

ЗАЛЕЖНІСТЬ ПИТОМОЇ ЕЛЕКТРОПРОВІДНОСТІ ВУГІЛЬНОЇ ШИХТИ ВІД ТЕМПЕРАТУРИ, СТУПЕНЮ ГРАФІТИЗАЦІЇ ТА ГРАНУЛОМЕТРИЧНОГО СКЛАДУ

Використовуючи експериментальні дані про електропровідність сипкого коксу та графітованих сумішей, одержано залежності, що дозволяють визначати питомий електричний опір залежно від вмісту сирого й графітованого коксу в суміші в діапазоні температур від 20 до 1000 °С, а також питомого електричного опору для сирого коксу й графітованої суміші залежно від її гранулометричного складу.

Ключові слова: питома електропровідність, кокс, графіт, температура, гранулометричний склад.

© Васильченко Г. М., Чирка Т. В., Лазарєв Т. В., Маловацький А. О., 2014.

Постановка проблеми. Дослідження питомого електроопору (ПЕО) вуглецевих матеріалів належить до галузі енергозбереження в графітувальних печах. Вугільні матеріали є не лише сировиною для виготовлення електродної та вуглеграфітової продукції, але й активним електричним опором для печі графітації, відновником та теплоізоляцією. Величина електричного опору дозволяє зробити висновки про структурні перетворення, які відбулися у вуглецевому матеріалі, за зовнішніх впливів на нього. ПЕО вугільної шихти суттєво впливає на рівномірність розподілу електричної потужності в об'ємі печі, а отже, на якість продукту та енергетичні затрати.

Аналіз попередніх досліджень. Під час визначення питомого електроопору вугільних матеріалів досліджували вплив температури й хімічного складу домішок, гігроскопічності тощо. А. Агроскін встановив залежність питомого опору від розміру частинок (фракцій) коксу, ступеня порівнення й тиску [1, 2]. У праці [2] наведено дані ПЕО вугільних матеріалів в діапазоні температур від 100 до 900 °С, що становить від $10^{10} \dots 10^9$ до $10^2 \dots 10^3$ Ом · см. Але одержані значення залежать від багатьох чинників і є наближеними.

Питомий електроопір нафтових коксів фракцією 0,5 мм досліджував С. Шулєпов [3]. Матеріали термообробляли до температури 1300 °С із стисним зусиллям 40 бар. В інтервалі температур оброблення спостерігали зменшення питомого опору від $1,2 \cdot 10^7$ до $6,6 \cdot 10^{-4}$ Ом · м.

А. Лутков наводить також ПЕО засипки з непропеченого («сирого») і графітованого пекового коксу різного фракційного складу (0...5, 5...15 мм) за різного тиску (2, 8, 16 кПа) [4]. ПЕО сирого коксу з частинками розміром 0...5 мм за тиску 2 кПа в діапазоні температур 100...1000 °С змінюється від 28 000 до 8 000 Ом · мм²/м, а у фракції 5...15 мм в діапазоні температур 100...2200 °С – від 5000 до 490 Ом · мм²/м. У графітованого пекового коксу із збільшенням розмірів частинок від 0 до 15 мм і підвищенням тиску від 2 до 16 кПа у температурному діапазоні 100...2200 °С ПЕО зменшується від 21 000 до 480 Ом · мм²/м.

У праці [5] наведені експериментальні дані залежності ПЕО коксу й графітованої шихти від гранулометричного складу (від 1 до 10 мм) у діапазоні температур від 100 до 1000 °С, а також складу сумішей цих матеріалів.

Загальною науковою проблемою є визначення взаємозв'язку електропровідності вугільних матеріалів із зовнішніми чинниками: температурою, попередньою термічною обробкою, гранулометричним складом, тиском. Невирішеною частиною наукової проблеми є визначення питомого опору вуглецевих матеріалів, дані щодо якого можна використовувати за умов виробництва, тобто визначення кореляційної залежності ПЕО від температури, гранулометричного складу й ступеня графітації.

Метою статті є аналіз поведінки ПЕО вугільної шихти в температурному діапазоні 100...1000 °С за гранулометричного складу 2...8 мм і вмісту сирого коксу в шихті 0...100 % із визначенням кореляційних залежностей, що дозволять розраховувати ПЕО за умов виробництва.

