

міді значно нижче, ніж у зразках з добавкою оксиду. Це свідчить про те, що зразки після введення оксиду мають вищу релаксаційну стійкість ніж у чистій міді. Цей результат підтверджується також після зйомки кривих релаксації напружень на протязі 25 хвилин. Але невелика кількість оксиду алюмінію – 5 г/л значно знижує релаксаційну стійкість. Це свідчить про не монотонність залежності релаксаційної стійкості від вмісту оксиду. Більш детальний аналіз отриманих результатів потребує комплексних структурних досліджень, що є метою наших подальших досліджень.

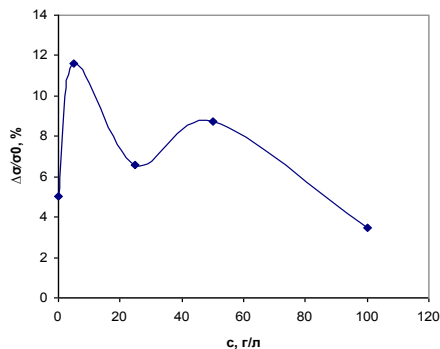


Рис. 3. Залежність релаксаційної стійкості від вмісту зміцнювальної фази

Висновки

1. Розроблено методику отримання фольг електроосаджених композитів мідь – оксид алюмінію.

2. Вивчено вплив зміцнювальної фази на міцнісні властивості композитів, а також їх релаксаційні параметри.
3. Визначено, що релаксаційна стійкість немонотонно залежить від концентрації оксиду алюмінію.
4. Рекомендовано у якості оптимального змісту зміцнювальної фази використовувати 30–50 г/л оксиду алюмінію. Ця концентрація оксиду забезпечує як високий рівень міцності та високу релаксаційну стійкість.

Література

1. A. I. Il'insky, S. I. Lyabuk, A. I. Zubkov // Functional Materials. – 2003. – 10. № 1. – P. 52–54.
2. Сайфуллин, Р.С. Комбинированные электрохимические покрытия и материалы. [Текст] / Р.С. Сайфуллин. М.: Химия, 1972.- 167 с.
3. Г. А. Малыгин. // Физика твердого тела – 2005.- т.47.- в.7.-С. 1247 – 1252.
4. Бенгус, В.З. С.Н. Комник, Е.Д. Табачникова // Физика конденсированного состояния. 1979.-№ 5.- С. 137 – 151.
5. Доценко, В.И. Современные проблемы низкотемпературной пластичности материалов [Текст] / В.И. Доценко, А.И. Ландау, В.В. Пустовалов. – Киев: Изд-во «Наукова думка», 1987.- 162 с.
6. Гуляев, Б.Б. Структура и свойства сплавов. [Текст] / Б.Б. Гуляев, Н.В. Камышанченко, И.М. Неклюдов, А.М. Паршин, Е.И. Пяхин. - М: «Металлургия». 1993.- 317 с.

Розроблена установка для вимірювання теплопровідності сипучих вуглецевих матеріалів гранулометричним складом від 0 до 10 мм в температурному діапазоні 100–1000 °С. Отримані дані по теплопровідності однокомпонентної шихти з різними пропорціями її складових та різного фракційного складу

Ключові слова: теплопровідність, коксовий дріб'язок, вимірвальна установка

Разработана установка для измерения теплопроводности сыпучих углеродных материалов гранулометрическим составом от 0 до 10 мм в температурном диапазоне 100–1000 °С. Получены данные по теплопроводности однокомпонентной шихты с различными пропорциями ее составляющих и различного фракционного состава

Ключевые слова: теплопроводность, коксовая мелочь, измерительная установка

This article represents designed apparatus for measuring the thermal conductivity of bulk carbon material with particle size distribution from 0 to 10 mm and the temperature range 100 - 1000 °C. The thermal conductivity of one-component blend with different proportions of its components and with different fractional composition are received

Keywords: thermal conductivity, coke breeze, measuring apparatus

УДК 536.2.081.7

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛО- ПРОВІДНОСТІ ВУГЛЕЦЕВИХ МАТЕРІАЛІВ

Т. В. Чирка
Аспірант

Кафедра хімічного, полімерного та
силікатного машинобудування
Національний технічний університет
України "Київський
політехнічний інститут"
пр. Перемоги, 39, м. Київ,
Україна, 03056
Контактний тел.: (044) 406-83-09,
096-706-86-01
E-mail: mustford@ukr.net

Постановка проблеми

Дослідження, про які йде мова в статті, належать до галузі енергозбереження в графітувальних печах.

