. NaCl й 7 мас. ч. H₃PO₄, його виготовлено за п. 2.2

У цій суміші ЗК являє собою поєднання різних фосфатів натрію, які утворюються після взаємодії хлориду натрію з ортофосфорною кислотою. Тривалість теплового зміцнення стрижня 2 год 30 хв. Після витримки на повітрі проявив гігроскопічність.

Таблиця 3.16 – Склад суміші № 14 з рідким ЗК на основі ортофосфорної кислоти і карбонату натрію

Індекс	Вміст компонентів, мас. ч.			Температура виготовлення стрижня, °С
	рідкий ЗК на основі карбонату натрію*	вода	пісок кварцовий	
14	4,5	–	100,0	150

* Рідкий ЗК складається із 3 мас. ч. Na₂CO₃ й 7 мас. ч. H₃PO₄, його виготовлено за п. 2.2

Взаємодія між кислотою та карбонатом натрію відбувається при нормальній температурі. ЗК являє собою композицію із декількох простих фосфатів натрію. Однак одним із продуктів реакції є H₂O, тому для зміцнення стрижня та видалення з нього вологи необхідним є теплове сушіння. Тривалість зміцнення стрижня становить близько 1 год 45 хв. Витримка його на повітрі протягом 24 год показала, що він має певну гігроскопічність.

Таблиця 3.17 – Склад суміші № 15 з рідким ЗК на основі ортофосфорної кислоти і сульфату магнію

Індекс	Вміст компонентів, мас. ч.			Температура виготовлення стрижня, °С
	рідкий ЗК на основі сульфату магнію*	вода	пісок кварцовий	
15	5,0	–	100,0	250

* Рідкий ЗК складається із 3 мас. ч. $MgSO_4$ й 7 мас. ч. H_3PO_4 , його виготовлено за п. 2.2

ЗК у цій суміші, очевидно, являє собою фосфат магнію, але поки що це достовірно не встановлено. Під час теплового оброблення у печі стрижень візуально не зміцнюється. Після вилучення з печі під час охолодження вже за перші 5...10 хв значно зміцнюється. Після витримки 24 год на повітрі проявляє значну гігроскопічність і потребує підсушування у печі.

Таблиця 3.18 – Склад суміші № 16 з рідким ЗК на основі ортофосфорної кислоти і сульфату кобальту

Індекс	Вміст компонентів, мас. ч.			Температура виготовлення стрижня, °С
	рідкий ЗК на основі сульфату кобальту*	вода	пісок кварцовий	
16	3,5	–	100,0	250

* Рідкий ЗК складається із 1 мас. ч. $CoSO_4$ й 3 мас. ч. H_3PO_4 , його виготовлено за п. 2.2

ЗК у цій суміші являє собою фосфат кобальту. Тривалість теплового зміцнення стрижня 1 год 45 хв. Після витримки 24 год на повітрі проявляє значну гігроскопічність і потребує повторного підсушування у печі.

3.2 Стійкість сумішей до утворення пригару на виливках

Відомо, що вуглецеві сталі та чавун, який кристалізується з відбілом, мають найбільшу схильність до утворення пригару. У свою чергу сталь, за наявності у складі стрижневої суміші сульфатних або хлоридних солей, може утворювати на поверхні виливків легковідокремлюваний пригар, що небажано у нашому випадку.

Для дослідів обрали сплав – чавун із структурно зв'язаним вуглецем, оскільки була в наявності необхідна шихта. Температуру заливання вибрали підвищеною – 1450 °С. Стрижні перед встановленням у форми не фарбували. Таким чином створено максимально небезпечні умови для утворення пригару.

Обраний сплав виплавляли в індукцій печі підвищеної частоти місткістю 60 кг. Заливання здійснювали дворучним ковшем.

Виливки із стрижнями представлено на рис. 3.1 – 3.14.



а



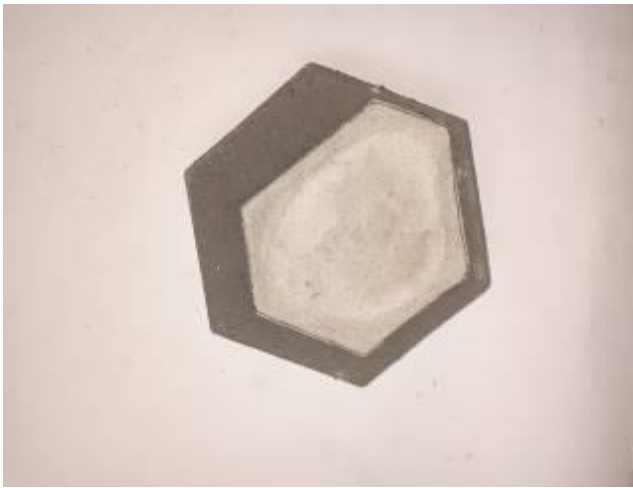
б

а – виливок із стрижнем; б – виливок із стрижнем у ливарній формі

Рисунок 3.1 – Технологічна проба із стрижнем, виготовленим із суміші

№1

Після вилучення виливка із форми стрижень вибито вручну доволі легко.



а



б

а – вилівок із стрижнем; б – вилівок із стрижнем у ливарній формі

Рисунок 3.2 – Технологічна проба із стрижнем, виготовленим із суміші

№2

Стрижень було важко вибити із внутрішньої порожнини вилівка, однак вибивання здійснено вручну, без додаткових технологічних прийомів.



а



б

а – вилівок із стрижнем; б – вилівок із стрижнем у ливарній формі

Рисунок 3.3 – Технологічна проба із стрижнем, виготовленим із суміші

№3

Після вилучення виливка із форми стрижень вибито вручну доволі легко.



а



б

а – виливок із стрижнем; б – виливок із стрижнем у ливарній формі

Рисунок 3.4 – Технологічна проба із стрижнем, виготовленим із суміші №5

Після вилучення виливка із форми стрижень із внутрішньої порожнини виливка вручну вибити не вдалося. Причина у загально високій міцності стрижневої суміші. Вигляд, який стрижень має на рис. 3.4, а (темного кольору із світлими плямами) він мав і до заливання.

Підвівши підсумок, що стрижень не вибивається, виливок із ним замочили у холодній воді (10 °С) протягом 40 хв. Після цього стрижень вибився вручну доволі легко. Це вказує на водорозчинність компонентів суміші.



а



б

а – вилівок із стрижнем; б – вилівок із стрижнем у ливарній формі

Рисунок 3.5 – Технологічна проба із стрижнем, виготовленим із суміші №6

Як видно з рис. 3.5, стрижень почав вибиватися із вилівка вже під час вилучення того з ливарної форми. Таким чином, ця суміш очевидно має значну перевагу по вибиваємості.



а



б

а – вилівок із стрижнем; б – вилівок із стрижнем у ливарній формі

Рисунок 3.6 – Технологічна проба із стрижнем, виготовленим із суміші №7

Стрижень було важко вибити із внутрішньої порожнини виливка, однак вибивання здійснено вручну, без додаткових технологічних прийомів. Особливо високу міцність мала суміш біля стінок виливка.



а



б

а – виливок із стрижнем; б – виливок із стрижнем у ливарній формі

Рисунок 3.7 – Технологічна проба із стрижнем, виготовленим із суміші №8

Стрижень легко вибився. Суміш легко відокремлено від стінок виливка.



а



б

а – виливок із стрижнем; б – виливок із стрижнем у ливарній формі

Рисунок 3.8 – Технологічна проба із стрижнем, виготовленим із суміші №9

Стрижень було важко вибити із внутрішньої порожнини виливка, однак вибивання здійснено вручну, без додаткових технологічних прийомів. Особливо високу міцність мала суміш біля стінок виливка.



а



б

а – вилівок із стрижнем; б – вилівок із стрижнем у ливарній формі

Рисунок 3.9 – Технологічна проба із стрижнем, виготовленим із суміші №11

Вибивання стрижня потребувало дуже значних зусиль, проте вдалося вилучити його вручну із внутрішньої порожнини виливка.



а



б

а – вилівок із стрижнем; б – вилівок із стрижнем у ливарній формі

Рисунок 3.10 – Технологічна проба із стрижнем, виготовленим із суміші №12

Після вилучення виливка із форми стрижень із внутрішньої порожнини виливка вручну вибити не вдалося. Підвівши підсумок, що стрижень не вибивається, виливок із ним замочили у холодній воді (10 °С) протягом 40 хв. Після цього стрижень вибився вручну доволі легко. Це вказує на водорозчинність компонентів суміші.



а



б

а – виливок із стрижнем; б – виливок із стрижнем у ливарній формі

Рисунок 3.11 – Технологічна проба із стрижнем, виготовленим із суміші №13

Стрижень було важко вибити із внутрішньої порожнини виливка, однак вибивання здійснено вручну, без додаткових технологічних прийомів. Особливо високу міцність мала суміш біля стінок виливка.



а

б

а – вилівок із стрижнем; б – вилівок із стрижнем у ливарній формі

Рисунок 3.12 – Технологічна проба із стрижнем, виготовленим із суміші №14

Після вилучення вилівка із форми стрижень із внутрішньої порожнини вилівка вручну вибити не вдалося. Підвівши підсумок, що стрижень не вибивається, вилівок із ним замочили у холодній воді (10 °С) протягом 60 хв. Після цього стрижень вибився вручну доволі легко. Це вказує на водорозчинність компонентів суміші.



а

б

а – вилівок із стрижнем; б – вилівок із стрижнем у ливарній формі

Рисунок 3.13 – Технологічна проба із стрижнем, виготовленим із суміші №15

Після вилучення вилівка із форми стрижень із внутрішньої порожнини вилівка вручну вибити не вдалося. Підвівши підсумок, що стрижень не вибивається, вилівок із ним замочили у холодній воді (10 °С) протягом 40 хв. Після цього стрижень вибився вручну, але доволі важко.



а



б

а – вилівок із стрижнем; б – вилівок із стрижнем у ливарній формі

Рисунок 3.14 – Технологічна проба із стрижнем, виготовленим із суміші №16

Після вилучення вилівка із форми стрижень вибито вручну доволі легко. Ця стрижнева суміш має мінімальну міцність у вихідному стані і, очевидно, мінімальну міцність після заливання. Фіолетовий колір по контуру стрижня вказує на утворення у ньому фосфату кобальту.

Після очищення технологічних проб від стрижневої суміші кожену поверхню внутрішньої стінки перевірили на наявність пригару та визначили шорсткість поверхні. Методику даного дослідження описано в п. 2.3.