Таблиця 1 – Значення k і b залежно від ступеня графітації

$x, \%$	k	$b \cdot 10^{-3}$
100	1,1763	0,22569
75	0,4539	0,16233
50	0,2233	0,04767
25	0,1227	0,01402
0	0,0447	0,00606

Виклад основного матеріалу. Визначення питомої електропровідності σ та її залежності від температури та ступеня графітації вугільної шихти здійснювали за експериментальними даними, одержаними в праці [5]. Результати апроксимували прямими

$\sigma = k(x)t + b(x)$, де σ – питома електропровідність, См/м; $x = m_{\text{гп}}/(m_{\text{с}} + m_{\text{гп}})$ – частка графітованої вугільної шихти в суміші сирого та графітованої, % (табл. 1). Під сирогою вугільною шихтою мали на увазі таку, що не була у використанні, під графітованою – використану в печах за температури 2500 °С.

Коефіцієнти $k(x)$ і $b(x)$ повторно апроксимували, але експонентою й поліномом другого ступеня відповідно, що дозволило використати двопараметричну залежність $\sigma = 0,02x^2 + 0,2x + 0,048t e^{0,0314x}$, де t – температура; x – ступінь графітації шихти. Ця залежність дозволяє передбачати питому електропровідність однокомпонентної шихти залежно від ступеня її графітації.

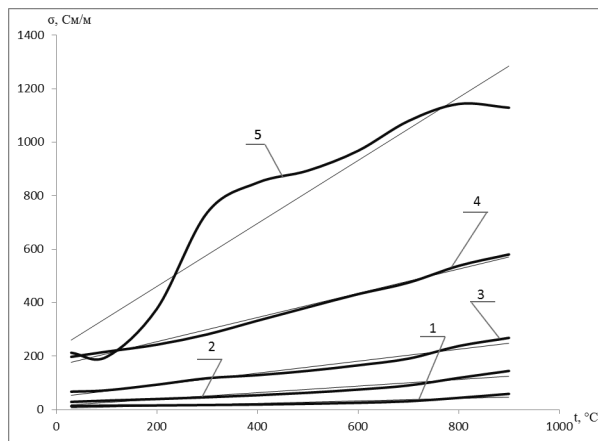
Оскільки для виготовлення електродної продукції найбільше використовують сиру та графітовану шихту гранулометричного складу fr від 1 до 10 мм, було оброблено дані про ПЕО графітованого коксового дріб'язку різного гранулометричного складу (рис. 2). Установлено, що питома електропровідність майже не залежить від гранулометричного складу. Це дозволило апроксимувати дані рівнянням $\sigma = 3,2063t + 1251,1$.

Таблиця 2 – Коефіцієнти поліному
 $\sigma = a_2 fr^2 + a_1 fr + a_0$

fr	a_0	a_1	a_2
4...6	17,329	-0,0281	$8 \cdot 10^{-5}$
6...8	21,665	-0,0113	$7 \cdot 10^{-5}$

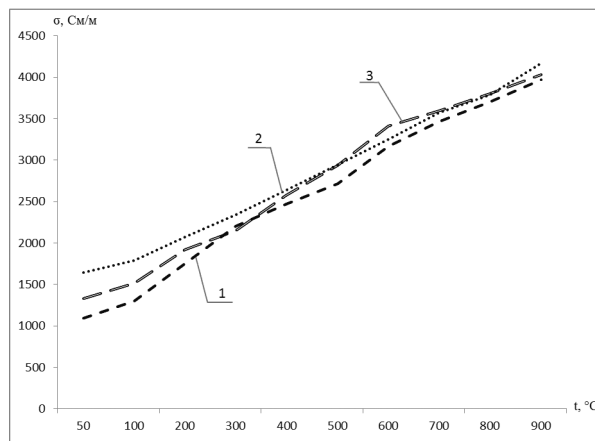
Апроксимовну пряму для різних фракційних складів графітованої шихти наведено на рис. 3.

Для «сирої суміші» неможливо ігнорувати вплив гранулометричного складу на величину питомої електропровідності. Для аналізу та апроксимації поліномом другого ступеня було обрано найуживанішу сиру шихту гранулометричним складом 4...6 і 6...8 мм (табл. 2; рис. 4). Апроксимовну пряму для різних фракційних складів графітованої шихти наведено на рис. 3.