Високотемпературні агрегати важкої промисловості вимагають підвищених вимог до теплоізоляційних матеріалів, які в них використовуються, і які повинні бути стійкими до температурним та механічним навантажень.

Серед використовуваних у важкій промисловості матеріалів в якості теплоізоляції найбільший інтерес викликає кам'яновугільний кокс.

Варто виділити клас дрібного кам'яновугільного коксу гранулометричною фракцією до 10 мм, який називається коксовим дріб'язком. Коксовий дріб'язок використовують в якості засипочного, пересипочного та теплоізоляційного матеріалу в графітувальних та випалювальних печах електродного виробництва [1].

Якість графітованих електродних виробів пов'язують із властивостями теплоізоляційних матеріалів [2], висуваючи до них такі вимоги як високий електричний опір, низьку теплопровідність і достатню пористість.

Рівномірність температурного поля по об'єму печі можна досягнути за рахунок зменшення теплопровідності матеріалу теплоізоляції. Використання оптимальної теплоізоляційної шихти та пересипки може зменшити енергетичні витрати на 6 % (300 кВт·год/т).

Таким чином, теплопровідність коксового дріб'язку являється одним з важливих факторів, що визначають ефективність печей графітації та процесу електрографітового виробництва в цілому.

Аналіз досліджень і публікацій

В літературних джерелах присутня велика кількість даних по теплофізичних властивостях вуглецевих матеріалів, проте їхній аналіз показав наявність лише опису загального характеру кривих теплопровідності вуглецевих матеріалів в залежності від температури та гранулометричного складу. У вивченні теплофізичних властивостей вуглецевих матеріалів, зокрема кам'яновугільного коксу, значний внесок зробив Агроскін А.А. [3].

У своїй праці [3] Агроскін А.А. наводить значення теплопровідності вуглецевих засипок, що застосовуються при випалі електродних виробів і являються подрібненими ливарним та графітованим коксами, а також оборотною засипкою, що отримана в результаті багатократного використання графітованого коксу. Розглянуті матеріали характеризуються фракційним складом 0 – 2 мм та насипною густиною, яка для ливарного коксу становить 672 кг/м³, для графітованого коксу – 560 кг/м³, для оборотної засипки – 606 кг/м³. Теплопровідність всіх досліджуваних засипок практично лінійно зростає з підвищенням температури. Значення теплопровідності змінюються в діапазоні температур 100 – 800 °С і для ливарного коксу становлять 0,249 – 0,542 Вт/(м·К), для графітованого коксу – 0,321 – 0,623 Вт/(м·К), для оборотної засипки – 0,246 – 0,541 Вт/(м·К). Найбільшою теплопровідністю характеризується графітований кокс, не дивлячись на те, що він має найменшу насипну густину. Серед резуль-

татів досліджень приведено вплив гранулометричного складу на теплопровідність засипок з ливарного та графітованого коксу. Автор розділяє матеріал на класи крупності, мм: 0 – 0,5; 0,5 – 1; 1 – 2; 2 – 3; 3 – 4; 4 – 5; 5 – 6; 6 – 8. Результати дослідження приведені в температурному діапазоні 100 – 600 °С і характеризуються загальною тенденцією зростання теплопровідності із збільшенням розміру зерен вуглецевої засипки на всьому інтервалі температури. Наприклад, теплопровідність графітованого коксу в діапазоні фракцій 0 – 8 мм при 600 °С зростає від 0,58 до 1,34 Вт/(м·К).

