

ВІДГУК

офіційного опонента про дисертаційну роботу
Лютого Ростислава Володимировича
«Теоретичні та технологічні основи створення екологічних фосфатних зв'язувальних матеріалів для ливарного виробництва»,
подану на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук
за спеціальністю 05.16.04 – Ливарне виробництво

1. Актуальність теми дисертаційної роботи.

Підвищення складності, точності, зниження тонкостінності литих деталей разом з вимогами мінімізації трудових витрат і ефективного захисту навколишнього середовища значно впливають на розвиток технологій виробництва виливків. Це повною мірою стосується і технології виготовлення ливарних форм і стрижнів. Процеси виготовлення стрижнів посідають 25...30% від усієї трудомісткості у виробництві виливків. При цьому постійно зростають вимоги до якості стрижнів – міцності, точності геометричних параметрів, тривалості зберігання готового стрижня, вибивальності його з виливків, газотвірності, а також необхідності загального зниження вартості виливків і поліпшення умов праці персоналу та екологічних умов.

У сучасних стрижневих сумішах використовують великий спектр зв'язувальних компонентів (ЗК), які відрізняються за хімічною номенклатурою та за способами зміцнення. Особливе місце серед них займають фосфати. На даний час накопичений великий обсяг інформації щодо фізичних, хімічних, теплофізичних та інших властивостей сполук фосфору, створено численні матеріали на базі ортофосфорної кислоти, алюмофосфатного та алюмохромфосфатного ЗК.

Розробленням фосфатних зв'язувальних компонентів, починаючи з середини ХХ ст., займалися Дж. Кінгері, Д. Уайгант, Л. Г. Судакас та інші. У ливарному виробництві вони з'явилися в середині 70-х рр. у роботах Ю. П. Васіна, С. С. Жуковського, І. Є. Ілларіонова, С. П. Дорошенка.

В даний час актуальною тематикою досліджень знову стало створення неорганічних, екологічно безпечних фосфатних зв'язувальних матеріалів. При цьому, на сьогодні наукові основи синтезу фосфатів обмежуються використанням оксидних або силікатних матеріалів, а щодо решти матеріалів, зокрема неорганічних солей металів, така інформація має обмежений та фрагментарний характер.

Отже, розроблення теоретичних та технологічних основ створення нових неорганічних зв'язувальних матеріалів фосфатного класу та розроблення на їх основі стрижневих сумішей для ливарного виробництва є актуальним.

2. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Доцільність та своєчасність дисертаційної роботи Лютого Р. В. підтверджує її взаємозв'язок із темами науково-дослідних робіт, які виконувались на кафедрі ливарного виробництва Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» за участю автора: згідно планів науково-дослідних бюджетних робіт МОН України № 2632п «Розроблення методології прогнозування структури і властивостей металу у виливках із сплавів на основі заліза з високим вмістом хрому» (номер реєстрації 0113U000649); № 2851п «Технологічні особливості прогнозування властивостей розплавів і структури металу виливків для роботи в екстремальних умовах» (номер реєстрації 0115U000406); госпдоговірна робота № Н/1100/03 «Випробування бентоніту формувального»; інноваційний проєкт «Екологічний зв'язувальний матеріал для ливарного виробництва», представлений у фіналі конкурсу «Sikorsky Challenge 2020».

3. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації, та їх достовірність.

Наукові положення, висновки та рекомендації, сформульовані в дисертаційній роботі Лютого Р. В., достатньою мірою обґрунтовані.

Проведено критичний аналіз наявної наукової та практичної інформації за темою дослідження, виявлено проблеми та поставлено мету дослідження, яка є актуальною.

Дослідження виконано на сучасному передовому обладнанні, яке забезпечує отримання результатів із належною достовірністю та точністю. Для цього залучено обладнання лабораторій КПІ ім. Ігоря Сікорського, ФТІМС НАН України та деяких інших.