а



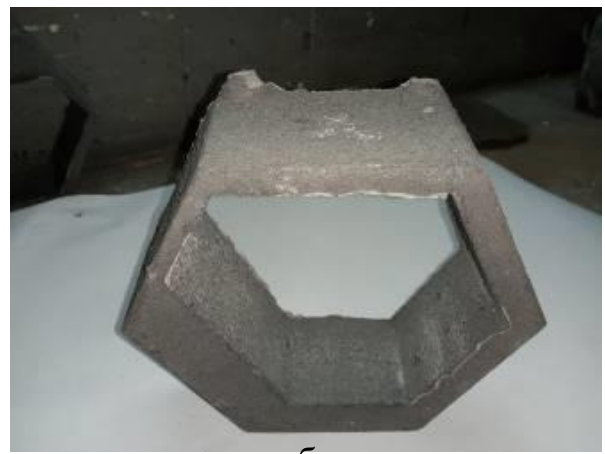
б

а – вигляд зверху; б – вигляд з боку

Рисунок 3.15 – Поверхні технологічних проб, стрижень виготовлений з суміші № 1



а



б

а – вигляд зверху; б – вигляд з боку

Рисунок 3.16 – Поверхні технологічних проб, стрижень виготовлений з суміші № 2



а



б

а – вигляд зверху; б – вигляд з боку

Рисунок 3.17 – Поверхні технологічних проб, стрижень виготовлений з суміші № 3



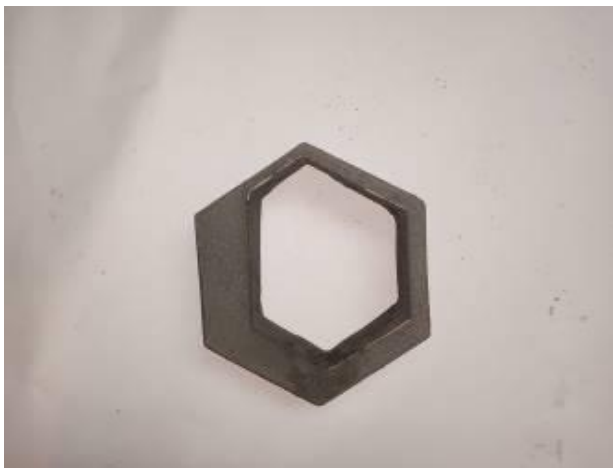
а

а – вигляд зверху; б – вигляд з боку



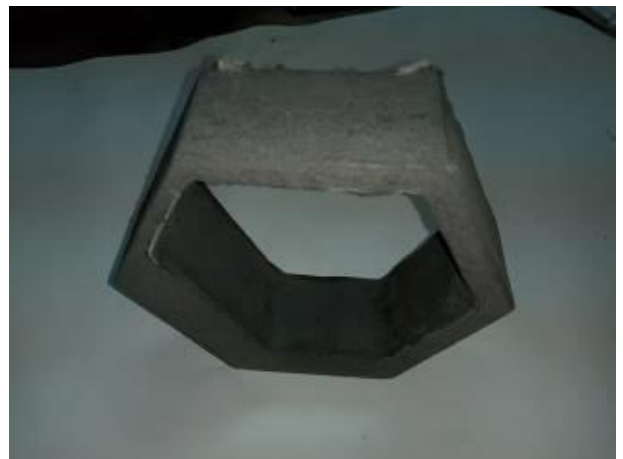
б

Рисунок 3.18 – Поверхні технологічних проб, стрижень виготовлений з суміші № 5



а

а – вигляд зверху; б – вигляд з боку



б

Рисунок 3.19 – Поверхні технологічних проб, стрижень виготовлений з суміші № 6



а

б

а – вигляд зверху; б – вигляд з боку

Рисунок 3.20 – Поверхні технологічних проб, стрижень виготовлений з суміші № 7



а

б

а – вигляд зверху; б – вигляд з боку

Рисунок 3.21 – Поверхні технологічних проб, стрижень виготовлений з суміші № 8



а

б

а – вигляд зверху; б – вигляд з боку

Рисунок 3.22 – Поверхні технологічних проб, стрижень виготовлений з суміші № 9



а

б

а – вигляд зверху; б – вигляд з боку

Рисунок 3.23 – Поверхні технологічних проб, стрижень виготовлений з суміші № 11



а

б

а – вигляд зверху; б – вигляд з боку

Рисунок 3.24 – Поверхні технологічних проб, стрижень виготовлений з суміші № 12



а

б

а – вигляд зверху; б – вигляд з боку

Рисунок 3.25 – Поверхні технологічних проб, стрижень виготовлений з суміші № 13

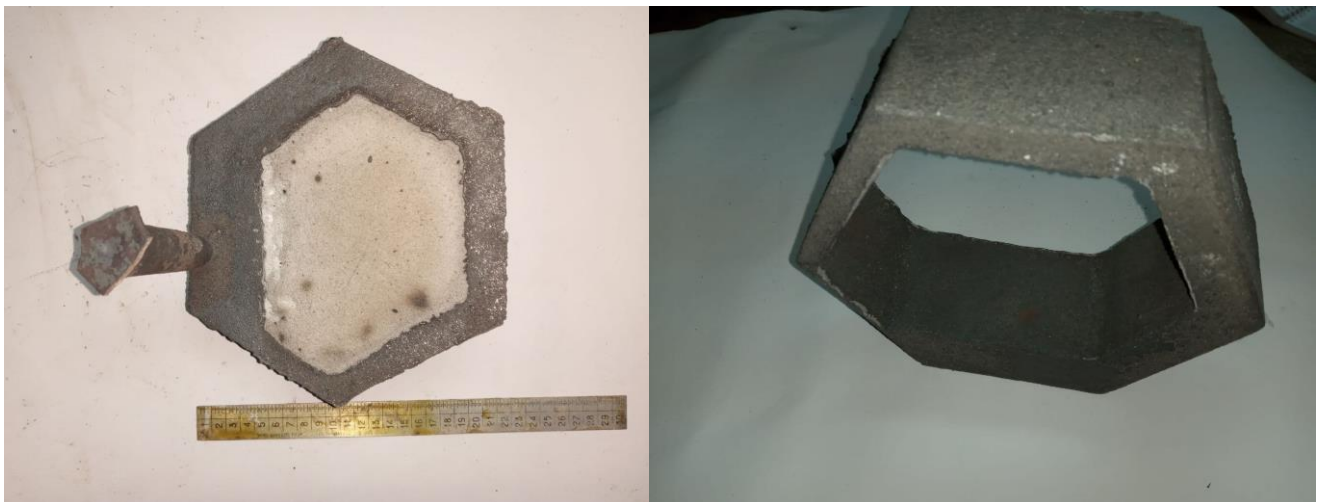


а

б

а – вигляд зверху; б – вигляд з боку

Рисунок 3.26 – Поверхні технологічних проб, стрижень виготовлений з суміші № 14

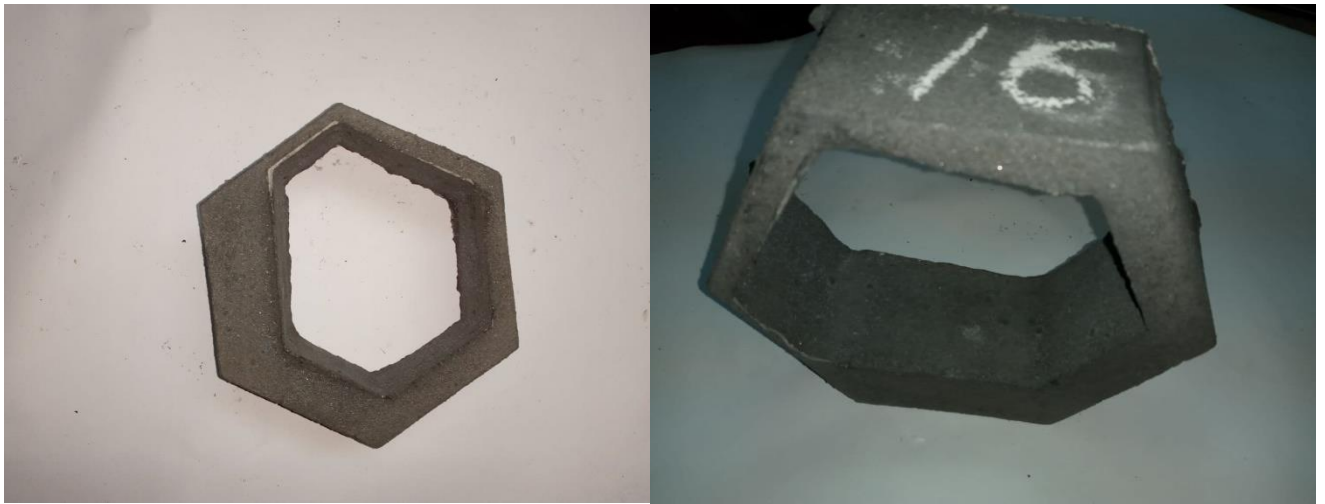


а

б

а – вигляд зверху; б – вигляд з боку

Рисунок 3.27 – Поверхні технологічних проб, стрижень виготовлений з суміші № 15



а

б

а – вигляд зверху; б – вигляд з боку

Рисунок 3.28 – Поверхні технологічних проб, стрижень виготовлений з суміші № 16

За отриманими даними побудовано діаграми розподілу шорсткості залежно від товщини стінок виливка для кожної технологічної проби.

На діаграмах червоним кольором позначаємо поверхні, на яких є пригар, сірим – поверхні без пригару.

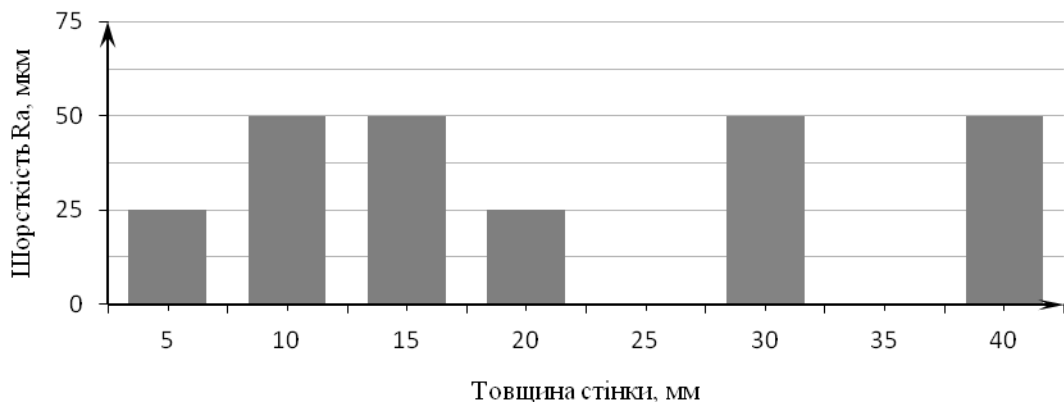


Рисунок 3.29 – Шорсткість поверхонь виливка, виготовленого із використанням стрижневої суміші №1

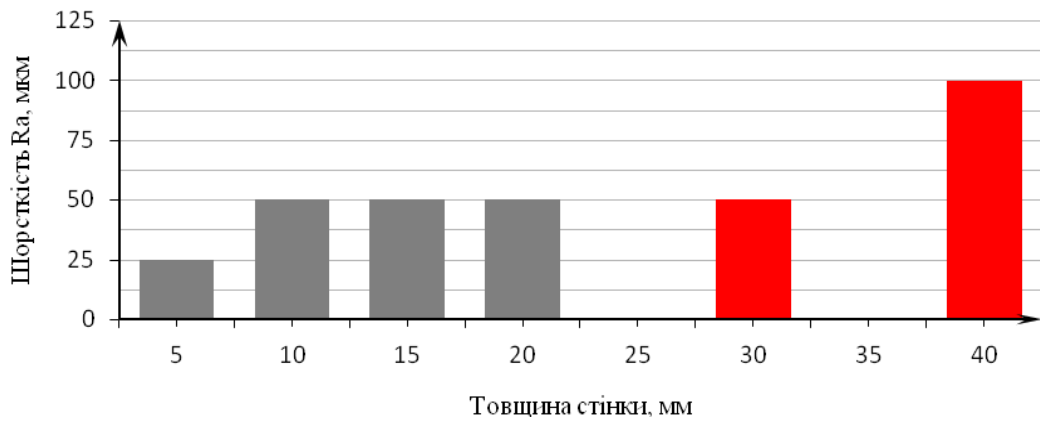


Рисунок 3.30 – Шорсткість поверхонь виливка, виготовленого із використанням стрижневої суміші №2

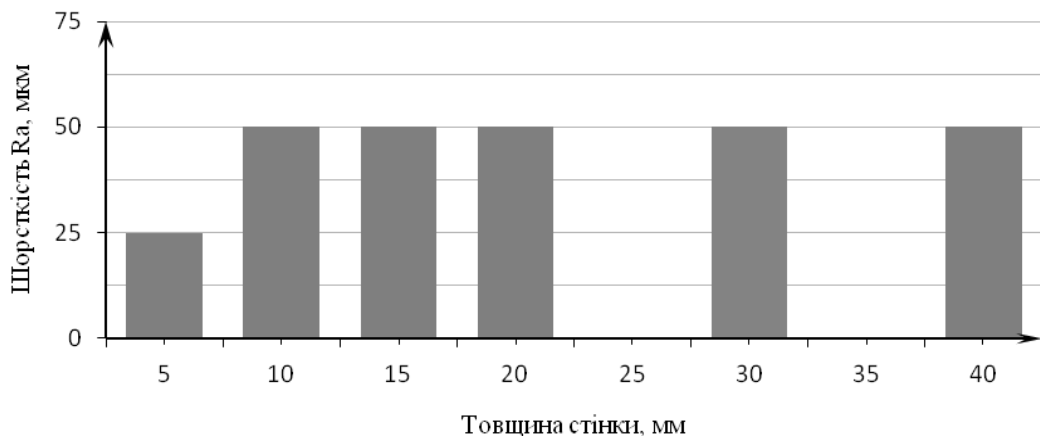


Рисунок 3.31 – Шорсткість поверхонь виливка, виготовленого із використанням стрижневої суміші №3