Лутков А.І. [4] систематизував дані по теплових та електричних властивостях вуглецевих матеріалів, серед яких присутні дані по теплопровідності зернистих вуглецевих матеріалів, використовуваних в печах графітації, а саме графітований ливарний кокс, коксовий дріб'язок. Досліди були проведені із використанням газу-наповнювача аргону та в умовах вакууму. Графітований ливарний кокс фракційним складом від 5 до 15 мм та густиною 480 кг/м³ досліджений в діапазоні температури 400 – 1100 К і характеризується змінною величиною теплопровідності 0,25 – 0,94 Вт/(м·К) у вакуумі та 0,38 – 1,11 Вт/(м·К) в середовищі аргону. Для коксового дріб'язку розміром частинок від 5 до 15 мм і густиною 450 кг/м³ автор приводить значення теплопровідності в температурному діапазоні 400 – 900 К, які становлять 0,15 – 0,87 Вт/(м·К) у вакуумі та 0,2 – 0,96 Вт/(м·К) в середовищі аргону. Коксовий дріб'язок фракційним складом 0 – 5 мм та густиною 785 кг/м³ при зміні температури від 400 до 900 К характеризується зростаючою теплопровідністю від 0,1 до 0,43 Вт/(м·К) у вакуумі та від 0,21 – 0,59 Вт/(м·К) в середовищі аргону.

Кузнецов Д.М. [5] розглядає металургійний кокс фракційним складом від 0 до 4 мм. Автор приводить значення теплопровідності 0,269 – 2,266 Вт/(м·К) для діапазону температури від 300 до 1600 °С.

Знамеровський В.Ю. [6], розробляючи математичну модель промислового процесу графітації, застосував дані по теплопровідності пересипки та теплоізоляції на основі металургійного коксу. Приведена автором теплопровідність металургійного коксу з гранулометричним складом 10 – 25 мм для діапазону температури 0 – 3000 °С змінюється від 0,7 – 16,8 Вт/(м·К), а теплопровідність коксового дріб'язку розмірами частинок 0 – 10 мм для того ж температурного діапазону становить 0,5 – 13,5 Вт/(м·К).

Наявність в літературі даних по теплопровідності кам'яновугільного коксу в широкому діапазоні значень в залежності від температури та гранулометричного складу не дозволяє застосувати їх для розрахунків теплових полів при конкретних технологічних умовах в печах графітації. Така ситуація створює підстави для більш детального дослідження теплопровідності кам'яновугільного коксу в діапазоні температур 100 – 1000 °С та гранулометричного складу 0 – 10 мм.

Аналізуючи літературні джерела за методами дослідження теплопровідності, можна виділити стаціонарні та нестаціонарні методи. Незважаючи на переваги нестаціонарних методів (менша тривалість дослідів, комплексне вимірювання теплофізичних параметрів), існують недоліки, які полягають в тому, що теорія цих методів припускає слабку залежність теплофізичних характеристик від температури, а уста-

новки, що реалізують ці методи, досить інерційні, вимагають для здійснення вимірювань створення досить великих градієнтів температури у досліджуваному зразку. Беручи до уваги точність, надійність та простоту стаціонарних методів дослідження, був обраний метод коаксіальних циліндрів, який хоч і вимагає значних витрат часу на проведення дослідів, являється досить зручним у реалізації. Метод коаксіальних циліндрів дозволяє зменшити похибку, пов'язану з бічним теплообміном зразків, при порівняно невеликій потужності нагрівника провести високотемпературні вимірювання, при цьому тепловий потік визначати безпосередньо по потужності електричного нагрівника. Знаходження теплопровідності методом коаксіальних циліндрів здійснюється чисельним рішенням зворотної задачі теплопровідності і характеризується високою точністю отриманих результатів.

Серед описаних в літературі установок, що дозволяють реалізувати метод коаксіальних циліндрів, найбільш близькою по суті являється установка, виконана М.Б. Варгафтиком та Є.В. Смірною [7]. Для розігріву вимірювальної чарунки до необхідної температури використовується фоновий нагрівник опору. Недоліком вказаного пристрою являється те, що він не може бути використаний для вимірювання теплопровідності сипучих матеріалів, а зовнішнє розміщення фонового нагрівника не дозволяє здійснювати вимірювання при високих температурах. Тому виникає необхідність створення установок з можливістю вимірювання теплопровідності зернистих та порошкових матеріалів гранулометричною фракцією від 0 до 10 мм в діапазоні температур 100-1000 °С.

Формулювання цілей статті

Метою роботи є розробка, виготовлення установки для визначення теплопровідності сипучих матеріалів, налагодження установки та дослідження вуглецевого дисперсного матеріалу гранулометричним складом від 0 до 10 мм у високотемпературному діапазоні 100-1000 °С.