Достовірність результатів визначення властивостей стрижневих сумішей та представлених графічних залежностей і номограм підкріплена тим, що автором дисертації визначено статистичні критерії відтворюваності результатів, значимості коефіцієнтів у рівняннях регресії та адекватності побудованих математичних моделей.

Наукові положення і висновки доповідались на багатьох наукових конференціях: «Нові матеріали і технології в машинобудуванні» III-XIII (м. Київ, 2011-2022 р.р.); «Перспективні технології, матеріали і обладнання у ливарному виробництві» III-VIII (м. Краматорськ, 2007-2021 р.р.); «Литейное производство: технологии, материалы, оборудование, экономика и экология» (м. Київ, 2011, 2012 р.р.); «Перспективные технологии, материалы и оборудование в литейной индустрии» (м. Київ, 2010 р.); «Литво, Металургія» VIII-XVII (м. Запоріжжя, 2012-2020 р.р., м. Харків 2021-2022 р.р.); «Матеріали для роботи в екстремальних умовах» IV-XI (м. Київ, 2013-2020 р.р.); «Спеціальна металургія: вчора, сьогодні, завтра» XI-XV (м. Київ, 2013 – 2017 р.р.); «Прикладні науково-технічні дослідження» I, II, IV, V (м. Івано-Франківськ, 2017-2021 р.р.); «Перспективні технології на основі новітніх фізико-матеріалознавчих

досліджень та комп'ютерного конструювання матеріалів» (м. Київ, 2018, 2019 р.р.); «Неметалеві вкраплення і газу у ливарних сплавах» (м. Запоріжжя, 2015, 2018, 2021 р.р.); «Perspectives of world science and education» (м. Осака, Японія, 2019 р.); «Управління якістю в освіті та промисловості: досвід, проблеми та перспективи» (м. Львів, 2021 р.).

Також наукові положення і висновки повно відображено у публікаціях, серед яких 2 розділи монографій та понад 20 статей у фахових і наукометричних виданнях.

Наукові положення, висновки та рекомендації є повною мірою достовірними та обґрунтованими.

4. Структура та зміст дисертації.

Дисертація складається із анотації, змісту, вступу, 7 основних розділів, списку використаних джерел (424 найменування) та 8 додатків. Основний текст роботи викладено на 380 сторінках, додатки – на 66 сторінках. Вказана структура і обсяг відповідають чинним вимогам до оформлення дисертацій наукового ступеню доктора технічних наук.

У вступі (с. 27 – 37) обґрунтовано актуальність роботи, поставлено мету і сформульовано завдання досліджень, висвітлено наукову новизну і практичне значення отриманих результатів. Охарактеризовано особистий внесок здобувача у наукових публікаціях, в яких відображено зміст роботи. Наведено перелік конференцій, на яких обговорювалися результати.

В першому розділі (с. 38 – 84) виконано ґрунтовний огляд друкованих та інших інформаційних джерел за тематикою фундаментальних проблем, які стосуються теми дисертації. Показано, що для опису процесів контактної теплової взаємодії ливарних форм з металевими розплавами необхідно розширення і удосконалення математичного підґрунтя.

Проаналізовано можливості значного розширення бази неорганічних зв'язувальних матеріалів для ливарного виробництва за рахунок синтезу фосфатів кислотних (кремній), амфотерних (алюміній, марганець, цирконій) та активних основних (натрій, калій) елементів.

На основі викладеного критичного аналізу сучасного стану теорії, матеріалів і технології ливарних форм сформульовано мету дисертації та конкретні наукові і практичні завдання.

В другому розділі (с. 85 – 105) обґрунтовано вибір матеріалів для проведення досліджень та охарактеризовано їх особливості. Описано технологічні схеми синтезу зв'язувальних компонентів, приготування стрижневих сумішей, виготовлення та заливання форм, методи контролю параметрів якості виливків.

