

Рецензія

рецензента к.т.н., доцента Тульської Альони Геннадіївни
на дисертаційну роботу Соловйова Євгена Леонідовича
«Формування питомого електроопору доменного коксу під впливом
сировинних та технологічних чинників його виробництва»
подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю
161 – Хімічні технології та інженерія

1. Актуальність теми

Актуальність роботи зумовлена стратегічною роллю доменного коксу в металургійному виробництві та гострою потребою в управлінні його властивостями в умовах дефіциту якісної сировини. Питомий електричний опір (ПЕО) виступає інтегральним показником структурної впорядкованості вуглецевої матриці, проте відсутність системних даних про вплив модифікаторів (карбідів бору, кремнію) та альтернативної сировини на цей показник обмежує можливості цілеспрямованого регулювання якості коксу.

Доменний кокс є ключовим матеріалом у металургійному виробництві, що визначає ефективність доменного процесу, якість чавуну та економічні показники роботи підприємства. В умовах дефіциту високоякісного коксівного вугілля, погіршення його сировинної бази та посилення екологічних вимог виникає гостра потреба у розробці науково обґрунтованих підходів до управління властивостями коксу через регулювання сировинних і технологічних параметрів його виробництва.

Сучасні вимоги до коксу передбачають не лише високу механічну міцність і низьку реакційну здатність, але й контрольовані електропровідні характеристики, що особливо актуально для феросплавного виробництва та створення композиційних вуглецевих матеріалів. Відсутність достовірних математичних моделей для прогнозування ПЕО на основі петрографічних, технологічних і термохімічних параметрів унеможливує цілеспрямоване регулювання властивостей коксу.

Використання нанодисперсних неорганічних добавок (карбідів бору та кремнію) і вуглеводневих органічних компонентів відкриває нові можливості для модифікації коксу, але їхній ефект на формування провідної мережі вивчено недостатньо. Розробка наукових підходів до прогнозування ПЕО на етапі підготовки шихти є фундаментальним і прикладним завданням для підвищення конкурентоспроможності галузі.

2. Зв'язок роботи з науковими програмами та темами.

Дисертаційну роботу виконано на кафедрі «Технології переробки нафти, газу та твердого палива» Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», а також в ДЕРЖАВНОМУ ПІДПРИЄМСТВІ «УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ НАУКОВОДОСЛІДНИЙ ВУГЛЕХІМІЧНИЙ ІНСТИТУТ (УХІН)». Результати виконаних здобувачем

досліджень знайшли застосування під час виконання НДР «Опрацювання напрямків брикетування вугільних концентратів на основі сировинної бази ПрАТ «ЄВРАЗ ЮЖКОКС» (ДР 0117U005374).

3. Наукова новизна одержаних результатів полягає в наступному:

– вперше встановлено, що збільшення на 1 % вмісту загальної сірки, виходу летких речовин і зольності, вугільної сировини призводить до збільшення питомого опору коксу на 0,0176 Ом·см, 0,0041 Ом·см і 0,0043 Ом·см відповідно. Збільшення на 1% вмісту вітриніту (Vt) призводить до збільшення питомого опору на 0,0013 Ом·см;

– вперше доведено, що введення органічних вуглеводневих добавок коксохімічного походження (кам'яновугільна смола, полімери бензолного відділення, кисла смола сульфатного відділення, біохімічні смоли та олії) призводить до підвищення питомого електричного опору отриманого коксу. Ця зміна властивостей тісно пов'язана з іншими важливими технологічними характеристиками коксу, такими як його міцність і реакційна здатність. Введення нафтового коксу в кількості 5 % до складу вугільної шихти викликає підвищення питомого електричного опору отриманого коксу з 0,082–0,092 Ом·см до 0,089–0,092 Ом·см. Це пов'язано з формуванням додаткової пористості та частковим порушенням спікливості шихти через різницю у структурі вуглецевих фаз;

– вперше встановлено, що введення до вугільної шихти нанопорошків карбіду бору (B₄C) та карбіду кремнію (SiC) у кількості до 0,5 % мас. істотно знижує питомий електричний опір коксу з 0,175 Ом·см до 0,147-0,156 Ом·см. Найефективнішим виявилось використання 0,25 % SiC, що сприяє формуванню щільнішої контактної мережі між вуглецевими зернами та покращенню електропровідності. Дослідження полімерних керамо-неорганічних композитів системи поліамід 6 – SiC – Cr₂O₃ – графіт показало, що введення неорганічних наповнювачів сприяє підвищенню температури плавлення з 220 °С до 224 °С та збільшенню щільності з 1195 до 1340 г/см³. Це свідчить про структурне ущільнення полімерної матриці та покращення її термостійкості. Усі досліджені композиції залишаються діелектриками ($\rho = 0$ Ом·см), що зумовлено ізолюючою дією поліамідної фази;

