

## ВІДГУК

офіційного опонента Ямшинського Михайла Михайловича  
на дисертацію Солоненко Людмили Ігорівни  
«Теоретичні та технологічні основи паро-мікрохвильового  
структурування піщано-рідкоскляних сумішей для виготовлення виливків»,  
подану на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук  
за спеціальністю 05.16.04 – Ливарне виробництво

### Оцінка структури та змісту дисертації

Дисертаційна робота складається зі вступу, основної частини (шість розділів з висновками до кожного з них), загальних висновків, списку використаних джерел з 439 найменувань і 14 додатків.

Загальний обсяг дисертаційної роботи викладено на 450 сторінках загального машинописного тексту, з яких 368 сторінки основного тексту. Дисертаційна робота містить 174 рисунки і 58 таблиць.

**У вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, надано інформацію щодо зв'язку роботи з науковою темою УДУНТ, сформульовано мету та задачі досліджень, вказано об'єкт, предмет та методи досліджень, викладено наукову новизну та практичне значення, а також відомості щодо особистого внеску здобувача, апробації отриманих результатів, публікацій.

**У першому розділі** проведено аналіз напрямків підвищення екологічної та санітарно-гігієнічної безпеки використання в ливарному виробництві сучасних формувальних та стрижневих сумішей, надано їх склад та рівень основних властивостей. Проаналізовано сучасні способи структурування піщано-рідкоскляних сумішей, модифікатори для рідкого скла, технологічні добавки до піщано-рідкоскляних сумішей.

Представлено результати оцінювання основних властивостей та відмічено особливості мікрохвильової сушки свіжовиготовлених піщано-рідкоскляних сумішей під дією зовнішнього нагрівання.

Приведено дані щодо величин теплофізичних властивостей піщано-рідкоскляних сумішей, що структуровані шляхом випаровування з них води під зовнішнім нагріванням, розглянута кінетика їх сушіння. Проаналізовано види дефектів ливарних форм та стрижнів з піщано-рідкоскляних сумішей та виливків, які були отримані в таких формах. Сформульовано мету та поставлено завдання роботи.

**Мета роботи** - встановлення механізму, кінетики та закономірностей структурування в паро-мікрохвильовому середовищі сипучого кварцового піску, плакованого рідким склом, і результату його застосування на властивості ливарних форм та стрижнів, якість дрібних виливків загальномашинобудівного призначення.

Для досягнення поставленої мети були сформульовані наступні завдання:  
1. Встановити кінетику, визначити енергію активації і розробити опис



механізму структурування кварцового піску плакованого силікатом натрію в середовищі водяної пари під дією мікрохвильового випромінювання.

2. Скласти матеріальний баланс та визначити допустимі температурні, часові і розмірно-масові межі структурування за ПМЗ-процесом.

3. Визначити раціональний рівень параметрів процесу структурування піщано-рідкоскляної суміші за ПМЗ-процесом та оптимізувати її склад.

4. Одержати функціональні залежності між рядом параметрів і властивостями піщано-рідкоскляної суміші, що структуровані за ПМЗ-процесом.

5. Дослідити та розробити опис механізму переносу рідкого скла та його дегідратації в капілярному каналі під дією мікрохвильового випромінювання.

6. Для шару плівкового типу з рідкого скла в умовах одностороннього контакту з повітрям встановити кінетику його карбонізації.

7. Встановити теплофізичні властивості піщано-рідкоскляних сумішей, структурованих за ПМЗ-процесом, та можливість їх використання в якості теплоізоляційного матеріалу при виробництві виливків.

8. Визначити особливості нагрівання матеріалів та випаровування води в резонаторі мікрохвильової печі, що має номінальну потужність магнетрону від 700 до 1200 Вт та частоту випромінювання 2,45 ГГц.

9. Встановити особливості та визначити роботу вибивання з виливків стрижнів з піщано-рідкоскляних сумішей, що структуровані за ПМЗ-процесом.

10. Дослідити механізм руйнування піщано-рідкоскляних сумішей, структурованих за ПМЗ-процесом, та вплив ливарних форм з цих сумішей на якість виливків.

11. Дослідити можливість склеювання структурованих піщано-рідкоскляних сумішей під дією мікрохвильового випромінювання.