Представлено ряд фізико-хімічних методів дослідження структури і властивостей матеріалів: рентгенофазовий якісний і кількісний аналіз на установці «Rigaku Ultima IV», диференційний термічний аналіз на установці «STA 449 C Jupiter», мікроскопічні дослідження на растровому

електронному мікроскопі PEM-106 із системою енергодисперсійного мікроаналізу. Також представлено спеціальні методики дослідження вибиваємості та пригаростійкості сумішей, а також використані методи планування експериментів та математичного оброблення результатів.

В третьому розділі (с. 106 – 152) представлено хід вирішення ряду математичних і теплофізичних задач, які підвищують достовірність розрахунків розподілу температурних полів у ливарних стрижнях.

Зокрема, представлено розрахунки зміни температури поверхні виливків у процесі їх охолодження від заливання до вибивання із форми. При цьому враховано просування фронту твердіння всередині вилівка та розподілу температурного поля у рідкій та твердій частинах залежно від конфігурації вилівка, побудовано розрахункові криві охолодження поверхонь і термічних центрів порожнистих циліндричних виливків діаметрами 250 і 24 мм.

Установлено граничні умови контактного теплообміну ливарного стрижня із розплавом і визначено «період теплової інерційності», протягом якого температура поверхні стрижня зрівнюється з температурою поверхні вилівка після початку їх контакту (наприклад, для стрижня на основі кварцового наповнювача із середнім розміром часточок 0,2 мм цей період становить 15 с). На основі розроблених математичних методів визначено динаміку зміни температур поверхонь і центрів ливарних стрижнів різного діаметра (50 мм і 16 мм) та розраховано розподіл температурних полів всередині них.

На основі розрахунків температурних полів ливарних стрижнів проаналізовано ймовірність фізико-хімічних перетворень у сумішах із різними зв'язувальними компонентами та викладено рекомендації щодо їх вірного вибору і застосування для попередження появи ливарних дефектів.

В четвертому розділі (с. 153 – 183) наведено результати дослідження умов утворення фосфатних зв'язувальних компонентів внаслідок хімічної взаємодії ортофосфорної кислоти з пилоподібними вогнетривкими наповнювачами (кварцом, цирконом та дистен-силіманітом), а також з алюмовмісними матеріалами. В суміші ортофосфорної кислоти та пилоподібного кварцу відбувається утворення одного зв'язувального компонента, який має будову пірофосфату кремнію, а у суміші ортофосфорної кислоти та пилоподібного циркону утворюються два зв'язувальних компонента – пірофосфат цирконію та гексафосфат кремнію.

Експериментально визначено, що наявність кристалогідратної води та схильність до водопоглинання алюмосилікатних матеріалів, які взаємодіють з ортофосфорною кислотою та утворюють алюмофосфатні ЗК, негативно впливають на кінцеву міцність сумішей. Тому із досліджених матеріалів (бентонітова та каолінова глина, пірофіліт, дистен-силіманіт) найвищу міцність мають суміші з дистен-силіманітом. У таких сумішах утворюється ортофосфат алюмінію, який забезпечує високу міцність та термічну стабільність.

Наведено також приклади утворення алюмофосфатних зв'язувальних компонентів при нормальній температурі, без необхідності нагрівання. В результаті взаємодії алюмінієвої пудри з ортофосфорною кислотою утворюється тризаміщений ортофосфат алюмінію, який має зв'язувальну здатність до кварцового наповнювача. В результаті взаємодії гідроксиду алюмінію з ортофосфорною кислотою продуктами реакцій є ортофосфати алюмінію трьох різних типів, які під час нагрівання до 900 °С практично не зазнають фазових змін, що забезпечує термічну стабільність суміші.

П'ятий розділ (с. 184 – 240) присвячено дослідженням хімічної взаємодії ортофосфорної кислоти з неорганічними солями металів (сульфатами, хлоридами, бромідами, нітратами), встановленню умов утворення в таких сумішах фосфатних зв'язувальних компонентів, визначенню їх фазового складу та динаміки фізико-хімічних перетворень при нагріванні.