Розроблена установка та результати вимірювань теплопровідності вуглецевих матеріалів

Установка повинна відповідати наступним умовам:

- робочий діапазон температур від 100 до 1000 °С;
- максимальний розмір гранулометричних фракцій – 15 мм;
- повна (сумарна) відносна похибка результатів вимірювань – не більше 16 %.

В основу установки покладена форма досліджуваного матеріалу – циліндричний шар з нагрівником по осі циліндра. Обробка результатів вимірів істотно спрощується, якщо тепловий потік, створюваний нагрівником, поширюється тільки в радіальному напрямку. У цьому випадку в циліндричних координатах можна розглядати одномірний тепловий потік. Стаціонарний метод циліндра характеризується безпосереднім визначенням теплового потоку по потужності електричного нагрівника та дозволяє розрахувати значення теплопровідності за формулою, Вт/(м·К):

$$\lambda = \frac{q_l \cdot \ln(d_2/d_1)}{\Delta t \cdot 2\pi},$$

де Δt , °С – різниця температур, викликана включенням основного нагрівника;

d_2, d_1 , м – відповідно, зовнішній і внутрішній діаметри шару досліджуваного матеріалу;

q_l , Вт/(м·К) – лінійна густина теплового потоку, тобто тепловий потік, віднесений до одиниці довжини.

Лінійна густина теплового потоку визначається за формулою:

$$q_l = \frac{U \cdot I}{l},$$

де U – різниця потенціалів на основному нагрівнику, В;
 I – електричний струм, що проходить через основний нагрівник, А;

l – довжина ізотермічної ділянки нагрівника, м.

Схема установки показана на рисунку 1.

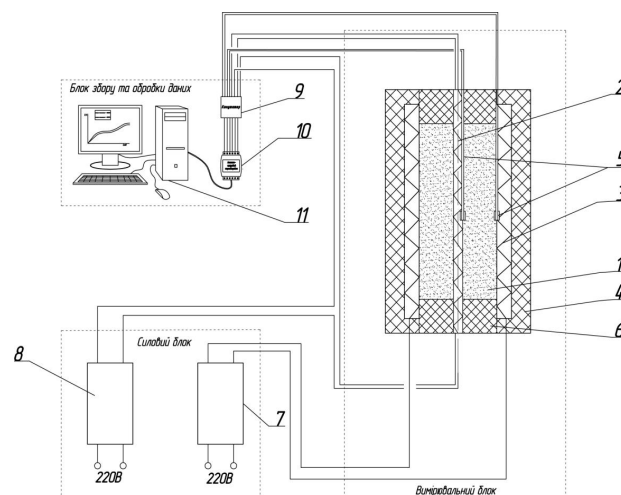


Рис. 1. Схема установки вимірювання теплопровідності вуглецевих матеріалів: 1 – досліджуваний матеріал; 2 – основний нагрівник; 3 – фоновий нагрівник; 4 – футеровка і теплоізоляція чарунки; 5 – вимірювальні термопари; 6 – теплоізоляційна пробка; 7 – регулятор напруги для живлення фонового нагрівника; 8 – регулятор напруги для вимірювальної ділянки; 9 – комутуючий пристрій; 10 – аналого-цифровий перетворювач; 11 – блок обробки і реєстрації даних(ПК)

Установка для вимірювання теплопровідності складається із трьох частин: вимірювальний блок, силовий блок, блок збору та обробки даних.

Вимірювальний блок представляє собою конструкцію з нагрівального вузла та теплоізоляції. Нагрівальний вузол складається з фонового нагрівника 3 та основного нагрівника 2, розміщених концентрично і утворюючих кільцевий проміжок, в якому розміщують досліджуваний матеріал 1. При цьому зразок має співвідношення висоти до зовнішнього діаметру не менше 3:1. З торців досліджуваного матеріалу розміщені муліто-кременеземисті пробки 6 з осевими отворами для основного нагрівника, які щільно закривають вимірювальну чарунку, знижу-

ючи нерівномірність температурного поля усередині осевого каналу. Теплоізоляція включає в себе муліто-кремнеземисті фасонні плити, які затискають фоновий нагрівник з торців для зменшення теплових втрат в осевому напрямку, а також теплоізоляційний шар вогнетривкої вати, розміщеної із зовнішньої сторони фонового нагрівника для зменшення теплових втрат у радіальному напрямку.