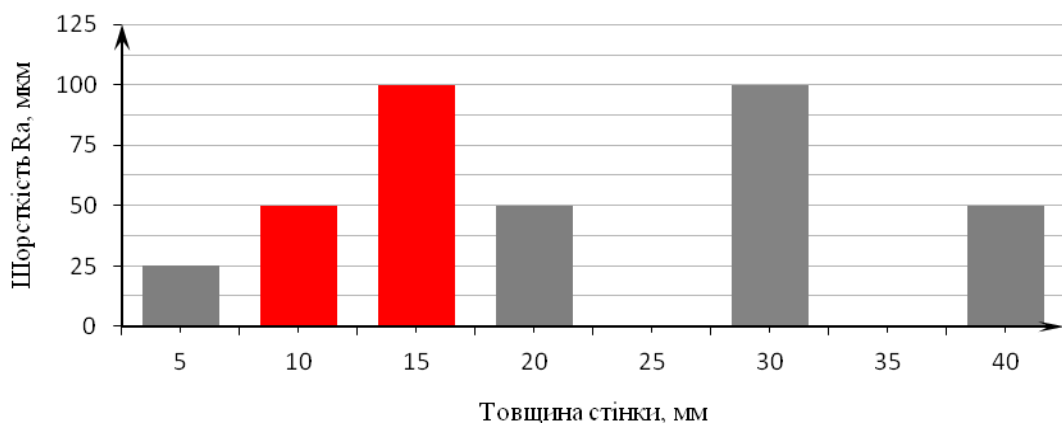


Рисунок 3.32 – Шорсткість поверхонь виливка, виготовленого із використанням стрижневої суміші №5

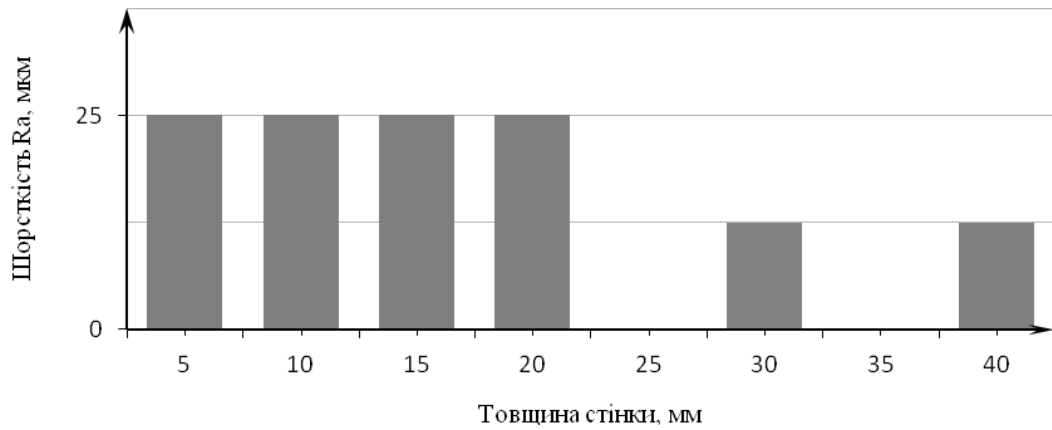


Рисунок 3.33 – Шорсткість поверхонь виливка, виготовленого із використанням стрижневої суміші №6

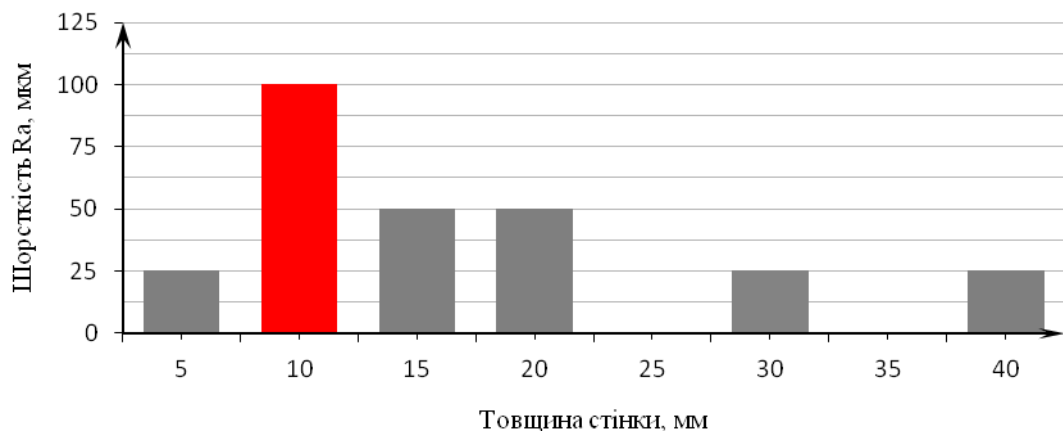


Рисунок 3.34 – Шорсткість поверхонь виливка, виготовленого із використанням стрижневої суміші №7

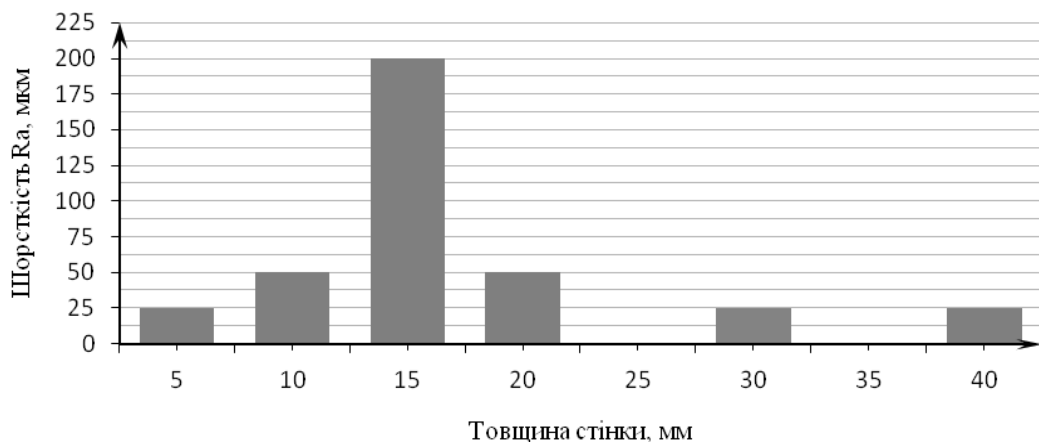


Рисунок 3.35— Шорсткість поверхонь виливка, виготовленого із використанням стрижневої суміші №8

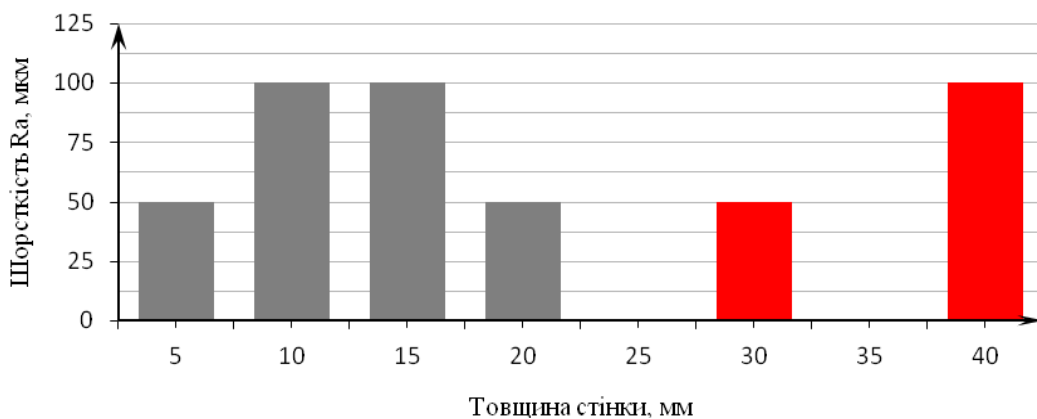


Рисунок 3.36 – Шорсткість поверхонь виливка, виготовленого із використанням стрижневої суміші №9

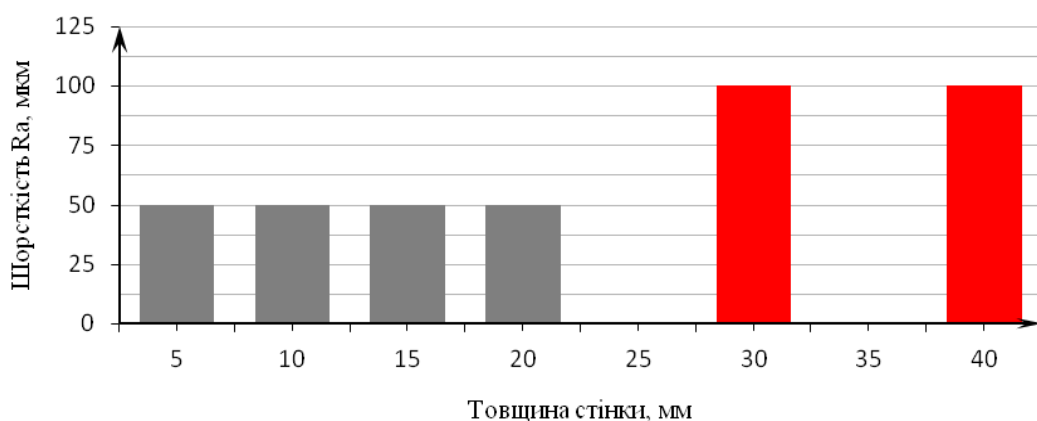


Рисунок 3.37 – Шорсткість поверхонь виливка, виготовленого із використанням стрижневої суміші №11

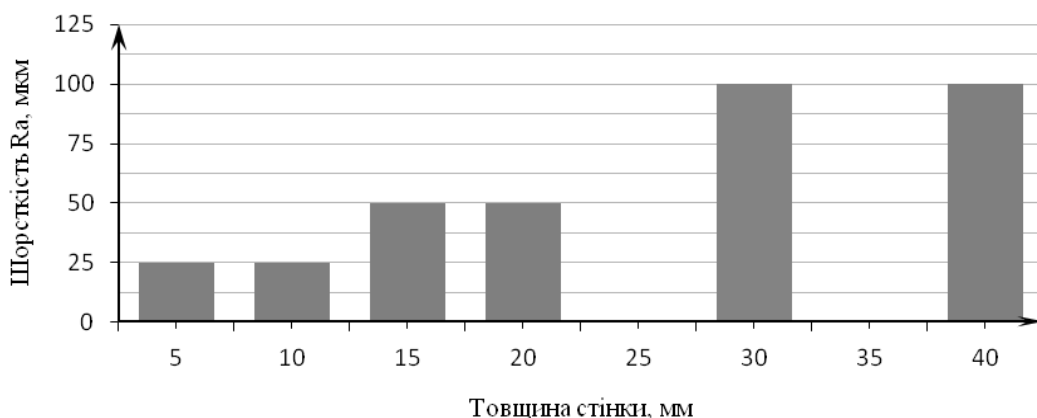


Рисунок 3.38 – Шорсткість поверхонь виливка, виготовленого із використанням стрижневої суміші №12

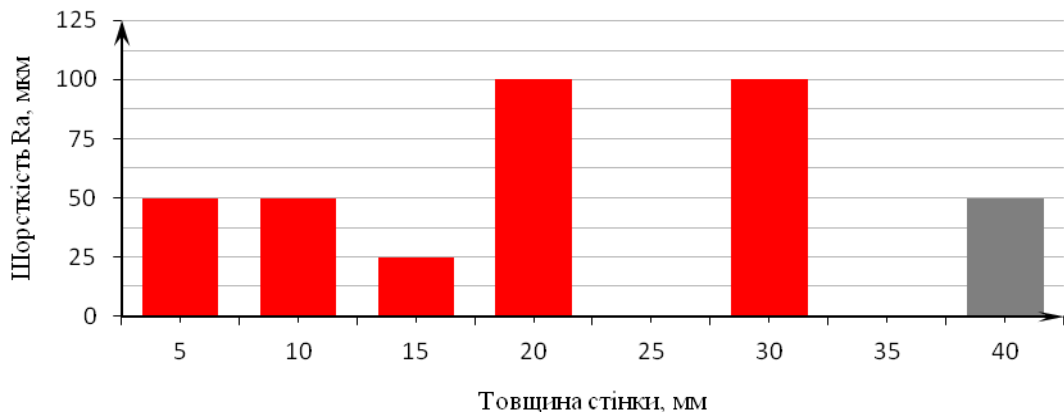


Рисунок 3.39 – Шорсткість поверхонь виливка, виготовленого із використанням стрижневої суміші №13