Вперше теоретично і практично встановлено можливість утворення фосфатних зв'язувальних компонентів у системах ортофосфорної кислоти з хлоридами калію та натрію, а також бромідом калію, що відбувається внаслідок прямих хімічних реакцій, які стають термодинамічно можливими після нагрівання до температур в інтервалі 200...300 °С. Також показано, що утворення зв'язувального компонента в системі ортофосфорна кислота – сульфат алюмінію можливе виключно при використанні кристалогідратної форми $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$, з якої при нагріванні утворюється гідроксид алюмінію $\text{Al}(\text{OH})_3$, який взаємодіє безпосередньо з H_3PO_4 та утворює фосфат алюмінію.

Вперше розроблено схему синтезу зв'язувального компонента із підвищеною питомою міцністю в результаті взаємодії ортофосфорної кислоти з триполіфосфатом натрію. Цей матеріал має форму двозаміщеного пірофосфату натрію та завдяки особливостям кристалічної будови забезпечує зростання міцності стрижнів у 2,5...3 рази.

Додатково встановлено, що усі зв'язувальні компоненти, представлені фосфатами натрію і калію, під час нагрівання мають ряд фазових перетворень з подальшим плавленням в інтервалі 500...650 °С, залишаючись після цього водорозчинними, що забезпечує спрощене вилучення стрижнів із внутрішніх порожнин виливків за допомогою води.

В шостому розділі (с. 241 – 285) представлено результати дослідження впливу компонентного складу стрижневих сумішей на фізико-механічні властивості. На основі результатів та їх математичного оброблення побудовано рівняння регресії та номограми для оптимізації складу сумішей за їх основними параметрами. Установлено рекомендовані температури нагрівання для забезпечення твердіння стрижнів із фосфатами натрію (150...300 °С), калію (250...300 °С), алюмінію (200...300 °С), марганцю (150 °С). Окремо досліджено властивості суміші з ортофосфорною кислотою та алюмінієвою пудрою, яка твердне при нормальній температурі.

Визначено технологічні властивості розроблених стрижневих сумішей (схильність до утворення пригару та вибиваємість) і доведено їх конкурентоспроможність порівняно із аналогами. Стрижні без використання протипригарних покриттів забезпечують виготовлення виливків із чавуну і сталі з товщиною стінок до 20 мм з чистою поверхнею. Робота вибивання стрижневих сумішей з фосфатами натрію та калію має високі значення внаслідок розплавлення зв'язувальних компонентів і спікання стрижнів, але при цьому стрижні здатні вилучатися після занурення виливка у воду.

Розроблено технологічні схеми синтезу фосфатних зв'язувальних компонентів, які передбачають їх безпосереднє утворення у складі ливарних стрижнів під час нагрівання або попереднє змішування ортофосфорної кислоти із неорганічними солями металів з утворенням в підсумку сухого порошкового ЗК, який вводиться до складу суміші разом із водою, або розчину (суспензії) неорганічної солі в ортофосфорній кислоті. На основі індивідуальних схем синтезу для кожного із зв'язувальних компонентів розроблено раціональні схеми сумішоприготовування.

Сьомий розділ (с. 286 – 329) містить інформацію щодо особливостей використання розроблених фосфатних зв'язувальних компонентів у технологічних процесах ливарного виробництва, а також розрахунки показників економічної ефективності та відповідності екологічним нормам.

На основі ортофосфорної кислоти та гідроксиду алюмінію розроблено холоднотвердну суміш, призначену для виготовлення керамічних оболонкових форм за моделями, що витоплюються. Підтверджується, що форми мають високу міцність, вогнетривкість та інертність до металевого розплаву.

Наведено результати комплексного дослідження впливу на властивості оборотної піщано-бентонітової суміші для формування по-сирому добавок стрижневих сумішей із фосфатними зв'язувальними компонентами, утвореними із комбінацій ортофосфорної кислоти з пілоподібним кварцом та цирконом. Показано позитивний вплив таких добавок на газопроникність, загальну та поверхневу міцність, що дає змогу використовувати розроблені стрижневі суміші на автоматичних ливарних лініях.