12. Встановити можливість виготовлення об'ємно-замкнутих ливарних форм за ПМЗ-процесом за одноразовими моделями.

13. Встановити причини та розробити опис механізмів виникнення дефектів, притаманних стрижням з піщано-рідкоскляних сумішей, що структурують за ПМЗ-процесом.

14. Впровадити наукові та технологічні розробки досліджень в навчальний процес.

**У другому розділі** наведені відомості щодо матеріалів, обладнання, приборів та апаратури, методів і методик, які були здобувачем використані у дослідженнях.

**У третьому, четвертому, п'ятому та шостому розділах** дисертаційної роботи представлено результати експериментальних досліджень щодо особливостей і швидкості нагрівання твердих матеріалів, часу випаровування води під дією мікрохвильового випромінювання, величини діелектричної проникності деяких зернистих мінералів вітчизняного походження, залежності



потужності мікрохвильового випромінювання в резонаторі відносно вісі обертання його столу.

Встановлено взаємозв'язок між властивостями чистого та плакованого рідким склом кварцового піску, представлені дані щодо зміни його фракційного складу після плакування та помелу в коткових змішувачах, встановлено вплив характеру розміщення водяних зарядів в робочому просторі оснащення на міцність піщано-рідкоскляної суміші, що структурована за ПМЗ-процесом, вплив мікрохвильової обробки на залишковий вміст води в силікаті натрію та в піщано-рідкоскляній суміші.

Досліджено кінетику сушіння кварцового піску та його сумішей мікрохвильовим випромінюванням.

Досліджено структуру, її зміну та властивості піщано-рідкоскляних сумішей, структурованих за ПМЗ-процесом. Встановлено величину роботи механічного вибивання та водостійкість піщано-рідкоскляних сумішей, структурованих в паро-мікрохвильовому середовищі.

Розроблено опис механізму та досліджено кінетику структурування піщано-рідкоскляних сумішей в мікрохвильовому випромінюванні, встановлено етапи її проходження та енергія активації етапів.

Встановлено кінетику карбонізації в тонких шарах натрієвого рідкого скла на повітрі та вплив технологічних домішок на карбонізацію.

Досліджено та розроблено опис механізму переносу рідкого скла в капілярах щілинного типу.

Визначено величини теплофізичних властивостей піщано-рідкоскляних сумішей, що структуровані за ПМЗ-процесом. На основі матеріального балансу системи «водяна пара-кварцовий пісок-рідке скло» при структуруванні в паро-мікрохвильовому середовищі, розроблено аналітичні залежності, використання яких дозволяє визначити величини основних параметрів процесу структурування плакованого кварцового піску в паро-мікрохвильовому випромінюванні.

Оптимізовано склад піщано-рідкоскляних сумішей, що структуровані в паро-мікрохвильовому середовищі, отримано функціональні залежності між їх властивостями.

Визначено можливість склеювання структурованих піщано-рідкоскляних сумішей в мікрохвильовому випромінюванні.

Встановлено можливість виготовлення об'ємно-замкнених ливарних форм за ПМЗ-процесом за одноразовими моделями з замороженої піщано-водяної суміші. Виявлено можливість використання піщано-рідкоскляних конгломератів різних фракцій у якості теплоізоляційного матеріалу для виготовлення ливарних форм комбінованого типу.



Визначено механізм та розроблено опис принципу дії виникнення дефектів, у ливарних формах і стрижнях з піщано-рідкоскляних сумішей, що структуровані за ПМЗ-процесом.

Досліджено вплив піщано-рідкоскляних сумішей, які структуровані за ПМЗ-процесом, на структуру, шорсткість та точність розмірів виливків, схильність до пригару на виливках.

Проведено порівняння якості виливків, виготовлених із піщано-рідкоскляної суміші за CO<sub>2</sub>-процесом та методом паро-мікрохвильового затвердіння.

**У загальних висновках** дисертації викладено найбільш важливі наукові та практичні результати, що були отримані в процесі дисертаційного дослідження і які сприяли розв'язанню сформульованої науково-прикладної проблеми.