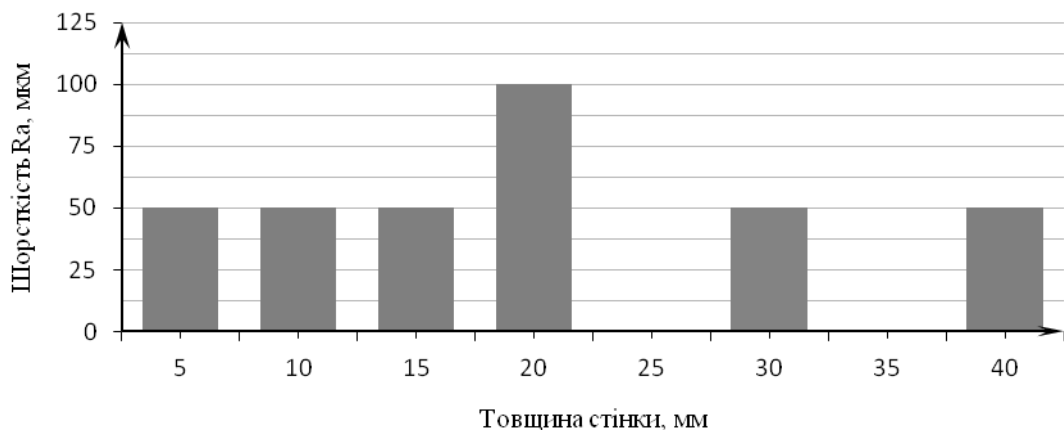


Рисунок 3.40 – Шорсткість поверхонь виливка, виготовленого із використанням стрижневої суміші №14

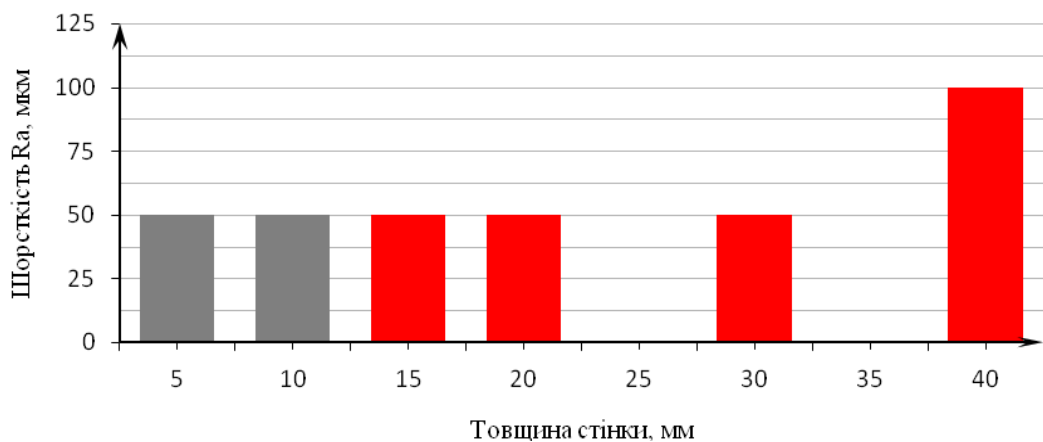


Рисунок 3.41 – Шорсткість поверхонь виливка, виготовленого із використанням стрижневої суміші №15

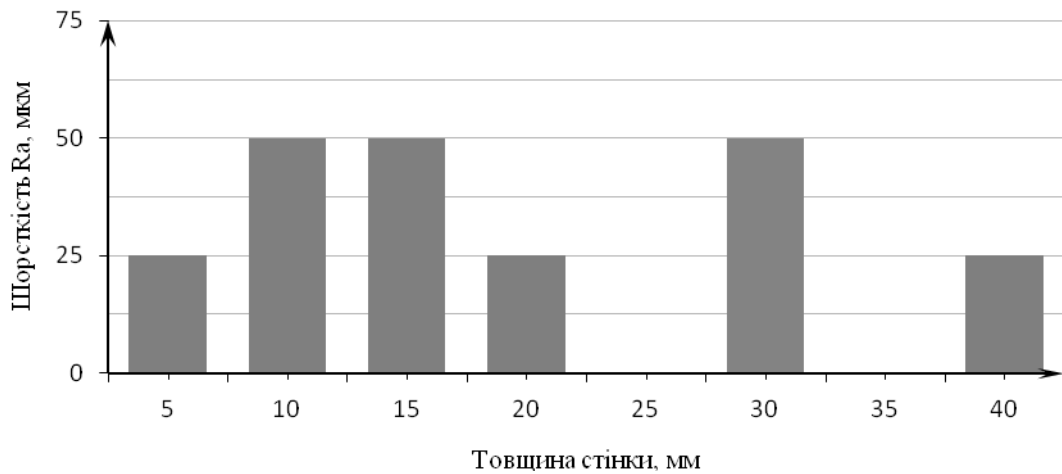


Рисунок 3.42 – Шорсткість поверхонь виливка, виготовленого із використанням стрижневої суміші №16

Ряд стрижневих сумішей продемонстрував можливість застосування їх без використання протипригарних покриттів. Решта утворюють пригар та потребують додаткових заходів для його попередження.

3.3 Вибиваємість стрижневих сумішей

Вибиваємість визначали на спеціальній установці на базі лабораторного копра. Після випробування визначали роботу вибивання у Джоулях (один удар копра дорівнює 3 Дж), результати представлено на рис. 3.43 і 3.44.

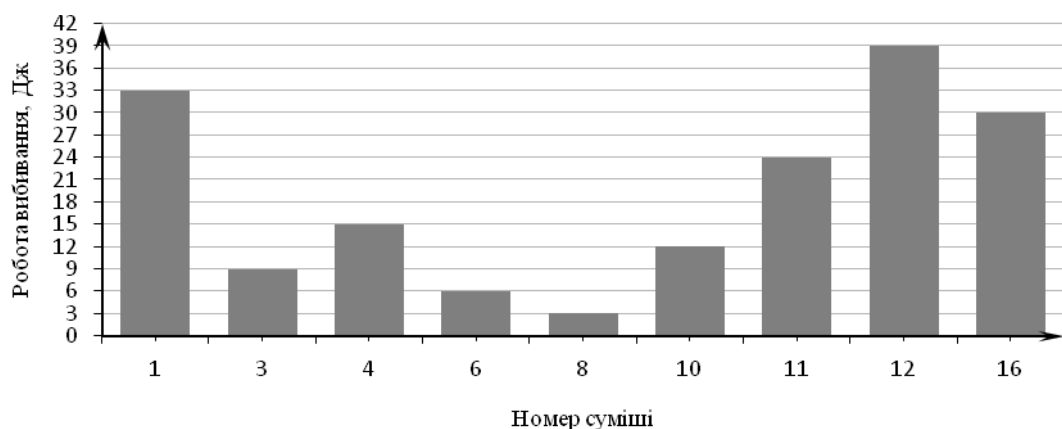


Рисунок 3.43 – Робота вибивання зразків сумішей, що відносно легко вибиваються

Усі суміші умовно поділили на ті, що вибиваються відносно легко (робота вибивання не перевищує 50 Дж, як аналог піщано-глинястої суміші, вибиваємість якої вважають середньою, але задовільною), та такі, що важко вибиваються.

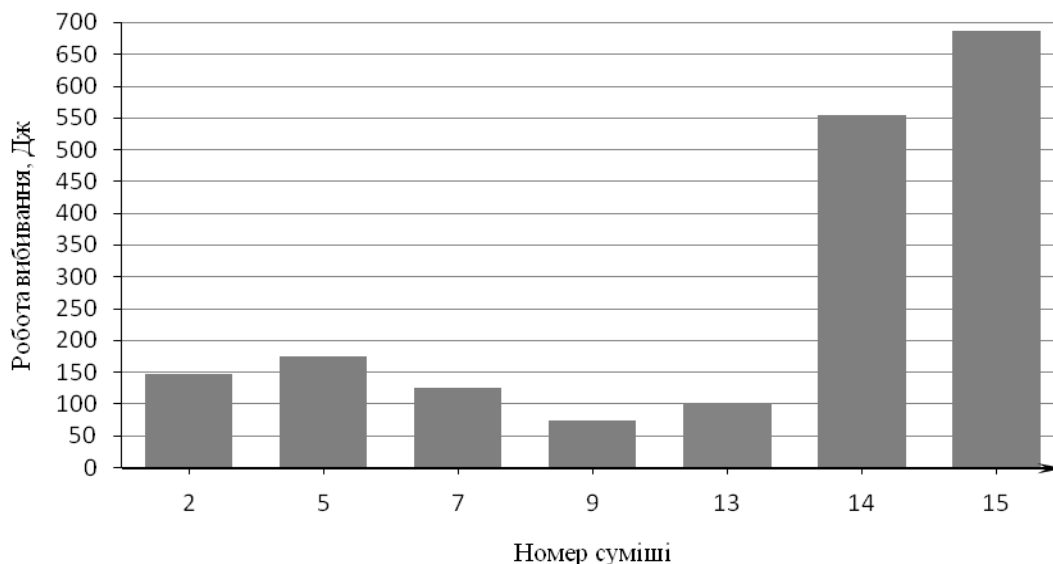


Рисунок 3.44 – Робота вибивання зразків сумішей, що відносно важко вибиваються

Як встановлено раніше, з метою вилучення деяких стрижнів із внутрішніх порожнин виливків можна застосувати занурення виливків у воду. Водорозчинні ЗК, якими переважно являється фосфати натрію та калію, мають сприяти легкому вибиванню стрижнів, що і було встановлено попередньо.

В цілому, робота вибивання сумішей, навіть представлених на рис. 3.44, значно менша за суміші з рідким склом.

3.4 Гігроскопічність стрижневих сумішей

В результаті попередньої підготовки стрижнів до складання і заливання форм встановлено зниження їх міцності після витримки в атмосфері лабораторії від 24 до 72 год. Це зниження міцності візуально зумовлено насиченням стрижнів вологою, тобто властивістю гігроскопічності.

Особливо негативному впливу атмосферного повітря піддаються суміші № 9, 11, 12, 13, 14, 15, 16. Меншою мірою схильні до знеміцнення під час вистоявання стрижні із сумішей №№ 1, 2, 5, 7, 8. Візуально не гігроскопічні стрижні із сумішей №№ 3 і 6.

Визначення гігроскопічності проведено за стандартною методикою, результати представлено у табл. 3.19 і на рис. 3.45.

Таблиця 3.19 – Результати випробування на гігроскопічність стрижневих сумішей

Індекс суміші	Маса разка, г		Гігроскопічність, %
	до випробування	після випробування	
1	2	3	4
1	460,93	462,03	0,24
2	107,89	108,16	0,25
3	209,57	210,03	0,22
4	81,72	82,13	0,50
5	530,08	532,09	0,38
6	343,26	343,45	0,06
7	341,66	343,18	0,44
8	27,50	27,72	0,80
9	124,03	125,07	0,84
10	6,17	6,19	0,32
11	93,11	93,70	0,63
12	63,59	64,12	0,83
13	474,02	475,75	0,36
14	70,06	70,41	0,50
15	81,02	81,68	0,81
16	230,29	231,16	0,38

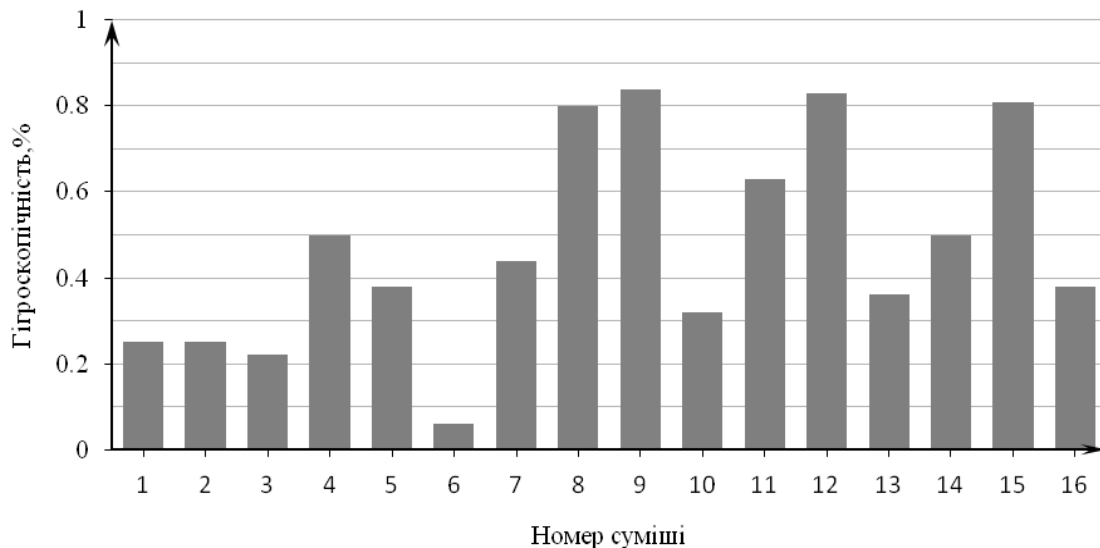


Рисунок 3.45 – Гігроскопічність сумішей

Результати повною мірою узгоджуються із візуальним контролем стрижнів перед заливанням. Усі суміші, які брали участь в експерименті, не перевищують максимально допустимої межі (1,0%). Проте очевидно, що уже 0,5% і більше гігроскопічності призводить до значних технологічних ускладнень. Насичення вологою не тільки збільшує небезпеку утворення пригару і газових дефектів у виливках, а й значною мірою знижує міцність стрижнів.