Розраховано собівартість приготування досліджених стрижневих сумішей порівняно із піщано-смоляними сумішами холодного та теплового твердіння, в результаті чого встановлено, що економія може становити від 200 до 800 грн на 1 т суміші. Також показано, що розроблені суміші утворюють значно меншу кількість газоподібних продуктів, а самі ці сполуки не несуть екологічної шкоди.

Висновки (с. 330 – 332), сформульовані за проведеними Лютим Р. В. дослідженнями, відображають весь обсяг представленої інформації,

відповідають завданням роботи і доповнюють пояснення наукової новизни.

Список використаних джерел (с. 333 – 380) містить 424 найменування, значну кількість із яких представлено сучасними публікаціями, зокрема іноземними статтями та патентами.

В додатках (с. 381 – 446) представлено таблиці з результатами випробувань, розрахунки коефіцієнтів рівнянь регресії, деталізацію розрахунків теплових полів ливарних стрижнів, результати визначення шорсткості литих поверхонь та акти впровадження.

В цілому за змістом дисертація є завершеною роботою, яка вирішує важливі теоретичні та практичні проблеми створення і використання зв'язувальних компонентів для ливарного виробництва. Тема та зміст дисертації відповідають паспорту спеціальності 05.16.04 – «Ливарне виробництво». Оформлення дисертації відповідає чинним вимогам.

5. Наукова новизна отриманих в роботі результатів, сформульованих положень і висновків.

Лютий Р.В. особисто створив та практично реалізував науково обґрунтовані підходи щодо створення фосфатних зв'язувальних матеріалів для виготовлення ливарних стрижнів.

В дисертації подальший розвиток отримали уявлення щодо механізмів фізико-хімічної взаємодії ортофосфорної кислоти при температурі 300...350 °С з пілоподібними кварцом, цирконом та дистен-силіманітом, які раніше носили фрагментарний характер. Зокрема, в п. 4.1.1 (рис. 4.1 і 4.2) встановлено, що при забезпеченні масових співвідношень пілоподібного кварцу до кислоти (1...5):1 та пілоподібного циркону до кислоти (2...5):1 забезпечується утворення фосфатних зв'язувальних компонентів визначеного фазового складу. За масового співвідношення дистен-силіманіту до кислоти (0,2...2,0):1, як показано в п. 4.2.2.1 (рис. 4.14), також утворюється хімічно і термічно стабільний фосфатний зв'язувальний компонент.

Вперше встановлено, що при кімнатній температурі додавання гідроксиду алюмінію до водного розчину ортофосфорної кислоти за умови надлишку гідроксиду алюмінію (10...30 мас. ч. на 2...10 мас. ч. ортофосфорної кислоти) призводить до утворення фосфатів алюмінію із зв'язувальними властивостями по відношенню до кварцового наповнювача, що забезпечує сумішам в затверділому стані міцність на вигин 3,0...5,0 МПа. Підтвердження наведено в п. 4.2.2.3 на рис. 4.17–4.19, де визначено фазовий склад алюмофосфатів при різних температурах, а також на рис. 4.20, який демонструє відсутність газовиділення при нагріванні і термічну стабільність цієї суміші в цілому.

Вперше розроблено опис механізмів хімічної взаємодії ортофосфорної кислоти з хлоридами натрію, калію та бромідом калію, за яким в інтервалі температур 250...300 °С відбувається пряма хімічна взаємодія та утворення в результаті фосфатів натрію або калію зі

зв'язувальними властивостями у сумішах на основі кварцового піску. За результатами термодинамічного аналізу хімічних реакцій, наведеного в п. 5.3.1 на рис. 5.24 – 5.26, та фазового аналізу (п. 5.3.3, рис. 5.43 і 5.45) дійсно підтверджено утворення та існування таких фосфатних зв'язувальних компонентів у складі стрижневих сумішей.