Досягнення необхідного температурного режиму здійснюється за допомогою фонового та основного нагрівників. Регулювання потужності нагрівників здійснюється силовим блоком, який включає в себе регулятор напруги для живлення фонового нагрівника 7 та основного нагрівника 8.

Покази вимірювальних хромель-алюмелевих термомар 5, напруга та струму основного нагрівника надходять на блок збору та обробки даних, який складається з комутуючого пристрою 9, аналого-цифрового перетворювача 10 та блоку обробки і реєстрації даних (ПК) 11.

Розрахунок похибки вимірювання

Для розробленої установки була розрахована відносна систематична похибка, яка включає методичні похибки та приладові похибки вимірювання.

Відносні методичні похибки для розробленої установки (з вірогідністю $W=0,68$):

– неоднорідність температурного поля по висоті $\delta_1^{метод}(\lambda) = 2,99\%$;

– неконцентричність нагрівників $\delta_2^{метод}(\lambda) = 1,12\%$.

Сумарна відносна систематична методична похибка вимірювання теплопровідності становить

$$\delta^{метод}(\lambda) = \sqrt{(\delta_1^{метод}(\lambda))^2 + (\delta_2^{метод}(\lambda))^2} = 3,19\%$$

Відносні приладові похибки:

– вимірювання напруги (е.р.с.) $\delta_{пр}(U) = 0,133\%$;

– вимірювання струму електричного нагрівника $\delta_{пр}(I) = 0,083\%$;

– вимірювання розмірів $\delta_{пр}(L) = 0,09\%$;

– вимірювання температури $\delta_{пр}(\Delta t) = 4,06\%$.

– співвідношення діаметрів досліджуваного зразка.

$\delta_{пр}(d_3/d_{вн}) = 0,52\%$

Сумарна приладова систематична похибка вимірювання теплопровідності складає

$$\delta_{пр}(\lambda) = \sqrt{(\delta_{пр}(U))^2 + (\delta_{пр}(I))^2 + (\delta_{пр}(L))^2 + (\delta_{пр}(\Delta t))^2 + (\delta_{пр}(d_3/d_{вн}))^2} = 4,1\%$$

Сумарна систематична похибка вимірювання теплопровідності складає

$$\delta_{сист}(\lambda) = \sqrt{(\delta^{метод}(\lambda))^2 + (\delta_{пр}(\lambda))^2} = 5,19\%$$

Відносна випадкова похибка, розрахована як середньоквадратична, складає $\delta_{вип}(\lambda) = 1,1\%$.

Сумарна відносна похибка складається з відносної систематичної та випадкової похибки і становить

$$\delta_{сум}(\lambda) = \sqrt{(\delta_{сист}(\lambda))^2 + (\delta_{вип}(\lambda))^2} = 5,3\%$$

Повна відносна похибка визначення теплопровідності не перевищує 16% для вірогідності $W = 0,997$.

Налагоджувальні дослідження були проведені з використанням шамоту середньої густини при температурах від кімнатних до 800 °С. Для перевірки достовірності отриманих результатів були проведені незалежні виміри теплопровідності одного зразка на двох установках: НТУУ «КПІ» і Санкт-Петербурзького державного технологічного інституту (СПбДТІ(ТУ)). Установа Санкт-Петербурзького державного технологічного інституту пройшла сертифікацію у ВНДІМ ім. Д.І. Менделєєва. Установки мають різний принцип дії і різну конструкцію. Результати вимірювань різняться між собою на 7...12%.

Дослідження теплопровідності вуглецевих матеріалів

Теплопровідність дисперсних вуглецевих матеріалів являється ефективною характеристикою, що враховує як теплопровідність матеріалу і контактну теплопровідність на межах частинок, так і випромінювання та конвекцію в міжзерновому просторі. Ефективна теплопровідність залежить від розмірів частинок, прикладеного механічного тиску і температури [4]. Для дисперсного матеріалу фракційним складом до 10 мм конвекцією в міжзерновому просторі можна знехтувати [8] (при цьому похибка вимірювання не перевищує 2,5% при розмірі повітряних прошарків 10 мм та перепадом температури 10-25 °С). Процес перенесення теплоти випромінюванням відбувається в міжзерновому просторі та характеризується пропорційністю кубу температури.