– вперше встановлено, що збільшення міцності коксу після реакції (CSR) на 1 % призведе до зменшення питомого опору на 0,0019 Ом·см, а зменшення показника реакційної здатності коксу (CRI) на 1 % – до зменшення опору на 0,0016 Ом·см. Встановлено чітку тенденцію зниження питомого опору зі зростанням температури коксування, що свідчить про підвищення ступеня структурного упорядкування та покращення електропровідності матеріалу. Найбільші значення опору (~0,051 Ом·см) спостерігаються при нижчих температурах (до 950 °С), коли структура коксу ще не є стабільною. При підвищенні температури до 1100–1200 °С питомий опір різко зменшується (~0,045 Ом·см), що підтверджує досягнення більш розвиненої кристалічної структури. Таким чином, доведено ключовий вплив

термічного режиму на електрофізичні властивості коксу, який необхідно враховувати під час оптимізації технології коксування;

– вперше доведено, що підвищення температури нагрівання від 100 °С до 1500 °С призводить до поступового зниження питомого електричного опору для всіх гранулометричних класів. Для класу 10–25 мм ρ зменшується з 0,022 Ом·см до 0,009 Ом·см унаслідок зростання ступеня впорядкування вуглецевої матриці, зменшення міжшарової відстані і формування електропровідних графітових доменів.

4. Практична цінність одержаних результатів та рекомендації щодо їх подальшого використання

Досліджено вплив гранулометричного складу коксового дрібняку на електропровідність коксу. Встановлено, що фракція 5–10 мм характеризується більшим питомим опором (0,028–0,033 Ом·см) порівняно з фракцією 10–25 мм (0,020–0,024 Ом·см). Зростання питомого опору дрібної фракції пояснюється більш розвиненою поверхнею та підвищеною кількістю контактних опорів між частинками.

Розроблено математичні залежності, які дозволяють розраховувати значення питомого електричного опору коксу за показниками відбиття вітриніту, виходу летких речовин, зольності, вмісту загальної сірки вугільної шихти.

Встановлено, що значення питомого електричного опору можна розраховувати за значеннями індексу реакційної здатності та міцності коксу після реакції з CO₂.

5. Повнота викладення матеріалів дисертації в наукових працях, які опубліковані автором.

За темою дисертації опубліковано 17 наукових праць, у тому числі: 4 статті у періодичних наукових виданнях, які включені до наукометричних баз Scopus та Web of Science; 3 статті у наукових виданнях, включених до переліку наукових фахових видань України; 10 тез доповідей на Міжнародних та всеукраїнських науково-практичних конференціях.

6. Аналіз змісту дисертації. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертації

Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, яка містить анотацію (українською та англійською мовами), зміст, перелік позначень та символів, вступ, п'ять розділів, висновки, список використаних джерел та додатки.

Дисертаційна робота спрямована на розробку науково-технологічних основ управління властивостями доменного коксу через регулювання сировинних чинників (компонентного складу шихти, введення органічних і неорганічних модифікаторів) та технологічних параметрів його виробництва для отримання продукту із заданим рівнем питомого електричного опору.

Об'єкт дослідження – процес формування електрофізичних властивостей (питомого електричного опору) та структурної впорядкованості доменного коксу.

Предмет дослідження – вугілля та вугільні шихти, органічні та неорганічні модифікатори (зокрема карбіди бору та кремнію), альтернативна сировина (нафтовий кокс, коксовий дріб'язок) та отриманий з них за різних режимів кокс.

Мета – на підставі виконання теоретичних та експериментальних досліджень вирішити важливе науково-практичне завдання щодо встановлення кількісних закономірностей формування питомого електричного опору коксу під впливом сировинних і технологічних чинників для цілеспрямованого регулювання його якості.

У дисертаційній роботі вирішене важливе науково-практичне завдання, яке характеризується науковою новизною і має практичне значення, а саме – розроблено наукові та практичні основи використання показника питомого електричного опору для контролю готовності коксу та створено математичні моделі прогнозування цього показника на основі петрографічних і технологічних параметрів шихти.

В експериментальній частині роботи використані сучасні стандартизовані методи визначення властивостей коксу та вугілля: технічний аналіз, визначення механічної міцності, реакційної здатності (CRI) та післяреакційної міцності (CSR). Питомий електричний опір визначали за ДСТУ 8831:2019 «Кокс. Метод визначення питомого електричного опору коксу кам'яновугільного». Також застосовано методи інфрачервоної спектроскопії та термографічного аналізу для вивчення структурних змін.

Статистичний аналіз отриманих результатів та математична обробка експериментальних даних виконувалися з використанням сучасного програмного забезпечення (Microsoft Excel, OriginPro), що забезпечує високу достовірність результатів і побудованих моделей.

У вступі обґрунтована актуальність задачі, показаний зв'язок роботи з науковими темами НТУ «ХП», сформульовані мета та завдання, наведено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів.