Автор дисертації **вперше** розробив опис механізму утворення фосфатів алюмінію із зв'язувальними властивостями в результаті взаємодії його сірчаноокислого кристалогідрату $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ з ортофосфорною кислотою в інтервалі температур 100...200 °С. Детальне дослідження фізико-хімічних процесів, які відбуваються у цій системі та призводять до утворення фосфатного зв'язувального компонента, представлено в п. 5.2.3. Пояснення цього положення наукової новизни в описі рис. 5.22 та рівнянь хімічних перетворень (5.19) – (5.21), а комплексний склад отриманого зв'язувального компонента (сульфат + фосфат алюмінію) надає йому особливих властивостей щодо мінімальної роботи вибивання стрижнів із виливків.

Вперше досліджено динаміку термічних перетворень фосфатних зв'язувальних компонентів, утворених із ортофосфорної кислоти і неорганічних солей натрію та калію, відповідно до якої, незалежно від виду неорганічної солі, використаної для утворення фосфатного зв'язувального компонента (хлорид натрію, хлорид калію, карбонат натрію, бромід калію або триполіфосфат натрію) в інтервалі 200...300 °С усі кислі ортофосфати та пірофосфати перетворюються на метафосфати вказаних елементів, в інтервалі 550...650 °С метафосфати плавляться, після чого переходять в аморфну форму. Ці дані отримано в результаті диференційного термічного аналізу проб зв'язувальних компонентів при нагріванні від 20 до 1000 °С, результати експериментів із поясненнями наведено в п. 5.3.3 на рис. 5.44, 5.46.

Вперше встановлено, що пірофосфат натрію, як продукт хімічної взаємодії при температурі 150...200 °С ортофосфорної кислоти з триполіфосфатом натрію, набуває зв'язувальних властивостей по відношенню до кварцового піску та забезпечує міцність при стисканні структурованої стрижневої суміші в межах 3,2...3,5 МПа. Як показано в п. 5.5.3, під час нагрівання суміші ортофосфорної кислоти з триполіфосфатом натрію дійсно відбувається пряма хімічна взаємодія, яка призводить до формування зв'язувального компонента, фазовий склад якого розшифровано на рис. 5.66, а підтвердження його ефективності щодо значного підвищення міцності стрижневої суміші наведено в п. 5.5.1 на рис. 5.60.

Закономірності змін фізико-механічних властивостей піщано-фосфатних стрижневих сумішей із утвореними в них під час нагрівання зв'язувальними речовинами залежно від хімічного складу та масового вмісту в суміші ортофосфорної кислоти (від 2 до 5 мас. %) та активних добавок (від 2 до 10 мас. %) при температурі нагрівання сумішей від 150 до 350 °С також встановлено вперше. Всі результати представлено у

розділі 6, додатках В, Г, Д, Е. Для деяких сумішей представлено графічну оптимізацію складу за номограмами (рис. 6.14, 6.15), а рекомендований склад для кожної суміші, з урахуванням способів їх приготування, наведено у табл. 6.1 – 6.11 та табл. 6.13.

Подальший розвиток отримали уявлення щодо теплофізичних процесів, які відбуваються під час затвердіння виливка як у самому виливку, так і в ливарному стрижні. Автором проведено ряд теплофізичних розрахунків, направлених на уточнення та визначення теплових полів ливарних форм і стрижнів, усунення взаємозалежних параметрів у розрахунках, врахування динаміки зміни кожного розрахункового параметра. Загальну схему постановки теплофізичної задачі наведено на рис. 3.1, після чого, в процесі викладу розділу 3, її розділено на окремі підзадачі, які успішно вирішено з використанням запропонованих автором методів розрахунку. На рис. 3.11 і 3.15 наведено порівняння розрахункових даних, отриманих за наявними методами та за запропонованою автором дисертації методикою, а на рис. 3.10 і 3.14 наведено експериментальне підтвердження достовірності створеної методики.