**Список джерел**, який був використаний в аналітичному огляді проблеми, достатньо повно охоплює зазначену галузь знань та відображає основні напрями розвитку досліджень, винаходів та технології структурування піщано-рідкоскляних сумішей для виготовлення ливарних форм та стрижнів.

**Структура та зміст** дисертаційної роботи та автореферату співпадають. Матеріали дисертації викладені послідовно, а їх оформлення відповідає вимогам щодо докторських дисертацій.

### **Актуальність теми дисертації та відповідність роботи спеціальності 05.16.04 – Ливарне виробництво**

Більшість ливарних цехів західної Європи і велика кількість ливарних цехів в Україні виготовляють одноразові ливарні форми та стрижні з піщано-смоляних сумішей, з яких під час використання в навколишнє середовище виділяється значна кількість канцерогенних і отруйних речовин, таких як: фенол, формальдегід, фурфуріловий спирт тощо. На відміну від західноєвропейських ливарних цехів, вітчизняні ливарні цехи не оснащені відповідними системами уловлювання та перероблення цих викидів, що робить використання піщано-смоляних сумішей вкрай небезпечним, а придбання та експлуатація цих систем призведе не тільки до значного підвищення собівартості литва, але і до втрати його конкурентної привабливості.

Вирішенням даної проблеми є використання екологічно-безпечного натрієвого рідкого скла – як заміника синтетичних смол.

У виробництві ливарних форм і стрижнів натрієве рідке скло ливарні цеха України широко використовували у 60...80-х роках минулого століття. Тим не менше, невирішеність таких проблем, як значні енергетичні витрати на вибивання стрижнів з виливків та регенерацію кварцового піску з відпрацьованої суміші, підвищена обсіпальність та газотвірність структурованих піщано-рідкоскляних сумішей і таке інше призвели до



заміщення рідкого скла в якості сполучного матеріалу на синтетичні смоли.

У свою чергу використання синтетичних смол в формувальних та стрижневих сумішах призвело до виникнення нових проблем, зокрема, проблеми щодо забруднення навколишнього середовища та значного погіршення санітарно-гігієнічних умов виробництва литва.

Тому робота, яка присвячена вирішенню проблеми з розроблення наукових і технологічних основ виготовлення піщано-рідкоскляних ливарних форм і стрижнів за ПМЗ-процесом замість сумішей з сполучними матеріалами органічного походження, є безперечно актуальною та відповідає спеціальності 05.16.04 – Ливарне виробництво.

### **Зв'язок роботи з науковими програмами, планами та темами**

Дисертаційна робота пов'язана з тематичними планами Українського державного університету науки і технологій та виконанням держбюджетної науково-дослідної роботи (тема: «Розробка інноваційної технології структурування екологічно безпечних формувально-стрижневих сумішей ливарного виробництва у паро-мікрохвильовому середовищі» (№ ДР 012U109531).

### **Ступінь обґрунтованості та достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертації**

Вирішення поставлених в роботі завдань автор проводив з використанням сучасних методів теоретичних та експериментальних досліджень, обладнання та пристроїв, обробку отриманих даних проводив з використанням статистичних методів та ін. Тобто, достовірність результатів дисертаційної роботи зумовлена:

- ретельним аналізом публікацій за темою дисертаційного дослідження;
- обґрунтованістю наукових положень та висновків, що базуються на фундаментальних положеннях теплофізики та матеріалознавства, теорії формування виливків та формоутворення;
- обґрунтованістю вибору методів та методик досліджень, планування та виконання експериментів;
- адекватністю отриманих математичних моделей;
- використанням у дослідженнях сучасного метрологічно-повіреного обладнання та апаратури, статистичної обробки експериментальних даних;
- системністю підходів у виконанні теоретичних та експериментальних досліджень;
- логікою та аналізом отриманих результатів досліджень та встановлених процесів, відсутністю протиріч щодо сутності явищ, які досліджуються в роботі;



– позитивним результатом дослідно-промислових випробувань на ПП «БУД-МАШ» (м. Житомир);

– позитивним результатом та впровадженням у виробництво ПрАТ «Одеський машинобудівний завод» (м. Одеса) та ТОВ «ПК «Перспектива» (м. Дніпро);

– впровадженням в навчальний процес Національної металургійної академії України (нині – УДУНТ).