Для усунення цього негативного ефекту в результаті експериментів встановлено необхідність підігрівання стрижнів, які мають підвищену гігроскопічність, перед встановленням у форму до температури, за якої цей стрижень було попередньо виготовлено. З іншого боку, на виробництві виготовлення стрижня і складання форми відбувається послідовно в один і той же день, тому негативний вплив гігроскопічності має бути мінімальним.

3.5 Висновки

Стрижнева суміш № 1 за умови використання ЗК у вигляді розчину сульфату алюмінію в ортофосфорній кислоті забезпечує низьку шорсткість поверхні, яка знаходиться в межах 25...50 мкм. Переважає значення

шорсткості 50 мкм. Пригар відсутній, тому що в ЗК немає таких сполук які сприяють окисленню поверхні сплаву. (очевидно сульфат алюмінію повною мірою перетворюється на фосфат). Стрижень вибивається досить легко (робота вибивання < 50 Дж). Суміш відносно не гігроскопічна, знеміцнюється під впливом атмосферного повітря не значною мірою, адже утворені у ній фосфати алюмінію не є водорозчинними або гігроскопічними.

Стрижнева суміш № 2 також забезпечує низьку шорсткість в межах 25...50 мкм, але при товщині стінки вилівка більше 30 мм спостерігається пригар і шорсткість збільшується до 100 мкм. Це зумовлено наявністю сполук Na, які створюють окислювальну атмосферу на межі з металевим розплавом. Після кристалізації металу ЗК зберігає свої зв'язувальні властивості, що погано впливає на вибиваємість. Робота вибивання даної суміш 147 Дж. Проте стрижень можна розчинити у воді (після витримки у воді значно полегшується робота вибивання), тому що фосфатинатріюводорозчинні. Суміш відносно не гігроскопічна, незначною мірою знеміцнюється під впливом атмосферного повітря.

Стрижнева суміш № 3 дає змогу отримувати поверхні з низькою шорсткістю 25...50 мкм. У цій суміші міститься метафосфат натрію, який має низьку температуру плавлення (близько 500 °C), створює захисний шар на поверхні розплав-форма та забезпечує чисту поверхню без пригару. Стрижень, незважаючи на вміст легкоплавкого метафосфату натрію, легко вилучається з порожнини, робота вибивання 12 Дж. Суміш не гігроскопічна.

Дослідити суміш № 4 на наявність пригару не вийшло, оскільки виготовлений стрижень розвалився під час транспортування до сушильної камери через недостатні зв'язувальні властивості. Вибиваємість суміші задовільна, робота вибивання 12 Дж.

Стрижнева суміш № 5 дає змогу отримати поверхні шорсткістю 25...100 мкм. При товщині стінок вилівка 10...15 мм присутній пригар. Це зумовлено наявністю сполук Na, які можуть створювати окислювальну атмосферу на межі з розплавом. Зв'язувальний компонент не піддається

термодеструкції, оскільки являє собою неорганічну сіль натрію, тому вибиваємість є не задовільною. Стрижень зовсім не піддавався вибиванню, і тільки після замочування у воді змогли вилучити стрижень, внаслідок розчинності фосфатів натрію. Робота вибивання стандартного зразка 174 Дж. Суміш відносно не гігроскопічна, незначною мірою знеміцнюється під впливом атмосферного повітря.

Стрижнева суміш № 6 забезпечує найвищу якість поверхні (шорсткість 12,5...25 мкм). Пригар відсутній. Найкраща вибиваємість, робота вибивання 6 Дж. Суміш має найнижчу гігроскопічність 0,06 %. Комплекс властивостей зумовлено утворенням холоднотвердого ЗК (фосфату алюмінію), який не схильний до водопоглинення. Наявність залишкових часток алюмінієвої пудри створює відновлювальну атмосферу, що захищає вилівок від пригару.

Стрижнева суміш № 7 дає змогу отримати поверхні шорсткістю 25...100 мкм. При товщині стінок вилівка більше 10 мм присутній пригар, що обумовлено наявністю Na в ЗК. Суміш також зберігає високу міцність після кристалізації сплаву, оскільки неорганічні солі натрію не піддаються впливу високих температур. Тому вибиваємість є незадовільною, робота вибивання 126 Дж. Проте фосфати натрію піддаються вимиванню, а сама суміш майже не гігроскопічна.

Стрижнева суміш № 8 дає поверхні з переважною шорсткістю 25...50 мкм. Проте при товщині стінки понад 10 мм отримали шорсткість 200 мкм, що пов'язано з низькою розчинністю фосфату мангану у воді. Вибиваємість чудова, тому що ЗК під впливом високих температур піддається частковій деструкції (фізико-хімічні процеси у цій системі потрібно в подальшому установити). Проте установлено, що фосфати мангану є гігроскопічними, тому стрижні перед заливанням необхідно підсушувати.

Стрижнева суміш № 9 забезпечує шорсткість поверхонь в межах 50...100 мкм, але при товщині стінок більше 30 мм наявний пригар. При високих температурах та наявністю відновника (яким виступає Fe) пилоподібний оксид кремнію відновлюється та утворюються оксиди заліза.

Суміш має найбільшу гігроскопічність серед усіх досліджуваних матеріалів – 0,84%, стрижні перед заливанням необхідно підсушувати.

Вибиваємість стрижневої суміші № 10 дуже хороша: робота вибивання 12 Дж. У цій суміші ЗК представлено фосфатами магнію, які після заливання піддаються частковій деструкції або хімічним перетворенням, що позитивно впливає на роботу вибивання. Суміш відносно не гігроскопічна і підлягає подальшим дослідженням.

Стрижнева суміш № 11 дає змогу отримати поверхні шорсткістю 50 мкм, але при товщині стінки 30 мм і більше наявний пригар та шорсткість зростає до 100 мкм. Пригар утворюється через наявність фосфатів калію, які можуть вступати у фізико-хімічну взаємодію із металевим розплавом при високих температурах. Вибиваємість задовільна, робота вибивання 24 Дж. Гігроскопічність суміші задовільна.

Стрижнева суміш № 12 забезпечує поверхні шорсткістю 25...100 мкм, зі збільшенням товщини стінки технологічної проби спостерігаємо збільшення шорсткості., але пригар відсутній. Вибиваємість задовільна, оскільки ЗК (фосфат калію) частково втрачає свої властивості через вплив високих температур, тому робота вибивання 39 Дж. Суміш має досить високу гігроскопічність – 0,83 %.

Стрижнева суміш № 13 забезпечує підвищену шорсткість поверхонь 50...100 мкм, та наявний пригар, який зумовлено наявністю фосфатів лужного металу Na. Стрижень тяжко вибивається із вилівка, оскільки термічної деструкції ЗК не відбувається. Робота вибивання 99 Дж, але суміш відносно не гігроскопічна (це зумовлено високою температурою сушки стрижня 300 °С та відповідно утворенням менш гігроскопічних фосфатів натрію).

Стрижнева суміш № 14 дає змогу отримати литі поверхні з шорсткістю в межах 50...100 мкм. Стрижень майже не піддається вилученню через високу залишкову міцність, яку забезпечують фосфати натрію навіть після впливу високих температур. Очевидно, у цій суміші утворилися не тільки

прості, а й комплексні (в т. ч. полімерні фосфати) натрію. Робота вибивання дуже велика: 555 Дж. Суміш відносно не гігроскопічна, але значною мірою знеміцнюється під впливом атмосферного повітря, тому стрижні потребують або оперативного встановлення у порожнину форми, або підсушуванню перед заливанням при температурі 150 °С.

Стрижнева суміш № 15 створює підвищену шорсткість поверхонь 50...100 мкм, та наявний пригар при товщині стінки вилівка 15 мм і більше. Пригар утворюється через наявність сульфату лужноземельного металу Mg. Стрижень найважче вибивається серед усіх досліджуваних сумішей, навіть після замочування у воді вибивання потребує значних зусиль. Робота вибивання 687 Дж. Суміш має високу гігроскопічність – 0.81%, тому рекомендувати для виготовлення ливарних стрижнів її не можна.

Стрижнева суміш № 16 дає змогу отримати поверхні з шорсткістю в межах 25...50 мкм. Пригар відсутній. Вилучення стрижня легке, робота вибивання 30 Дж. Суміш має середню гігроскопічність – 0,38%, проте стрижень значною мірою втрачає міцність після витримки на повітрі. Наведений комплекс властивостей зумовлено утворенням ЗК у вигляді фосфату кобальту, але цей ЗК забезпечує незначну міцність і незадовільну стабільність стрижня в цілому.

4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Науково-технічна актуальність теми дослідження

В ливарному виробництві було зроблено багато досліджень органічних зв'язувальних компонентів (ЗК), проте властивості таких матеріалів не завжди відповідають сучасним вимогам. Такі суміші мають незадовільні екологічні, технологічні та економічні показники. Про неорганічні зв'язувальні системи відомо досить мало. Це є широкий лан для наукових досліджень, адже є дуже багато фосфатів металів I-III групи і їх властивості не встановлено.

Одною із важливих проблем стрижневих сумішей є вибиваємість, органічні ЗК під впливом високих температур виділяють токсичні газоподібні речовини, суміші на основі рідкого скла надзвичайно важко вилучаються із порожнини вилівка та не придатні для регенерації. Металофосфати при термодеструкції не видаляють шкідливих газів, більшість досліджуваних сумішей на основі цих матеріалів мали позитивну оцінку вибиваємість.

Метою дисертаційної роботи є визначення комплексу робочих властивостей: стійкості до пригару, вибиваємість, а також технологічної властивості – гігроскопічності стрижневих сумішей, які містять зв'язувальні компоненти металофосфатного типу.

4.2 Розрахунок витрат на проведення дослідження

4.2.1 Витрати на оплату праці

Витрати на оплату праці науково-дослідного персоналу розраховують на основі даних про трудомісткість окремих робіт по темі дослідження та посадових окладів безпосередніх їх виконавців.

Під час виконання магістерської дисертації було задіяно три виконавці: доцент, кандидат технічних наук, інженер-дослідник (магістр) та аспірант.

Так як відсутні методики розрахунку трудомісткості різних етапів виконання магістерської дисертації, їх значення встановлювали на базі експертних оцінок від провідних фахівців. Результати експертної оцінки трудомісткості етапів магістерської дисертації наведені в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Трудомісткість етапів магістерської дисертації

Макроетапи дисертації	Трудомісткість, людино – дні		
	доцент, к.т.н.	інженер- дослідник (аспірант)	інженер- дослідник (магістр)
1. Аналіз фахових публікацій за темою	6	12	18
2. Обґрунтування мети та напрямів	2	7	7
3. Розробка методики проведення досліджень	3	5	7
4. Виготовлення ливарних форм та стрижнів	-	3	14
5. Дослідження технологічних властивостей	-	6	12
6. Обговорення отриманих результатів	5	-	10
7. Обговорення висновків	5	-	5
Разом за виконавцями теми	21	33	73

Денну заробітну плату кожного з виконавців визначали як місячну заробітну плату, поділену на середню кількість днів у місяці, що при п'ятиденному робочому тижні становить 21,2 дні. Місячні посадові оклади заробітної плати співробітників кафедри ливарного виробництва чорних та кольорових металів Національного технічного університету України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» та величина денної заробітної плати виконавців роботи наведені в табл. 4.2.