На основі аналізу динаміки фізико-хімічних процесів під час нагрівання встановлено загальні обсяги виділення газоподібних речовин та їх склад та здійснено порівняльний аналіз за цим показником із традиційними стрижневими сумішами. Комплексний аналіз із розрахунками очікуваних викидів на одиницю маси стрижневої суміші (п. 7.5, табл. 7.8 – 7.11) та на тонну придатного литва (рис. 7.28) виконано вперше. За даними рис. 7.28, 7.29 і 7.30 виконано важливе порівняння загального складу газоподібних викидів, що підтверджує екологічність створених в дисертації зв'язувальних матеріалів.

6. Практичне значення одержаних результатів.

Розроблений у 3 розділі дисертації теоретичний комплексний метод розрахунку теплових полів у ливарних формах і стрижнях забезпечує підвищення точності прогнозування можливостей і меж застосування сумішей різного складу, може розглядатися як математична основа для уточнення прикладних комп'ютерних програм з ливарного виробництва.

В дисертації представлено детальні рекомендації щодо технологій приготування фосфатних зв'язувальних компонентів (п. 2.3 – опис технологій, п. 6.1 – реалізація їх для сумішей різного складу). Для їх утворення в роботі використано безпечні екологічні матеріали, характеристики яких представлено у п. 2.1. При цьому доведено, що досягнення потрібного рівня властивостей стрижневих сумішей на основі розроблених зв'язувальних матеріалів можливо при використанні будь-якого кварцового піску, в т. ч. річкового, із вмістом глинястої складової до 2,0%.

Вперше розроблені схеми приготування зв'язувальних компонентів як продуктів хімічної взаємодії при нагріванні ортофосфорної кислоти з

неорганічними солями металів (5 розділ) можуть бути реалізовані не тільки у ливарному виробництві, а і в інших галузях техніки.

В дисертації розроблено ряд сумішей для виготовлення ливарних стрижнів, які тверднуть при нагріванні в інтервалі від 150 до 300 °С, а також дві суміші, які тверднуть при нормальній температурі: стрижнева алюмофосфатна суміш з ортофосфорною кислотою та алюмінієвою пудрою та алюмофосфатна суміш з ортофосфорною кислотою та гідроксидом алюмінію для виготовлення керамічних оболонкових форм за моделями, що витоплюються.

Отримані результати в цілому дають змогу зниження собівартості виготовлення виливків за рахунок спрощення технології виготовлення стрижнів для них.

7. Повнота викладу основних результатів дисертації в опублікованих працях.

Основні результати дисертаційної роботи опубліковано у 53 наукових працях, з них: 13 статей у фахових виданнях України категорії Б, 3 статті у журналах категорії А, 3 статті у журналах, які відносяться до квартилю Q3, 2 статті у журналах, які відносяться до квартилю Q2, 2 розділи у колективних монографіях, 1 патент на винахід, 1 патент на корисну модель, 25 матеріалів міжнародних конференцій.

Аналіз друківаних праць дає змогу зробити висновок, що результати дисертації опубліковано повністю.

8. Мова та стиль дисертації.

Дисертаційну роботу викладено державною мовою, текст логічно та обґрунтовано поділено на структурні елементи (розділи, підрозділи, пункти, додатки тощо). В роботі використано загальноприйняту термінологію. Стиль викладення наукових результатів, висновків та рекомендацій забезпечує їх доступне сприйняття. Представлені рисунки, графіки, дифрактограми, діаграми тощо мають високу якість та містять необхідні пояснення.

Дисертацію оформлено на високому науковому рівні.

9. Дискусійні положення та зауваження щодо дисертаційної роботи.

1. З наукової точки зору велика кількість (майже 50) різних матеріалів, які досліджено на предмет взаємодії з ортофосфорною кислотою для створення фосфатних зв'язувальних матеріалів – дуже позитивний момент. Але для практичного застосування слід було рекомендувати менше сумішей, а не всі 12, які тут представлено.