В печах графітації в якості теплоізоляції використовують синтетичну теплоізоляційну шихту, серед компонентів якої присутні "свіжий" та оборотний вуглецевий матеріал. Оборотною вуглецевий матеріал характеризується зміненими теплофізичними властивостями після високотемпературної обробки (вище 2000 °С), при якій відбувається часткове впорядкування кристалічної решітки. Теплопровідність вуглецевих матеріалів теплоізоляційної шихти впливає на рівномірність температурного розподілу в печі графітації, що безпосередньо впливає на якість випусканої продукції. Дослідження суміші різних співвідношень "свіжого" коксового дріб'язку та оборотної однокомпонентної шихти гранулометричним складом від 0 до 10 мм дозволяє вивчити характер поведінки їхньої теплопровідності в температурному діапазоні 200...1000 °С та порівняти їх з використовуваною синтетичною теплоізоляційною шихтою.

Зведені результати дослідження теплопровідності сумішей "свіжого" коксового дріб'язку та оборотної однокомпонентної шихти із процентними співвідношеннями відповідно 100:0, 75:25, 50:50, 25:75, 0:100 та синтетичної шихти, використовуваної в печах графітації, представлені на рис. 2.

Як видно із графіків, однокомпонентна шихта, що складається з "свіжого" коксового дріб'язку, має найкращі теплоізоляційні властивості в діапазоні температур до 800 °С. Теплопровідність коксового дріб'язку при температурі 250 °С рівна 0,4 Вт/(м·К). Збільшення частки оборотної однокомпонентної шихти на 25% збільшує теплопровідність суміші на 10-20% (у середньому по всіх вимірах – на 15%). Оборотною однокомпонентна шихта при тій же температурі має теплопровідність 0,9 Вт/(м·К). При температурі 950 °С

теплопровідність коксового дріб'язку та оборотної однокомпонентної шихти дорівнює, відповідно, 1,2 Вт/(м·К) і 2,1 Вт/(м·К).

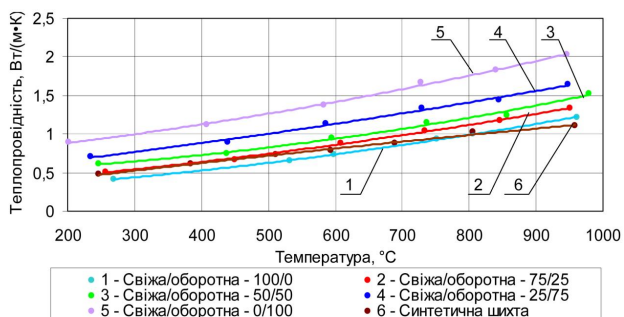


Рис. 2. Теплопровідність однокомпонентної шихти і синтетичної шихти

З результатів досліджень (рис.2) бачимо, що значення теплопровідності “свіжого” коксового дріб'язку та синтетичної теплоізоляційної шихти практично співпадають. При чому для свіжого коксового дріб'язку до 750 °С характерне нижче значення теплопровідності у порівнянні із теплопровідністю теплоізоляційної шихти, а після 750 °С – навпаки. Це можна пояснити наявністю у шихті значної частки (50 %) фракції 0 – 0,5 мм, яка заповнює повітряні пори, що при низьких температурах забезпечує передачу теплоти переважно шляхом теплопровідності, і навпаки, наявність у свіжому коксовому дріб'язку фракції 0 – 0,5 мм з часткою 25 % спричинює появу пор, що приводить до зниження теплопровідності матеріалу при низьких температурах. З ростом температури у дисперсному матеріалі із більшою пористою структурою зростає вклад випромінювання, а тому теплопровідність свіжого коксу після 750 °С перевищує теплопровідність синтетичної теплоізоляційної шихти. Щодо матеріалу дослідження – оборотного коксового дріб'язку, то високі значення його теплопровідності значною мірою визначається зміненою структурою після високотемпературної обробки.