Фонд заробітної плати (ФЗП) обчислюється як сума добутоків трудомісткості і денної заробітної плати кожного з виконавців:

$$\text{ФЗП} = 21 \cdot 568,49 + 73 \cdot 0 + 33 \cdot 287,55 = 21427,44 \text{ грн.}$$

Таблиця 4.2 – Розрахунок витрат на оплату праці

Посада виконавців теми	Планова трудомісткість, людино-днів	Заробітна плата, грн		
		посадовий місячний оклад	середньоденна зарплата	усього за виконавцями
доцент, кандидат технічних наук	21	12052,00	568,49	11938,29
інженер-дослідник (магістр)	73	-	-	-
інженер-дослідник (аспірант)	33	6096,00	287,55	9489,15
Разом оплата праці науково-дослідної роботи				21427,44

4.2.2 Єдиний соціальний внесок

Згідно з діючим законодавством України єдиний соціальний внесок є обов'язковим відрахуванням на загальнодержавне соціальне страхування і складає 22%. Базою для нарахування єдиного соціального внеску слугують загальні витрати на оплату праці по науково-дослідній роботі.

$$V_c = 0,22 \cdot 21427,44 = 4714,04 \text{ грн.}$$

4.2.3 Матеріали, необхідні для проведення досліджень

Для виготовлення стрижневих сумішей використовували різноманітні хімічні матеріали та реагенти. Дані про вартість використовуваних матеріалів та загальні витрати на матеріали V_M наведено в табл. 4.3.

Таблиця 4.3 – Вартість основних матеріалів

Найменування	Одиниці вимірювання	Кількість	Ціна, грн	Сума, грн
1	2	3	4	5
Сульфат алюмінію технічний 18-водний	кг	0,250	5,90	1,48
Натрій триполіфосфат технічний	кг	0,250	40,00	10,00
Натрій гексаметафосфат	кг	0,100	50,00	5,00
Кальцій фосфорнокислий тризаміщений	кг	0,150	57,00	8,55
Натрій алюмінієвокислий	кг	0,150	140,00	21,00
Пудра алюмінієва пігментна	кг	0,050	160,00	8,00
Натрій азотистоокислий	кг	0,050	39,00	1,95
Манган сірчаноокислий 5-водний	кг	0,150	22,00	3,30
Пилоподібний кварц марки КП1	кг	0,100	2,50	0,25
Магній хлорид 5-водний	кг	0,050	50,00	2,50
Калій хлорид технічний	кг	0,050	11,00	0,55
Калій бромід технічний	кг	0,050	240,00	12,00
Натрій хлорид технічний	кг	0,100	15,00	1,50
Натрій карбонат технічний	кг	0,100	10,50	1,05
Магній сульфат 7-водний технічний	кг	0,100	5,90	0,59
Кобальт сірчаноокислий 7-водний	кг	0,100	346,00	34,60
Ортофосфатна кислота	л	2	42,00	84,00
Кварцовий пісок	кг	45	0,52	23,40
Загальні витрати на матеріали (V_M)				219,72

4.2.4 Витрати на енергоносії

В процесі виконання науково-дослідної роботи, для забезпечення розплавлення чавуну у індукційній печі підвищеної частоти було використано 1214 кВт електроенергії, вартість якої становить 204,137 коп./кВт·год.

$$V_{\text{ЕН}} = 204,137 \cdot 1214 = 2478822 \text{ коп.} = 2478,22 \text{ грн.}$$

4.2.5 Витрати на спеціальне обладнання

При виконанні магістерської дисертації усі роботи проводили лише звикористанням наявного обладнання на кафедрі ливарного виробництва КПІ ім. Ігоря Сікорського. Витрати на утримання та експлуатацію обладнання відносимо до статті «Накладні витрати».

4.2.6 Вартість послуг сторонніх організацій

У виконанні даної магістерської дисертації сторонні організації участі не приймали.

4.2.7 Витрати на службові відрядження

Усі роботи, пов'язані з виконанням магістерської дисертації за даною темою, проведені на кафедрі ливарного виробництва КПІ ім. Ігоря Сікорського. Окремі службові відрядження не планувались.

4.2.8 Інші невраховані прямі витрати

Інші невраховані прямі витрати ($C_{\text{ІНШ}}$) плануємо у розмірі 10% від врахованих:

$$V_{\text{ІНШ}} = 0,1 \cdot (21427,44 + 4714,04 + 2478,22 + 219,72) = 2883,94 \text{ грн.}$$

4.2.9 Накладні витрати

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.

Ця стаття включає витрати, пов'язані з управлінням організацією-виконавцем теми, витрати на винахідництво і раціоналізацію; витрати на амортизацію основних фондів; витрати на науково-технічну інформацію; витрати на забезпечення нормальних умов праці і техніки безпеки; витрати на оплату послуг банків; податки, збори та інші обов'язкові платежі і витрати тощо.

Норматив відрахувань на накладні витрати на кафедрі ливарного виробництва КПІ ім. Ігоря Сікорського встановлений в розмірі 20% планової суми прямих витрат по темі магістерської дисертації:

$$НВ = 0,2 \cdot (21427,44 + 4714,04 + 2478,22 + 219,72 + 2883,94) = 6344,67 \text{ грн.}$$

4.2.10 Розроблення планової калькуляції кошторисної вартості теми

Планова кошторисна вартість магістерської дисертації визначається як сума витрат за окремими статтями вартості. Результати визначення вартості наведені у табл. 4.4.

Таблиця 4.4 – Калькуляція планової кошторисної вартості магістерської дисертації за темою

Найменування статей витрат	Позначення	Сума	
		грн.	%
1	2	3	4
1.Витрати на оплату праці	ФЗП	21427,44	56,3
2.Єдиний соціальний внесок	В _С	4714,04	12,4
3.Матеріали для проведення досліджень	В _М	219,72	0,6

Продовження таблиці 4.4

1	2	3	4
---	---	---	---

4.Енергоносії для проведення досліджень	$V_{ЕН}$	2478,22	6,5
5.Спецобладнання для наукових цілей	–	–	–
6.Вартість послуг сторонніх організацій	–	–	–
7.Витрати на службові відрядження	–	–	–
8.Інші невраховані прямі витрати по темі	$V_{ІНШ}$	2883,94	7,6
9.Накладні витрати	НВ	6344,67	16,7
10.Кошторисна вартість теми		38068,03	100

4.3 Визначення очікуваних результатів магістерської дисертації та розрахунок показників економічної ефективності

Дослідження, що проводиться в даній роботі, має пошуковий та теоретичний характер, а отже розрахунок очікуваного річного економічного ефекту досить складний, оскільки відсутні повні дані відносно сфери використання результатів роботи, а також вихідні дані для розрахунку одночасних та поточних витрат. У зв'язку з цим доцільно використовувати бальну систему оцінки економічної ефективності за наступними показниками:

- важливість розробки (К1);
- можливість використання результатів розробки (К2);
- теоретичне значення та рівень новизни (К3);
- складність розробки (К4).

Шкала для оцінки важливості розробки К1:

1. Ініціативна робота, яка не є, а ні частиною комплексної програми, а ні завданням директивних органів – 1;
2. Робота, яка виконується за договором про науково-технічні допомоги – 3;
3. Робота представляє собою частину відомчої програми – 5;
4. Робота представляє собою частину відомчої комплексної програми – 7;

8. 5. Робота виконується як частина міжнародної комплексної програми –

Приймаємо показник важливості розробки $K1 = 1$.

Шкала для оцінки можливості використання результатів розробки $K2$:

1. Результати розробок можуть бути використані в даному підрозділі – 1;
2. Результати розробки можуть бути використані в даній організації – 3;
3. Результати розробки можуть бути використані в багатьох організаціях – 5;
4. Результати розробки можуть бути використані в масштабах галузі – 8;
5. Результати розробки можуть бути використані в багатьох різноманітних галузях – 10.

Приймаємо показник $K2 = 8$.

Шкала для оцінки теоретичної значимості і рівня нововведення $K3$:

1. Аналіз узагальнення і класифікація відомої інформації, подібні результати були відомі в досліджуваній області – 2;
2. Одержання нової інформації, що доповнить подання про суттєвість досліджуваних процесів, не відомої в дослідницькій області – 3;
3. Одержання нової інформації, яка частково міняє уявлення про суттєвість дослідження процесів, не відомих раніше – 5;
4. Створення нових теорій, методик і т. п. – 6;
5. Одержання інформації, яка служить формуванню нових напрямків – 8.

Приймаємо показник $K3 = 5$.

Шкала для оцінки показників складності дослідження $K4$:

1. Робота виконується одним підрозділом, витрати менше 20 тис.грн. – 1;
2. Робота виконується одним підрозділом, витрати 20...100 тис.грн. – 3;
3. Робота виконується одним підрозділом, витрати 100...200 тис.грн. – 5;

4. Робота виконується з урахуванням багатьох підрозділів, витрати від 200 тис.грн. до 1 млн.грн. – 7;

5. Робота виконується декількома організаціями, витрати понад 1млн.грн. – 9.

Приймаємо показник $K4 = 3$.

Загальна оцінка B визначається як добуток коефіцієнтів :

$$B = 1 \cdot 8 \cdot 5 \cdot 3 = 120$$

Умовний річний економічний ефект науково-дослідної роботи визначається за формулою:

$$\epsilon_{\text{ндр}} = 500 \cdot B \cdot EN \cdot V_{\text{ндр}}, \quad (4.1)$$

де 500 – умовна вартість одного балу;

EN – нормативний коефіцієнт економічної ефективності, $EN = 0,15 \div 0,5$;

$V_{\text{ндр}}$ – витрати на виконання магістерської дисертації (планова річна кошторисна вартість виконання магістерської дисертації).

$V_{\text{ндр}} = 32499,9$ грн..

Таким чином, умовний економічний ефект становить:

$$\epsilon_{\text{ндр}} = 500 \cdot 120 \cdot 0,40 \cdot 38068,03 = 44772,79 \text{ грн.}$$

Економічна ефективність магістерської дисертації визначається коефіцієнтом ефективності $EN_{\text{ндр}}$, який характеризує частку загального ефекту від розробки на умовну одиницю витрат:

$$EN_{\text{ндр}} = \epsilon_{\text{ндр}} / V_{\text{ндр}}. \quad (4.2)$$

Підставивши значення у формулу (4.2) знайдемо коефіцієнт економічної ефективності:

$$E_{\text{ндр}} = 44772,79 / 38068,98 = 1,18.$$

Отже, судячи з розрахованого коефіцієнта, виконання даної магістерської дисертації є економічно обґрунтованим.

4.4 Висновки до розділу 4

1. Розраховано планову кошторисну вартість проведення магістерської дисертації з урахуванням всіх видів витрачених ресурсів.

2. Обґрунтовано актуальність та економічну доцільність проведення роботи.

5 СТАРТАП-ПРОЕКТ

5.1 Команда

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Інженерно-фізичний факультет. Кафедра ливарного виробництва чорних і кольорових металів.

Лідер команди:

Лютий Р.В. (к.т.н., доц.)

Генератор ідей:

Лютий Р.В. (к.т.н., доц.)

Виконавці:

Згоранець О. В. (студент)

5.2 Назва проекту

«Екологічний зв'язувальний матеріал» .

5.3 Короткий опис проекту

Досліджено технологічні властивості сумішей з метало фосфатними зв'язувальними компонентами. Розроблені суміші вирішують проблему вибиваємості стрижневих сумішей на силікатному склі та токсичності сумішей на основі органічних зв'язувальних компонентів. Ці суміші є дешевшими чим суміші на основі синтетичних смол.

За видом проект відноситься до проектів «новий продукт на існуючий ринок». Споживчий сегмент – B2B.

5.4 Бізнес-модель

5.4.1 Цінний продукт

Виготовлення виливків із складними стрижнями, які повинні легко вилучатися із форми.

5.4.2 Сегмент споживачів

Споживачі ринку ливарні підприємства, які виготовляють виливки з невеликими стрижнями.

5.4.3 Канали збуту

Використовуються прямі канали збуту. Безпосередній контакт з потенційними покупцями через візити на підприємства та презентації товару. Контакт через тематичні та галузеві виставки та конференції. Збут через інтернет-ресурси (інтернет-магазин), послуги компаній перевізників.

5.4.4 Взаємодія з споживачами

Підтримка інформаційних інтернет-ресурсів: сайт проекту, блог новин проекту, інтернет-магазин, пошукова оптимізація, реклама на інших сайтах і

вебсторінках, використання безкоштовних дошок оголошень, банерна реклама, реклама через соціальні мережі. Підтримка клієнтів через E-mail/сайт. Застосування «програми лояльності» до клієнтів (гарантійні зобов'язання).

5.4.5 Дохід (монетизація)

Отримання доходу з продажу технології приготування стрижневих сумішей та зв'язувальних компонентів.