2. Розрахунки теплових полів ливарних стрижнів (розділ 3) проведено на прикладі одного сплаву, а тому невідомо, чи будуть працювати ці математичні та теплофізичні розрахунки для інших.

3. У дисертаційній роботі не були досліджені такі показники властивостей сумішей як газопроникність та гігроскопічність, які мають великий вплив на якість ливарних форм і стрижнів і в кінцевому рахунку на якість виливків.

4. В розділі 5 (рис. 5.8-5.16) наведені експериментальні залежності міцності зразків сумішей різного складу від температури, проте не показані «хрести помилок» досліджуваного параметру. Це стосується і залежностей, наведених у розділі 6 на рис. 6.16-6.18.

5. У розділі 2 для визначення вибиваємості застосовувалася оригінальна методика, яка недостатньо докладно описана.

6. В п. 7.5 (табл. 7.12) вказано сумарний обсяг газовиділення досліджених стрижневих сумішей, який дійсно визначено експериментально, та склад газових продуктів, про експериментальне визначення якого інформації не представлено.

7. В тексті дисертації не розглядається питання можливості реального використання створених стрижневих сумішей в існуючих ливарних цехах із використанням наявного там устаткування.

8. Представлено результати дослідження фізико-хімічних процесів у складі сумішей при нагріванні та їх вплив на вибиваємість ливарних стрижнів. При цьому відсутні пояснення щодо можливостей регенерації та повторного використання сумішей.

9. Під час розрахунку техніко-економічних показників для порівняння слід було вибрати також суміші з рідким склом та фенол-формальдегідною смолою для виготовлення оболонкових форм за гарячим оснащенням – тим більше, що аналогічний процес було реалізовано в роботі.

10. В тексті роботи міститься інформація про співпрацю з ливарними підприємствами та спільне проведення частини експериментів (п. 7.1, п. 7.2.1), але відсутні документи про виробничі випробування або впровадження результатів.

Відмічені дискусійні положення та зауваження не зменшують високої теоретичної та науково-практичної цінності дисертаційної роботи.

10. Відповідність автореферату змісту дисертаційної роботи.

Автореферат за структурою та технічним оформленням відповідає встановленим чинним вимогам. В ньому повною мірою відображено основні наукові та практичні здобутки автора роботи. За змістом автореферат ідентичний змісту дисертації. Текст викладено якісно, державною мовою, з дотриманням наукової термінології.

11. Загальний висновок щодо відповідності дисертації встановленим вимогам.

Дисертаційна робота Лютого Ростислава Володимировича «Теоретичні та технологічні основи створення екологічних фосфатних зв'язувальних матеріалів для ливарного виробництва» є завершеною науковою працею, в якій викладено наукові та практичні результати щодо

вирішення науково-прикладної проблеми створення і використання неорганічних зв'язувальних матеріалів для ливарного виробництва.

За змістом і повнотою викладення наукових результатів, їх новизною дисертаційна робота відповідає паспорту спеціальності 05.16.04 «Ливарне виробництво».

Дисертаційна робота Лютого Р.В. за своєю актуальністю, науковою новизною, обґрунтованістю та достовірністю наукових положень, висновків і рекомендацій, сприяє вирішенню всіх поставлених завдань та можливості практичної реалізації результатів. Робота відповідає вимогам п.п. 7, 8, 9 «Порядку присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 17 листопада 2021 р. № 1197, а її автор **Лютий Ростислав Володимирович** заслуговує на присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.16.04 «Ливарне виробництво».

Офіційний опонент:

доктор технічних наук,
професор кафедри ливарного виробництва
Національного технічного університету
«Харківський політехнічний інститут»

Ольга ПОНОМАРЕНКО

Підпис *проф. Ольга Пономаренко*
ЗАСВІДЧУЮ:
ВЧЕНИЙ СЕКРЕТАР
НАЦІОНАЛЬНОГО-ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
"ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ"
" " " " " "



ЗАЙЦЕВ Ю.І.