В першому розділі проведено аналіз ПЕО як інтегрального показника якості та готовності коксу. Доведено, що цей показник відображає ступінь впорядкованості макромолекулярної структури вуглецевої матриці та її перехід у напівпровідниковий стан.

В другому розділі охарактеризовано об'єкти дослідження (вугілля різних марок, нафтовий кокс, нанодисперсні добавки) та описано експериментальну установку для визначення ПЕО за ДСТУ 8831:2019, що дозволило забезпечити необхідну точність вимірювань.

В третьому розділі викладено теоретичні засади формування електропровідної мережі в коксі. Розглянуто роль π -зв'язків та поліароматичних структур у зменшенні ширини забороненої зони та зміні опору при термічній обробці вугілля.

В четвертому розділі наведено результати експериментальних досліджень впливу петрографічного складу шихти та модифікаторів на ПЕО. Встановлено, що введення карбідів бору та кремнію суттєво впливає на

формування провідної мережі, а використання нафтового коксу дозволяє регулювати структурну досконалість продукту.

В п'ятому розділі розроблено практичні рекомендації щодо оптимізації компонентного складу шихти та температурних режимів для отримання коксу з контрольованими електропровідними характеристиками. Наведено розрахунок економічної ефективності від впровадження результатів у виробництво.

Висновки сформульовано чітко, вони повністю висвітлюють отримані результати та відповідають поставленим завданням. За своїм рівнем вони відповідають вимогам до дисертацій на здобуття ступеня доктора філософії.

Список використаних джерел (понад 160 найменувань) достатньо повно охоплює предметну галузь та відображає опрацювання автором значної кількості сучасних вітчизняних та закордонних праць, включаючи публікації у виданнях, що індексуються Scopus та Web of Science.

7. Достовірність отриманих результатів та висновків

Достовірність отриманих результатів зумовлено поставленими метою та завданнями, а також використанням відповідної методології дослідження. Крім того, достовірність заявлених положень обґрунтовується комплексним підходом у вивченні визначеного об'єкта, що також зумовлює і низку певних методів, які були використані в процесі дослідження.

8. Оформлення дисертації, дотримання вимог академічної доброчесності та повнота викладення наукових положень і результатів в опублікованих працях.

Дисертація виконана з дотримання вимог академічної доброчесності, отримані результати дають підстави говорити про оригінальність роботи. У тексті містяться авторські ідеї, і не виявлено використання ідей інших науковців без посилання на їх роботи.

Дисертаційна робота має логічну структуру. Основні висновки повністю відповідають поставленим завданням дослідження та логічне витікають з отриманих результатів дослідження.

Проведено перевірку дисертації на наявність академічного плагіату, отримані результати свідчать про високу індивідуальність дисертаційної роботи. Використання результатів, отриманих іншими науковцями супроводжується відповідними посиланнями на відповідні джерела.

Всі основні положення та найбільш важливі наукові результати дисертації, опубліковані в необхідному обсязі у фахових наукових виданнях України та закордонних періодичних виданнях, пройшли відповідну апробацію на міжнародних та всеукраїнських науково-практичних конференціях.

Основні матеріали дисертаційної роботи представлені в 17 наукових працях, у тому числі: 4 статті у періодичних наукових виданнях, які включені до наукометричних баз Scopus та Web of Science; 3 статті у наукових

виданнях, включених до переліку наукових фахових видань України; 10 тез доповідей на Міжнародних та всеукраїнських науково-практичних конференціях.. Усі публікації містять результати роботи автора на окремих етапах виконання дисертаційної роботи та відображають основні її положення і висновки.

8. Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.

1. У роботі було б доцільно ширше представити порівняння результатів ПЕО з показниками реакційної здатності (CRI) для ширшого спектра вугільних шихт.

2. Деякі графічні матеріали (діаграми в 3-му розділі) мають занадто дрібний шрифт, що дещо ускладнює їх сприйняття.

3. Бажано було б надати більше інформації щодо стабільності показника ПЕО при зберіганні коксу на відкритих майданчиках.

Висновки.

Представлена дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, яка містить нові науково-обґрунтовані результати. У дисертації розв'язано актуальну науково-прикладну задачу, яка має важливе значення для галузі знань 16 – Хімічна інженерія та біоінженерія. Тема і зміст дисертації відповідають спеціальності 161 – Хімічні технології та інженерія.

Отже, враховуючи актуальність теми, отримані результати та певну практичну значущість вважаю, що дисертаційна робота Соловйова Євгена Леонідовича «Формування питомого електроопору доменного коксу під впливом сировинних та технологічних чинників його виробництва» відповідає вимогам 6,7,8,9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії» від 12.01.2022р № 44 та Вимогам МОН України щодо оформлення дисертації № 40 від 12.01.2017, а сам автор, Соловйов Євген Леонідович, заслуговує присудження йому наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 161 – Хімічні технології та інженерія.

Рецензент – доцент кафедри
технології переробки нафти,
газу та твердого палива
НТУ «ХП»
к.т.н., доцент