Тому всі наукові положення, висновки, отримані результати досліджень та практичні рекомендації дисертаційної роботи цілком обґрунтовані, адекватні і достовірні.

### Наукові результати дисертації

До основних наукових результатів дисертації слід віднести наступне:

1. Вперше для кварцового піску, плакованого рідким склом з силікатним модулем 2,8...3,0, встановлено кінетику, енергію активації, закономірності та розроблено опис механізму структурування в середовищі насиченої водяної пари під дією мікрохвильового випромінювання частотою 2,45 ГГц зі стоячою хвилею.

2. Вперше встановлено кінетику та розроблено опис механізму карбонізації силікату натрію в шарі рідкого скла товщиною 20...30 мкм з вихідним вмістом води 17...20 % (за масою) і силікатним модулем 2,8...3,0 на повітрі з температурою 22...24 °С та відносною вологістю від 24 до 98 %.

3. Вперше встановлено функціональні залежності між фізичними, розмірними та технологічними параметрами структурованих піщано-рідкоскляних сумішей з масовим вмістом рідкого скла 0,5...3,0 % з силікатним модулем 2,8...3,0 за умов відсутності хімічних або фізичних перетворень силікату натрію в таких сумішах.

4. Вперше встановлено, що спінювання рідкого скла з силікатним модулем 2,8...3,0 в пласкому капілярі під дією мікрохвильового випромінювання йде за схемою ланцюгової реакції з елементарним циклом (самокапсулювання рідкого скла → руйнування капсули під тиском водяної пари, що виникає в капсулі → викид рідкого скла за межі капсули), який повторюється до повного випаровування води із капсул.

5. Вперше (стосовно алюмінієво-магнієвого сплаву і сірого чавуну) встановлені інтегрального-ефективні значення теплофізичних властивостей піщано-рідкоскляних сумішей з 0,5...3,0% (за масою, понад 100% піску) рідкого скла та уявною щільністю сумішей 1380...1758 кг/м<sup>3</sup>, які структуровані за ПМЗ-процесом.

6. Вперше досліджено та розроблено опис механізму утворення дефектів (вимоїна, внутрішня тріщина), що притаманні виключно ливарним формам та стрижням, які виготовлені за ПМЗ-процесом.



7. Вперше встановлено, що при ударно-вібраційному впливі характер руйнування піщано-рідкоскляних сумішей структурованих за ПМЗ-процесом має переважно адгезійний характер при тривалості паро-мікрохвильової обробки до 2 хв, змішаний характер – при тривалості 2...4 хв і переважно когезійний характер – при тривалості більше 4 хв.

8. Вперше встановлено, що відносна водостійкість піщано-рідкоскляної суміші, структурованої за ПМЗ-процесом, попередній нагрів якої не перевищував 600°C, зменшується зі збільшенням температури води, а залежність водостійкості від тривалості ПМЗ-процесу в межах від 2 до 7 хв набуває інверсійного характеру з точкою інверсії 3,1...3,3 хв для маси рідкого скла в межах 0,5...2,5%, використаного для плакування кварцового піску.

Перелічені вище результати досліджень раніше відомі не були.

### **Практичне значення результатів роботи**

Практична цінність роботи полягає в тому, що:

- розроблено загальні технологічні рекомендації по виробництву одноразових ливарних форм і стрижнів за способом паро-мікрохвильового затвердіння;
- встановлено умови зберігання і підготовки кварцових пісків, плакованих силікатом натрію, та виробів з них;
- розроблено технологічні рекомендації зі склеювання рідким склом піщано-рідкоскляних ливарних форм і стрижнів в мікрохвильовому випромінюванні;
- розроблено технологічні рекомендації щодо попередження виникнення в ливарних формах та стрижнях внутрішніх тріщин та дефекту «вимоїна»;
- одержано функціональні залежності між обсіпальністю, газопроникністю, крихкістю, міцністю при статичному стисненні (розтягуванні) та роботою вибивання структурованих сумішей з виливків за умов відсутності хімічних або фізичних перетворень під дією теплоти, що виділяється при затвердінні та охолодженні залитого в них розплаву.