5.4.6 Ключові види діяльності

Виробництво виробів. Наукова діяльність. Маркетингова діяльність.

5.4.7 Ключові ресурси

Матеріальні – зв'язувальні компоненти сумішей, на наукові – технологія синтезу та приготування даних сумішей. Технологія виробництва. Охоронні документи (патенти). Науково-технічні працівники.

5.4.8 Ключові партнери

Виробнича база ливарна лабораторія кафедри ливарного виробництва чорних та кольорових металів. Партнери з надання логістичних та маркетингових послуг: оптимізація та просування сайтів «Інста Плюс», «DELPOST». Постачальники сировини та енергоресурсів для виробництва: хімічні підприємства що виробляють фосфати для побутової хімії.

5.4.9 Витрати

Витрати на оренду промислових потужностей. Витрати на ресурсозабезпечення, логістику, маркетинг, підтримку інтернет-ресурсів.

5.5 Споживчі властивості товару

Стрижні , виготовлені з стрижневих сумішей мають високі міцнісні характеристики, забезпечують хорошу якість поверхні та легко вилучаються із порожнини вилівки. Дані технології дають змогу знизити вартість продукції завдяки помірній ціні зв'язувальних компонентів, відсутністю складного технологічного оснащення, оскільки суміші не утворюють токсичних речовин на відміну від фенол-формальдегідних, фуранових та поліефірних смол.

5.6 Дослідження ринку

За результатами аналізу аналогічної продукції не існує.

5.7 Дослідження конкурентного оточення

Ймовірних конкурентів на ринку в Україні та світу немає.

5.8 Маркетингова стратегія просування

Маркетингова стратегія просування проекту складатиметься з:

- просування проекту тематичних виставках та конференціях;
- проведення презентацій для потенційних покупців;
- зустрічей безпосередньо на підприємствах, які користуються запропонованою продукцією та проведення демонстрацій;
- поступовим опануванням ринку України та виходом на міжнародний ринок.

5.9 Елементи фінансового плану

5.9.1 Опис бізнес-проекту

Мета проекту – отримання прибутку шляхом продажу складу сумішей та зв'язувальних компонентів. Актуальність проекту – оскільки не існує подібних зв'язувальних.

5.9.2 Опис товару/послуги/технології

Товаром зв'язувальні компоненти та технологія приготування сумішей, що не має аналогів на Українському ринку та задовольняє всі технологічні особливості процесу.

5.9.3 Маркетинг та продаж

Цільовий сегмент – B2B. Підприємства ліварного виробництва. Маркетингова стратегія просування проекту на початкових етапах включає в себе:

- участь у галузевих виставках та конференціях;
- проведення презентацій для потенційних покупців.

Для продажу застосовуються прямі канали збуту:

- безпосередній контакт з потенційними покупцями;
- збут через інтернет-ресурси.

5.9.4 Фінансовий план

На поточному етапі існування проекту фінансовий план у необхідному обсязі не прораховувався. Однак, розраховано, що заплановані інвестиції для впровадження у виробництво та виробництва готових виробів в межах одного підприємства виробника становлять:

- оренда промислової потужності: 2000 \$
- відпрацювання технології в умовах виробництва: 200 \$
- ресурсозабезпечення: 8000 \$

– затрати на логістику, маркетинг, з/п: 3000 \$

Поточна ситуація по проекту:

- в наявності є дослідні зразки;
- перші зразки впроваджені у виробництво.

5.9.5 Резюме

Проект призначений для вирішення наступних проблем:

- екологічності у сфері побутової хімії і ливарного виробництва;
- вибиваємості невеликих стрижнів.

Заплановані інвестиції для впровадження у виробництво на одному підприємстві становлять 13200 \$.

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

6.1 Організаційні питання охорони праці

Охорона праці – система правових, соціально-економічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів, спрямованих на збереження здоров'я і працездатності людини в процесі праці[27].

Головною метою охорони праці є створення на кожному робочому місці безпечних умов праці, безпечної експлуатації обладнання, зменшення або повна нейтралізація дії шкідливих і небезпечних виробничих факторів на організм людини і, як наслідок, зниження виробничого травматизму та професійних захворювань.

Основні положення щодо охорони праці наведені в Законі України «Про охорону праці».

Отже, метою цього розділу є аналіз небезпечних та шкідливих факторів, при яких виникає небезпека ураження організму, умов, що можуть привести до травмування в процесі дослідження стрижневих сумішей, а також розробка заходів спрямованих на усунення цих факторів та безпеку у надзвичайних ситуаціях.

Експериментальна частина магістерської дисертації виконувалась в лабораторії кафедри ливарного виробництва чорних та кольорових металів КПІ ім. Ігоря Сікорського.

6.2 Фактори впливу на організм людини

Для забезпечення оптимального мікроклімату «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень» ДСН 3.3.6.042-99 встановлюють оптимальні і допустимі температуру, відносну вологість та швидкість руху повітря в лабораторії в залежності від пори року та категорії важкості робіт [28].

Згідно за ДСН 3.3.6.042-99, роботи за ступенем важкості відносять до середньої II б (роботи, що виконуються стоячи, пов'язані із ходінням, переміщенням невеликих (до 10 кг) вантажів, та супроводжуються помірним фізичним напруженням).

Оптимальні та допустимі величини температури, вологості та швидкості руху повітря наведені в табл. 7.1, що регламентується ДСН 3.3.6.042-99.

Таблиця 6.1 – Оптимальні та допустимі величини температури, вологості та швидкості руху повітря

Період року	Категорія робіт	Температура, °С		Відносна вологість, %		Швидкість руху повітря, м/с	
		факт	допуст.	факт	допуст.	факт	допуст.
Холодний	II б	17...19	15...21	40...60	70	0,3	0,4

Теплий		20...22	15...27	40...60	75	0,2	0,2...0,5
--------	--	---------	---------	---------	----	-----	-----------

Значення параметрів мікроклімату суттєво впливають на самопочуття та працездатність людини і, як наслідок цього, рівень травматизму. Тривала дія високої температури повітря при одночасно підвищеній вологості призводить до підвищення температури тіла людини до 38...40 °С, внаслідок чого це призводить до фізіологічних порушень в організмі людини таких як: зміни у серцево-судинній системі, обміну речовин, зміни функцій внутрішніх органів, системі дихання, порушення центральної та периферичної нервових систем.

Відповідно до санітарних норм ДСН 3.3.6.042-99 в лабораторії мікроклімат відповідає санітарним нормам.

Залежно від джерела світла виробниче освітлення може бути: природним, що створюється прямими сонячними променями; штучним, що створюється електричними джерелами світла, та суміщеним, при якому недостатнє за нормами природне освітлення доповнюється штучним.

Природне і штучне освітлення в приміщеннях регламентується нормами ДБН В.2.5.28-2006 від характеристики зорової роботи, найменшого розміру об'єкта розрізнення, розряду зорової роботи (I-VIII), системи освітлення, характеристики фону, контрасту об'єкта розрізнення з фоном.

Природне освітлення поділяється на: бокове (одно - або двостороннє), що здійснюється через світлові отвори (вікна) в зовнішніх стінах; верхнє - через ліхтарі та отвори в дахах і перекриттях; комбіноване - поєднання верхнього та бокового освітлення.

У лабораторії здійснюється природне бокове освітлення (вікна з північного боку). Зовнішнє освітлення при небі вкритому хмарами 10000 лк. Відстань до місця основної роботи складає 5 м. Виконувати роботу можна віднести до роботи високої точності (восьмий розряд зорових робіт), так як зразки не перевищують декількох міліметрів (3 мм – 5 мм).

В лабораторії використовується система суміщеного освітлення – освітлення, при якому в світлий час доби використовується природне та штучне освітлення. При цьому, недостатнє, за умовами зорової роботи, природне освітлення доповнюється штучним, яке задовольняє ДБН В.2.5.28 - 2006 [29].

Устаткування, яке встановлено у відділенні, являється джерелом шуму.

Шум – це сукупність звуків різноманітної частоти та інтенсивності, що виникають в результаті ковалентного руху частинок у пружному середовищі.

У відповідності до ДСН 3.3.6.037-99, максимально припустимий рівень шуму у лабораторних приміщеннях 30 дБ. Джерелом найбільшого шуму є котковий змішувач.

Шум призводить до захворювань органів слуху, нервової і серцево-судинної систем, тому все встановлене обладнання має відповідати вимогам до шумових характеристик згідно ГОСТ 12.1.003-83.

Електробезпека – це система організаційних і технічних заходів і засобів, які забезпечують захист людей від шкідливої і небезпечної дії електричного струму, електричної дуги, електромагнітного поля і статичної електрики [30].

Джерелами ураження електричним струмом є електричні установки. Електричні травми можуть причинити наступні фактори: 1) невідповідність електроустановок, засобів захисту і приладів вимогам безпеки; 2) невиконання технічних заходів безпеки; 3) організаційно-соціальні причини.

Як безпосередні причини потрапляння працівників під напругу виділяють: 1) дотик до неізольованих струмопровідних частин електроустановок, які знаходяться під напругою, або до ізольованих при фактично пошкодженій ізоляції – 55%; 2) дотик до неструмопровідних частин електроустановок або до електрично зв'язаних з ними металоконструкцій, які опинились під напругою в результаті пошкодження ізоляції – 23%; 3) дія напруги кроку – 2,5%; 4) ураження через електричну дугу – 1,2%; 5) інші причини – менше 20% [31].

Безпека експлуатації при нормальному режимі роботи електроустановок забезпечується наступними захисними заходами: застосуванням ізоляції, недоступністю струмопровідних частин, застосуванням малих напруг, захисним заземленням і використанням електрозахисних засобів.

Основні причини виникнення пожежі в лабораторії – загорання електропроводки, використання легкозаймистих речовин, наявність відкритого джерела вогню.

6.3 Забезпечення безпеки та запобігання надзвичайним ситуаціям

Запобігання виникненню надзвичайних ситуацій – це підготовка та реалізація комплексу правових, соціально-економічних, політичних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних та інших заходів, спрямованих на регулювання безпеки, проведення оцінки рівнів ризику, завчасне реагування на загрозу виникнення надзвичайної ситуації на основі даних моніторингу (спостережень), експертизи, досліджень та прогнозів щодо можливого перебігу подій з метою недопущення їх переростання у надзвичайну ситуацію або пом'якшення її можливих наслідків. Зазначені функції запобігання надзвичайним ситуаціям техногенного та природного характеру в нашій країні виконує Єдина державна система запобігання і реагування на надзвичайні ситуації техногенного і природного характеру, затверджена Постановою Кабінету Міністрів України від 3 серпня 1998 р. № 1198 [32].

6.4 Висновки до розділу 6

В даній роботі проведено аналіз шкідливих та небезпечних факторів, які передбачають умови, при яких може виникнути небезпека ураження організму. Запропоновано заходи для уникнення травмування.

Отже, на основі вище зазначеного можна зробити висновок, що мікроклімат, організація робочого місця, освітлення в лабораторії відповідають вимогам санітарних норм. А рівень шуму, вібрацій та випромінювання не перевищує допустимих норм.

ВИСНОВКИ

1. Вперше експериментально досліджено робочі властивості стрижневих сумішей із металофосфатними зв'язувальними компонентами, які синтезовано із ортофосфатної кислоти і неорганічних солей Na, K, Ca, Mg, Mn, Si, Al, Co.

2. За результатами дослідження стійкості до фізико-хімічної взаємодії з розплавом установлено наступне:

- стрижневі суміші № 3, 6, 8, 12, 14, 16 при товщині стінок виливків із нелегованих залізовуглецевих сплавів від 5 мм до 40 мм включно не утворюють пригар, оскільки при взаємодії з розплавом утворюють нейтральну або відновлювальну атмосферу, основними ЗК цих сумішей є фосфати Mn, Al, Co. До цієї групи також відноситься суміш № 1 за умови відсутності в її складі залишкового сульфату алюмінію, що може бути забезпечено оптимальним компонентним складом;

- суміші № 2, 9, 11 забезпечують чисті поверхні без пригару при товщині стінки до 30 мм. За більшої товщини стінок вилівка стрижень потребує використання протипригарного покриття. Зв'язувальну функцію в цих сумішах виконують фосфати Na, Ca, Mg, Si.

- стрижневі суміші № 5, 7, 13 мають велику схильність до окиснення поверхні виливків навіть за найменшої товщини стінки, що призводить до утворення пригару. Це обумовлено наявністю фосфатів лужних металів Na або K, а також залишкової кількості інших неорганічних солей цих металів, які є відомими окиснювачами. Використання цих сумішей для виготовлення стрижнів потребує обов'язкового нанесення протипригарних покриттів.