1 – свіжий (100/0); 2 – 75/25; 3 – 50/50; 4 – 25/75; 5 – оборот (0/100)

Рис. 1 – Питома електропровідність однокомпонентної шихти за різних співвідношень сирого й графітованого коксового дріб'язку



1 – fr 0...2; 2 – fr 4...6; 3 – fr 6...8

Рис. 2 – Залежність питомої електропровідності графітованого коксового дріб'язку різного гранулометричного складу від температури

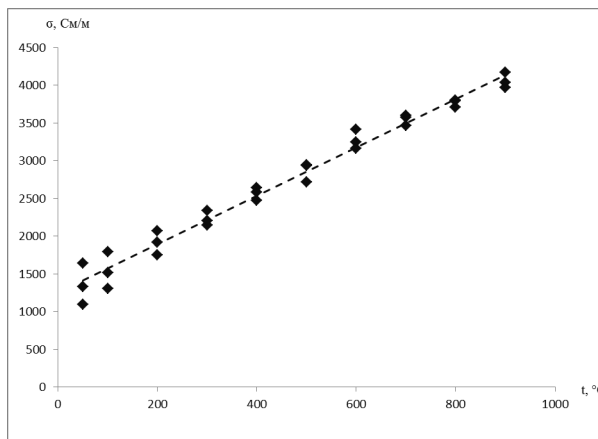
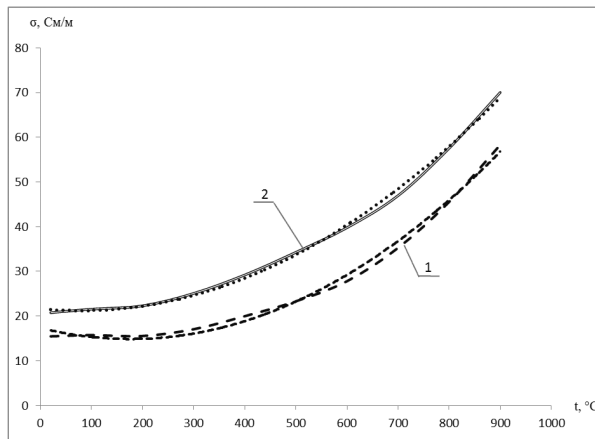


Рис. 3 – Температурна залежність питомої електропровідності графітованого коксового дріб'язку різного гранулометричного складу



1 – fr 4...6; 2 – fr 6...8

Рис. 4 – Температурна залежність питомої електропровідності сирого коксу різного гранулометричного складу

Із використанням даних табл. 2 одержано залежність питомої електропровідності сирого коксу різного гранулометричного складу від температури $\sigma = (2,168fr + 6,489) + (0,0084fr - 0,0701)t - (0,5fr - 10,5) \cdot 10^{-5}t^2$.

Таким чином ПЕО графітованого коксу лінійно зростає з підвищенням температури і не залежить від гранулометричного складу, сирого – залежить як від гранулометричного складу, так і температури.

Висновки. Найвні дані про ПЕО вуглеграфітової шихти не можна використовувати за умов виробництва без додаткового аналізу й розрахунків через залежність її властивостей від температури, гранулометричного складу вихідних матеріалів і ступеня графітації. Одержані для вугільної шихти та коксового дріб'язку кореляційні залежності надають цю можливість. У подальшому доцільно

проаналізувати можливість використання цих залежностей для косового дріб'язку й вугільної шихти різних родовищ.

Список використаної літератури

1. *Агроскин А. А.* Тепловые и электрические свойства углей / А. А. Агроскин. – М. : Гос. науч.-техн. изд-во лит. по черной и цветной металлургии, 1959.
- Агроскин А. А.* Определение электросопротивления углей и сланцев при нагревании / А. А. Агроскин, М. С. Петренко // Заводская лаборатория. – 1948. – № 7. – С. 807–812.
- Шулепов С. В.* Физика углеграфитовых материалов /С. В. Шулепов. – М. : Металлургия, 1972. – 256 с.
- Лутков А. И.* Тепловые и электрические свойства углеродных материалов /А. И. Лутков. – М. : Металлургия, 1990. – 176 с.
- Чирка Т. В.* Теплопровідність та електропровідність сипучих вуглецевих матеріалів : автореф. дис... канд. техн. наук /Т. В. Чирка. – К., 2013. – 20 с.

Надійшла до редакції 01.02.3014