Розмір частинки – це один із факторів, що впливає на ефективну теплопровідність дисперсних вуглецевих матеріалів. Для дослідження був вибраний коксовий дріб'язок (металургійний кокс) з розмірами від 0 до 8 мм в діапазоні температур 200 – 1000 °С.

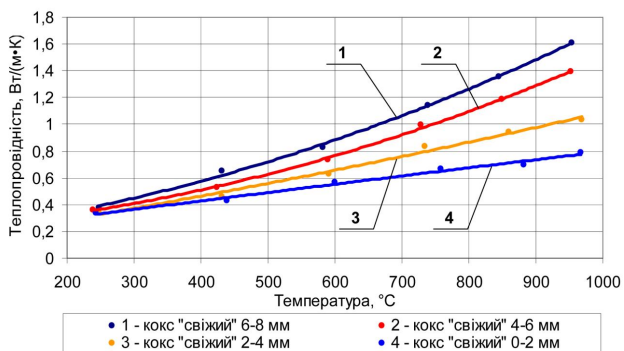


Рис. 3. Теплопровідність однокомпонентної шихти різного фракційного складу

Результати вимірювань наведені на рис. 3. При 250 °С ефективна теплопровідність для всіх досліджуваних фракцій коксового дріб'язку трохи знижується зі зменшенням розмірів гранул. З ростом температури ефективна теплопровідність коксового дріб'язку зростає і при 950 °С для фракції 6 – 8 мм в два рази вища ніж для фракції 0 – 2 мм. Проведені дослідження показали, що зі збільшенням розмірів частинок пористість зернистої системи зростає (рис.4), тобто збільшуються розміри пор між частинками. Збільшення ефективної теплопровідності в залежності від температури і розмірів фракцій пов'язане не тільки зі зменшенням контактної опору між частинками і збільшенням внеску теплопровідності матеріалу частинок, але і за рахунок збільшення частки теплоти, яка переноситься випромінюванням в порожнинах між частинками зернистої системи.

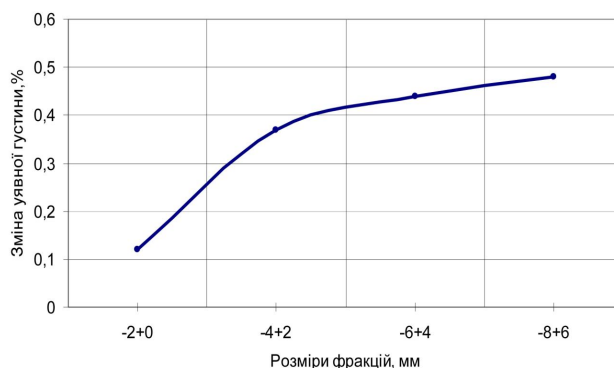


Рис. 4. Зміна уявної густини однокомпонентної шихти різного фракційного складу

Висновки

Кам'яновугільний кокс являється теплоізоляційним матеріалом, правильний вибір якого має значний вплив на ефективність роботи виробничих агрегатів і якість випусканої продукції.

Аналіз літературних даних по теплопровідності кам'яновугільного коксу показав недостатню систематизованість даних і неможливість їхнього використання для конкретних технологічних умов. Така ситуація вимагає детальнішого дослідження теплопровідності в діапазоні температур 100 – 1000 °С в залежності від розмірів гранул 0 – 10 мм.

На основі літературних відомостей для дослідження теплопровідності вуглецевих матеріалів була розроблена установка, сумарна відносна похибка вимірювання якої не перевищує 16 %.

У результаті проведення досліджень по визначенню теплопровідності однокомпонентної теплоізоляційної шихти з різними співвідношеннями складових частин (кокового дріб'язку та оборотної однокомпонентної шихти) простежується прямо пропорційна залежність теплопровідності від температури. Отримані криві показують збільшення теплопровідності однокомпонентної шихти зі збільшенням частки оборотної однокомпонентної шихти. При температурі 950 °С теплопровідність коксового дріб'язку та оборотної одно-

компонентної шихти дорівнює, відповідно, 1,2 Вт/(м·К) та 2,1 Вт/(м·К). Найменше значення теплопровідності має коксовий дріб'язок, що у температурному діапазоні 200 – 1000 °С збільшується від 0,4 до 1,25 Вт/(м·К) і має наближені теплофізичні властивості до використовуваної синтетичної теплоізоляційної шихти. При дослідженні

теплопровідності коксового дріб'язку різного фракційного складу (0-2, 2-4, 4-6, 6-8 мм) в температурному діапазоні 200 – 1000 °С були отримані результати, що характеризуються зростаючими з температурою кривими, причому ефективна теплопровідність коксового дріб'язку при 950 °С у фракції 6 – 8 мм в два рази вища ніж у фракції 0 – 2 мм.