Їх використання дозволить:

- для виготовлення піщано-рідкоскляних форм та стрижнів за ПМЗ-процесом використовувати матеріали виключно українського походження та відмовитися від використання сполучних матеріалів іноземного походження;
- зменшити витрати рідкого скла у суміші;
- скоротити трудомісткість ущільнення суміші для ливарних форм та стрижнів;
- скоротити час виготовлення ливарних форм та стрижнів;
- скоротити трудомісткість операцій вибивки виливків з форм і стрижнів з виливків;
- усунути шкідливі викиди з залитих форм та стрижнів у повітря ливарного цеху;
- зменшити кількість без зворотних втрат кварцового піску та витрати на його утилізацію;
- підвищити якість ливарних форм, стрижнів, виливків;
- зменшити собівартість виготовлення литва.



Ця практична значущість підтверджено результатами промислових випробувань на ПП «БУД-МАШ» (м. Житомир) (акт від 03.09.2020 р.), впровадженням в ливарних цехах на ПрАТ «Одеський машинобудівний завод» (м. Одеса) (акт від 01.07.2020 р.) та на ТОВ «ПК «Перспектива» (м. Дніпро) (акт від 27.09.2019 р.) та впровадженням в навчальний процес на кафедрі ливарного виробництва Національної металургійної академії України при виконанні випускних кваліфікаційних робіт бакалаврів та магістрів (акт від 28.11.2021 р.).

### **Повнота викладення результатів досліджень в опублікованих працях**

Основні положення та результати досліджень дисертації Солоненко Л.І. викладено в 60 наукових роботах, в числі яких:

- 3 патенти України на винахід;
- 1 патент України на корисну модель;
- 24 статті в журналах зі спеціального переліку фахових видань МОН України;
- 8 статей у виданнях, які входять до міжнародної наукометричної бази SCOPUS;
- 24 матеріали міжнародних науково-технічних та науково-практичних конференцій.

Зміст автореферату повністю ідентичен основним положенням дисертації і відображає основні її наукові результати, що отримані здобувачем.

### **Апробація результатів дисертації**

Основні результати роботи обговорено на міжнародних науково-технічних та науково-практичних конференціях: The 2<sup>nd</sup> International scientific and practical conference «Topical issues of the development of modern science» (Sofia, 2019); XI Міжнародна науково-технічна конференція «Нові матеріали і технології в машинобудуванні» (Київ, 2019); XV Міжнародна науково-практична конференція «Литво. Металургія. 2019» (Запоріжжя, 2019); The 12<sup>th</sup> International conference «Science and society» (Canada, 2019); The 1<sup>st</sup> International scientific and practical conference «Perspectives of world science and education» (Osaka, 2019); The 1<sup>st</sup> International scientific and practical conference «Priority directions of science development» (Lviv, 2019); International scientific conference «Advance of science» (Czech Republic, 2019); XII Міжнародна науково-технічна конференція «Нові матеріали і технології в машинобудуванні» (Київ, 2020); XVI Міжнародна науково-практична конференція «Литво. Металургія. 2020» (Запоріжжя, 2020); XIII Міжнародна науково-технічна конференція «Нові матеріали і технології в машинобудуванні-2021» (Київ, 2021); XVII Міжнародна науково-практична конференція «Литво. Металургія. 2021» (Запоріжжя, 2021); 81 Міжнародна



науково-практична конференція «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту» (Дніпро, 2021); The 3<sup>rd</sup> International scientific and practical conference «Modern science: innovations and prospects» (Stockholm, 2021); XVIII Міжнародна науково-практична конференція «Литво. Металургія. 2022» (Харків-Київ, 2022); XIV Міжнародна науково-технічна конференція «Нові матеріали і технології в машинобудуванні-2022» (Київ, 2022).