3. За результатами дослідження вибиваємості експериментальних сумішей виявлено такі закономірності:

- більшість сумішей, ЗК у яких представлено фосфатами Na, є термостійкими, що призводить до значної роботи вибивання стрижнів із виливків. Тільки суміш із гексаметафосфатом натрію $(\text{NaPO}_3)_6$ має відносно легку вибиваємість, оскільки цей ЗК має невисоку температуру плавлення (608°C) і після нагрівання до цієї температури втрачає свої зв'язувальні властивості;
- фосфати K, синтезовані з хлориду калію чи броміду калію, утворюють суміші з відносно легкою вибиваємістю, що зумовлено незначною термічною стійкістю фосфатів калію;
- вибиваємість сумішей з ортофосфорною кислотою і солями магнію значною мірою залежить від умов синтезу ЗК. У суміші з хлоридом магнію утворюється повноцінний фосфат, тому суміш легко вибивається. Залишкова міцність суміші із ЗК, який синтезовано з сульфату магнію, є надзвичайно високою. Причиною цього є неповне перетворення сульфату на фосфат магнію або ж повна відсутність цього перетворення;
- фосфати Mn після термічного удару втрачають свої зв'язувальні властивості, тому суміші на основі цього ЗК легко вилучаються із порожнини виливка;
- стрижневі суміші на основі фосфатів Si мають значно гіршу вибиваємість за суміші із фосфатами K, Ca, Mn, Al, Co, але кращу, ніж із фосфатами Na та Mg.
- суміші із фосфатами Al або фосфосульфатами Al легко вибиваються., і робота вибивання тим менша, чим більшим є відносний вміст сульфату алюмінію;

- стрижнева суміші на основі фосфатів Со має позитивну оцінку вибиваємості.

4. За результатами дослідження сумішей на гігроскопічність їх охарактеризовано наступним чином:

- такі ЗК як триполіфосфат та гексаметафосфат натрію є мінімально гігроскопічними, і тому вони забезпечують мінімальну схильність сумішей до водопоглинання ($< 0,26\%$). Фосфати Na, синтезовані із сполук NaCl, NaCO₃, NaNO₂ забезпечують гігроскопічність у межах 0,36...0,50%, оскільки ці ЗК являють собою солі із порівняно кращою водорозчинністю;

- фосфати K, Si, Mg, Mn забезпечують підвищені показники гігроскопічності ($> 0,62\%$), так само як і фосфати Ca (0,50%).

- найменшу здатність до поглинання вологи мають суміші з фосфатами алюмінію.

5. Порівнявши суміші за усім комплексом робочих властивостей (гігроскопічність, пригаростійкість, вибиваємість), можна встановити (табл. 3.XX), що:

- стрижневі суміші № 1, 3, 6 рекомендуються для застосування у ливарному виробництві в першу чергу, оскільки вони мінімально гігроскопічні, стійкі до утворення пригару, стрижні легко вибиваються із виливків та забезпечують низьку шорсткість литих поверхонь (≤ 50 мкм);

- суміші № 2, 8, 10, 12, 14 придатні для виготовлення стрижнів, проте необхідно буде проводити додаткові маніпуляції (фарбування протипригарною фарбою, замочування виливків у воді для вимивання стрижневої суміші) у зв'язку з схильністю до утворення пригару та надлишковою міцністю після заливання форми розплавом. Суміш №16 із фосфатом кобальту має низьку міцність та високу вартість компонентів, з огляду на це її застосування не рекомендовано;

- суміші № 5, 7, 9, 11, 13, 15 мають невисокий комплекс необхідних властивостей, але при цьому забезпечують процес виготовлення якісних виливків за певних технологічних умов. Вони можуть бути рекомендовані до обмеженого використання після доопрацювання компонентного складу та визначення оптимальних протипригарних покриттів.

Таблиця 7.1 – Порівняльна характеристика сумішей

№ суміші	Гігроскопічність, %		Пригаростійкість		Робота вибивання, Дж		Загальна оцінка
	≤0,50	≥0,51	при будь-якій товщині стінки	при певних товщинах	≤ 50	≥51	
1	2	3	4	5	6	7	8
1	+		+		+		Відмінно
2	+			+		+	Добре
3	+		+		+		Відмінно
4	+		не виготовлено стрижень (низька міцність)		+		Незадовільно
5	+			+		+	Задовільно
6	+		+		+		Відмінно
7	+			+		+	Задовільно
8		+	+		+		Добре
9		+		+		+	Задовільно
10	+				+		Добре
11		+		+	+		Задовільно
12		+	+		+		Добре
13	+			+		+	Задовільно
14	+		+			+	Добре
15		+		+		+	Задовільно
16	+		+		+		Добре

6. Проведено техніко-економічний аналіз дисертаційної роботи та розрахунок очікуваної вартості розроблених стрижневих сумішей. Установлено, що їх впровадження у ливарне виробництво забезпечить економічний ефект, а компоненти, які входять до їхнього складу, є екологічно безпечними, доступними та недефіцитними. Вказані фактори забезпечать покращення санітарно-гігієнічних умов праці у ливарних цехах.

7. За результатами досліджень сформовано стартап-проект «Екологічний зв'язувальний матеріал для ливарного виробництва», у якому представлено суміш № 2 (із триполіфосфатом натрію). Проект було відібрано до фіналу конкурсу «SikorskyChallenge 2020».

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Дорошенко С.П. Формовочные материалы и смеси./ С.П. Дорошенко, В.П. Авдокушин, К. Русин, И. Мацашек // – К.: Вища шк., 1990. – 416 с.
2. Литейные формовочные материалы. Формовочные, стержневые смеси и покрытия./А.Н. Болдин, Н.И. Давыдов, С.С. Жуковский и др. // Справочник. – М.: Машиностроение, 2006. – 507 с.
3. Дорошенко С.П. Формувальні суміші: Навчальний посібник./С.П. Дорошенко // – К.: ІЗМН, 1997. – 140 с.
4. Лясс А.М. Быстротвердеющие формовочные смеси./А.М. Лясс // – М.: Машиностроение, 1965. – 332 с.
5. Дорошенко С.П. Наливная формовка./С.П. Дорошенко, К.И. Ващенко // – К.: Вища школа.– 1980. – 176 с.
6. Жуковский С.С. Состояние и перспективы применения холоднотвердеющих смесей с фосфатными связующими /С.С. Жуковский, Ю.М. Юнович.// Тр. Междунар. конф. «Состояние и перспективы получения отливок на основе ресурсосберегающих формовочных смесей». – Липецк, 1983. – С.3...6.
7. Илларионов И.Е. Разработка интенсивных технологий и оптимизация составов активированных песчано-глинистых и фосфатных смесей./И.Е. Илларионов //Дис. д-ра техн. наук: 05.16.04. – Чебоксары, 1988. – 503 с.
8. Гамов Е.С. Основы теории и практики получения и применения феррифосфатных ХТС /Е.С. Гамов. // Тр. Междунар. конф. «Феррифосфатные ХТС и технология получения на их основе высококачественных отливок».– Липецк, 1987. – С.12...16.
9. Ханин А.В. Железосодержащие фосфатные связующие / Тр. Междунар. конф. «Феррифосфатные ХТС и технология получения на их основе высококачественных отливок» /А.В. Ханин // – Липецк, 1987. – С. 71...72.

10. Псимоно А.К. Новая малотоксичная связующая система для холодного отверждения стержней PUR-COLD-BOX фирмы FURTENBACHGmbH с высокой устойчивостью к водоразбавимым противопопригарным покрытиям./А.К. Псимоно, М.М. Сипо, Г. Едер // Литейщик России. – 2006. – №10. – С. 7...13.

11. Григорьев А.В. Материалы для изготовления опочных и безопочных разовых литейных форм и стержней по ХТС-процессу /А.В. Григорьев // Литьё Украины. – 2008. – № 3. – С. 22...31.

12. Власов А.Т. Связующие для изготовления песчано-смоляных форм и стержней по ХТС-процессу /А.Т. Власов, С.С. Поляков // Литьё Украины. – 2007. – № 11. – С. 10...25.

13.В.И. Фокин. Влияние клеящей способности металлофосфатных связующих на прочность смесей /Фокин В.И., Багрова Н.В., Королев Г.П., Багров Д.Ф. // Литейное производство. – 1998. – №9. – С. 17...18.

14. Опыт изготовления отливок на основе жидкого стекла с использованием АЦЭГ / О.И. Пономаренко, А.М. Каратеев, Н.С. Евтушенко, Т.В. Берлизева // Металл и литье Украины. – 2010. – № 11. – С. 20...23.

15. С.П. Дорошенко. Формовочные материалы и смеси / Дорошенко С.П., Авдокушин В.П., Русин К., Мацашек И. // – К.: Вища школа – 1980. – 416 с.

16. Судакас Л.Г. Фосфатные вяжущие системы./Л.Г. Судакас// – СПб: РИА «Квинтет», 2008. – 260 с.

17.Р.В. Лютый. Формовочные и стержневые смеси с фосфатными связующими и комбинированным наполнителем, отверждаемые при нагреве/Лютый Р.В., Кочешков А.С., Кеуш Д.В. // Вестник ДГМА. 2011. - №1(22). – С.203 – 206.

18. Р.В. Лютый.Вплив атомно-кристалічних характеристик на процеси синтезу фосфатних зв'язувальних компонентів /Лютый Р.В., Кеуш Д.В. // Металл и литьё Украины. – 2015.– №10.– С.26...29.

19. Р.В. Лютый. Исследование влияния зернового состава кварцевых наполнителей на свойства смесей с фосфатами кремния /Лютый Р.В., Кочешков А.С., Кеуш Д.В. // Вестник ДГМА – 2011. – №4(25). – С.98...103.

20. Р.В. Лютый. Алюмофосфатные формовочные смеси /Лютый Р.В., Кочешков А.С., Кеуш Д.В., Думчева К.Ю. // Вестник ДГМА – 2011. – №4(25). – С.104...110.

21. Р.В. Лютый. Отверждение стержневых смесей с ортофосфорной кислотой и алюмосодержащими соединениями /Лютый Р.В. // Литейное производство. – 2016. – №5. – С.13...17.

22. Р.В. Лютый. Особливості структуроутворення систем ортофосфорної кислоти з вогнетривкими матеріалами при їх тепловому зміцненні. /Лютий Р.В., Кеуш Д.В., Набока В.О., Пивошук А.Р. // Вісник ДДМА. – 2016. – № 1(37). – С.55...59.

23. Илларионов И.Е. Разработка интенсивных технологий и оптимизация составов активированных песчано-глинистых и фосфатных смесей. / И.Е. Илларионов // Дис. д-ра техн. наук: 05.16.04. – Чебоксары – 1988. – 503 с.

24. Д.В. Кеуш Закономерности образования связующих из ортофосфорной кислоты и огнеупорных наполнителей /Кеуш Д.В. // – Процессы литья. – 2015. – №4(112). – С.40...46.

25. Р.В. Лютый. Образование связующих композиций в формовочных смесях на основе ортофосфорной кислоты и солей металлов. /Лютый Р.В., Гурия И.М., Шаповалова Д.В., Кеуш Д.В. // Литейное производство. – 2013. – №5. – С. 16...19.

26. Р.В. Лютый. Упрочнение стержневых смесей с ортофосфорной кислотой и солями металлов. /Лютый Р.В., Кеуш Д.В., Гурия И.М. // Литейное производство. – 2015. – №7. – С.27...29.

27. Основи охорони праці / В.І. Голінько; М-во освіти і науки України; Нац. гірн. ун-т. – 2-ге вид. – Д.: НГУ, 2014. – 271 с.

28. Желібо Є.П. Безпекажиттєдіяльності: Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів освіти України I-IV рівнів акредитації/ Є.П. Желібо, Н.М. Заверуха, В.В. Зацарний за ред. Є.П. Желібо. – Київ: «Каравела» – 2001. – 320 с.

29. ДСН 3.3.6.042-99 – Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень.

30. Зацарний В.В. Лекція 6. Освітлення виробничих приміщень. Принципи створення та використання засобів захисту від шуму, вібрації та ультразвуку. Захист від випромінювань.

31. Практикум із охорони праці. Навчальний посібник / В.Ц. Жидецький, В.С. Джигирей, та ін. За ред. В. Ц. Жидецького. – Львів. – 2000. – 352 с.

32. ДСН 3.3.6.037 – 99 – Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. – К. – 1999.