Література

1. Чалых, Е. Ф. Технология и оборудование электродных и электроугольных предприятий / Е.Ф. Чалых. — М.: Металлургия, 1972. — С. 65.
2. Кутузов, С.В. Підвищення ефективності роботи печей графітації електродних виробів: Дис. Канд. техн. наук: 05.05.13 / Кутузов Сергій Володимирович // НТУУ "Київський політехнічний інститут". — Київ, 2007. — 196 с.
3. Агроскин, А.А. Теплофизика твердого топлива / А.А. Агроскин, В.Б. Глейбман. — М.: Недра, 1980. — 256 с.
4. Лутков, А.И. Тепловые и электрические свойства углеродных материалов / А.И. Лутков. — М.: Металлургия, 1990. — 176 с.
5. Кузнецов, Д.М. Процесс графитации углеродных материалов. Современные методы исследования: Монография / Д.М. Кузнецов, В.П. Фокин. — Новочеркасск: ЮРГТУ, 2001. — 132 с.
6. Разработка математической модели промышленного процесса графитации с целью его оптимизации и усовершенствование: Отчет о НИР ГосНИИЭП, Инв. № 02850062203/ Сб.реф. НИР и ОКР, ВНИИЦентр. — серия 17. — 1986. — № 15 — реферат 61.86.165.
7. Годовский, Ю.К. Теплофизические методы исследования полимеров / Ю.К. Годовский. — М.: Химия, 1976 — 216 с.
8. Цедерберг, Н.В. Теплопроводность газов и жидкостей / Н.В. Цедерберг. — М.: Госэнергоиздат, 1963. — 408 с.
9. Чудновский, А. Ф. Теплофизические характеристики дисперсных материалов / А. Ф. Чудновский. — М.: Физматгиз, 1962. — 456 с.

Вивчені процеси, що протікають при безперервному охолодженні сталі 80ХЗСВФ з температури аустенізації в сыпучому графіті, на повітрі і з піччю. Встановлено, що із зменшенням швидкості охолодження збільшується тривалість перлітового перетворення

Ключові слова: структура, нагрів, сталь, термообробка

Изучены процессы, протекающие при непрерывном охлаждении сталей 80ХЗСВФ с температуры аустенитизации в сыпучем графите, на воздухе и с печью, установлено, что с уменьшением скорости охлаждения увеличивается продолжительность перлитного превращения

Ключевые слова: структура, нагрев, сталь, термообработка

Processes, flowing at the continuous cooling 80ХЗСВФ became from the temperature of austenitization in a friable graphite, are studied, on air and with a stove, it is set that with diminishing of cooling speed duration of pearlite transformation is increased

Keywords: structure, warming, steel, heat treatment

УДК 621.7.011:669.14.018.252.3

ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА СТАЛИ 80ХЗСВФ С ПРИМЕНЕНИЕМ ОХЛАЖДЕНИЯ В СЫПУЧЕМ ГРАФИТЕ

В.К. Заблоцкий

Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой*
E-mail: tolp@dgma.donetsk.ua

В.И. Шимко

Аспирант
E-mail: tolp@dgma.donetsk.ua

*Кафедра «Технологии и оборудование литейного производства»
Донбасская государственная машиностроительная академия
ул. Шакинова, 72, г. Краматорск, Украина, 84313

А.И. Шимко

Кандидат технических наук, начальник лаборатории
Лаборатория металловедения и термической обработки, отдел
главного металлурга
Публичное акционерное общество «Новокраматорский
машиностроительный завод»
ул. Орджоникидзе, 5, г. Краматорск, Украина, 84305
Контактный тел.: (06264) 7-81-79, 050-222-25-09
E-mail: mito@nkmz.donetsk.ua