### **Зауваження по дисертаційній роботі.**

За дисертаційною роботою можна зробити наступні зауваження:

1. З літературного огляду та описаної методики проведення досліджень не зрозуміло чому саме обрана частота мікрохвильового випромінювання 2,45 ГГц?
2. В тексті дисертації бажано було б вказати на яку глибину кварцового піску та інших зернистих вогнетривких матеріалів проникає мікрохвильове випромінювання з частотою 2,45 ГГц.
3. Не зрозуміло з якою метою автор провів дослідження з напрямком обертання рис. 3.11: радіус обертання та напрям дії хвиль не змінюється. Автор не наводить пояснення за рахунок чого під час обертання проти годинникової стрілки на зразках 2 та 8 є значне підвищення.
4. Є не зрозумілим і відсутні пояснення розрахунку довірчого інтервалу на рис. 4.9 за віссю X. Крім того вони мають однакове значення для всіх випадків.
5. З метою підвищення точності одержання результатів за номограмою 4.41 доцільно розширити діапазон від 1000 см<sup>3</sup>.
6. У роботі було б доцільно дослідити чи впливає щільність пінополіуретану на час випаровування води з нього і яким чином?
7. В тексті автореферату та дисертації мають місце деякі неточності, зокрема:
  - в пункті 5 наукової новизни (в авторефераті та дисертації) в слові «рідкоскляних» пропущена буква "д";
  - в авторефераті в табл. 7 зроблено неточне посилання (на рис. 22 замість рис. 24);
  - в авторефераті та дисертації у пункті 1 загальних висновків відсутня кома перед «є актуальною»;
  - в тексті дисертації на сторінці 308 (8 строчка знизу) в середині слова «Результати» надруковано дефіс,
  - назву журналу «Теорія і практика металургії» на стор. 412 (Додаток А) надано як «Теорія та практика металургії».



## **Рекомендації щодо подальшого використання результатів роботи**

Результати дисертаційної роботи Солоненко Л.І. можуть бути рекомендовані працівникам ливарних цехів, центральних заводських лабораторій, відділам головного металурга профільних підприємств з виробництва виливків загальномашинобудівного призначення, аспірантам і докторантам зі спеціальності 05.16.04 – Ливарне виробництво, науковцям, а також викладачам коледжів та вищих навчальних закладів для використання у навчальному процесі при викладанні відповідних розділів лекційних курсів.

### **Оцінка мови, стилю й оформлення дисертації**

Дисертація написана державною добротною технічною мовою.

Стиль дисертації забезпечує доступність і легкість сприйняття викладених в ній матеріалів досліджень, наукових положень, висновків, розробок, рекомендацій тощо.

Дисертація та автореферат оформлені відповідно до вимог щодо докторських дисертацій.

### **Відповідність змісту дисертації спеціальності**

Дисертаційна робота Солоненко Людмили Ігорівни «Теоретичні та технологічні основи паро-мікрохвильового структурування піщано-рідкоскляних сумішей для виготовлення виливків» за своїм змістом відповідає паспорту спеціальності 05.16.04 – Ливарне виробництво.

### **Висновок про відповідність дисертації встановленим вимогам**

Дисертація Солоненко Людмили Ігорівни є завершеною кваліфікаційною науковою роботою, що має внутрішню єдність, характеризується системністю нових знань щодо об'єктивних законів природи, базується на фундаментальних положеннях сучасної науки і свідчить про особистий внесок автора в науку, містить нові науково обґрунтовані результати, які не викликають сумніву.

Отримані в дисертаційній роботі результати у сукупності розв'язують актуальну науково-технічну проблему, яка полягає в розробці наукових і технологічних основ паро-мікрохвильового структурування піщано-рідкоскляних сумішей для виготовлення виливків.

Зроблені зауваження та побажання не мають принципового характеру до суті дисертації і не знижують її загальної позитивної оцінки.

Наукові положення дисертації, висновки та рекомендації є достовірними та відповідають об'єктивній дійсності.



Мова та стиль дисертації відповідають вимогам до науково-технічних текстів та публікацій.

Зміст автореферату повністю відповідає тексту дисертації, а основні наукові положення, що містяться в них, ідентичні.

Дисертаційна робота відповідає всім вимогам пунктів 7 та 9 «Порядку присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук», затвердженого Постановою КМУ №1197 від 17.11.2021 року, є закінченою кваліфікаційною науковою роботою, а її автор Солоненко Людмила Ігорівна, заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.16.04 – Ливарне виробництво.

Офіційний опонент:

доктор технічних наук, доцент, завідувач  
кафедри ливарного виробництва,  
Навчально-науковий інститут  
матеріалознавства та зварювання ім. Є.О. Патона,  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

Михайло ЯМШИНСЬКИЙ

