

ПАНОВ Є. М., д.т.н., проф.; ПЕДЧЕНКО А. Ю., асп.
 Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

ДОЦІЛЬНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ ПЕЧЕЙ ГРАФІТУВАННЯ КАСТНЕРА У ВИРОБНИЦТВІ ЕЛЕКТРОДНОЇ ПРОДУКЦІЇ

Проаналізовано ефективність застосування печей графітування Кастнера й потреби сучасного ринку виробництва графітованих електродів. Показано основні тенденції розвитку нової технології на вітчизняному ринку.

Ключові слова: графітування, електродна продукція, дугова сталеливарна піч, піч прямого нагріву.

© Панов Є. М., Педченко А. Ю., 2014.

Постановка проблеми. Графітування вуглецевих матеріалів є складним і багатоступінчастим процесом трьохвимірною впорядкування атомів вуглецю в структуру графіту під дією високих температур. Цей етап використовує до 80 % усієї енергії, що витрачається на виготовлення графітованих виробів, і вирішальним чином визначає якість готового продукту [1]. За цих обставин є доцільним підвищення техніко-економічних показників та впровадження нових технологій графітування.

Світове виробництво графітованих електродів значною мірою залежить від випуску сталі в дугових сталеливарних печах (ДСП). Зростання світового виробництва електросталі є основним драйвером розвитку ринку графітованих електродів. Підвищення потужностей ДСП потребує виготовлення якісних електродів великих діаметрів, які доцільно графітувати лише в печах прямого нагріву (ППН) за методом Кастнера.

Метою статті є аналіз доцільності та перспектив застосування печей графітування за методом Кастнера у виготовленні електродної продукції та огляд ринку виробництва графітованих електродів.

Виклад основного матеріалу. ППН є електричною піччю опору, де вуглецеві заготовки є елементами конструкції печі та активним електричним опором. Нагрівання електродних заготовок здійснюється завдяки прямому пропусканню крізь них електричного струму. Електроди нагріваються до 3000 °С передусім завдяки виділенню в них джоулевої теплоти [2].

Графітування вуглецевих електродів за методом Ачесона є енергоємним і, відповідно, дорогим процесом, хоч і незамінним у разі використання коксу низької якості з високим вмістом сірки та азоту. Хоча більш економічний метод Кастнера (поздовжня графітизація) розроблено раніше, його не застосовували протягом тривалого часу аж до створення електричних випрямників великого струму. Поздовжньому графітуванню, що стало стандартом у виробництві графітованих електродів, надала можливість розвинутися лише доступність потужних випрямників і голчастого коксу з низьким вмістом сірки та азоту. Завод SGL Group в Італії (Асколі) був першим, що в 1960-х почав виробляти графітовані електроди за методом Кастнера в промислових обсягах [3].

Додавання оксиду заліза як інгібітора, що зменшує розтріскування електродів під час десульфуризації, у подальшому скоротило тривалість графітування до 10 год (рис. 1) [3].

Графітування електродної продукції за методом Кастнера є найбільш перспективним способом отримання якісних графітованих електродів великих розмірів. Вищих техніко-економічних показників для цього методу можна досягти шляхом вдосконалення технології та модернізації печі. Із цією метою, зокрема, покращують контактний опір, застосовуючи кільця з «гнучкого графіту», засипаючи стружку між заготовками тощо. Резистивні прокладки, що забезпечують електричний контакт між вуглецевими заготовками під час графітування, мають відповідати спеціальним вимогам. Зокрема, мати високу електропровідність, витримувати значні механічні навантаження за температур понад 3000 °С, перешкоджати появі високоомного опору у контактних ділянках під час змінення геометрії торців заготовок [4].

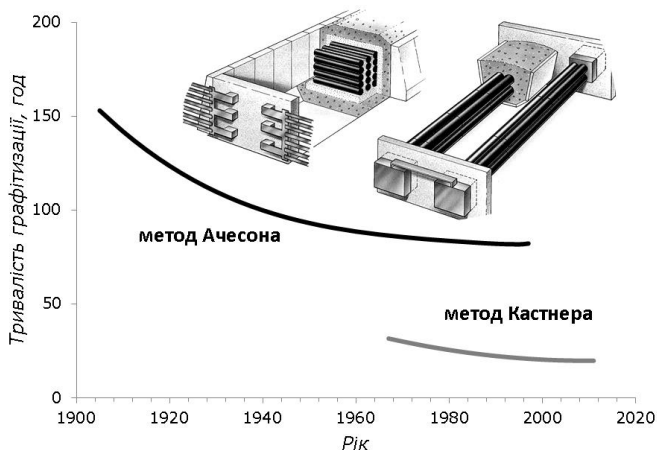


Рис. 1 – Розвиток технологій графітування

Удосконалюють також системи охолодження ділянок печі, що сприймають надвисокі температури (бокові й розділювальні стінки, шунтувальні електроди та струмовідводи). Так, основними вимогами, яким мають відповідати струмовідводи, є передача силового електроживлення, забезпечення надійного електроконтакту між заготовками. При цьому затрати енергії мають бути мінімальними, а температура поверхонь струмовідводів, що контактує з повітрям, не повинна перевищувати 600 °С (що виключає можливість інтенсивного окислення графіту) [5].

Графітування в печах Кастнера дозволяє нагрівати заготовки будь-якої довжини, забезпечуючи однорідність властивостей матеріалу за всією довжиною [2]. Ця обставина дозволяє розширити асортимент електродної продукції HP (high power – високої потужності) і UHP (ultrahigh power – надвисокої потужності), що використовується для ДСП високої й надвисокої потужностей.

Подальші перспективи розвитку дугового електросталеваріння пов'язані з переходом на печі постійного струму, в яких застосовуватимуться електроди діаметром 700...800 мм завдовжки до 2800 мм із питомим електричним опором не більше 5 мкОм · м [3]. Таку продукцію неможливо випускати в традиційних печах Ачесона. У табл.1 наведено розміри й деякі фізичні властивості найбільших за розмірами електродів, що випускають провідні компанії (за станом на березень 2014 р.).

Таблиця 1 – Розміри й фізичні властивості найбільших графітованих електродів

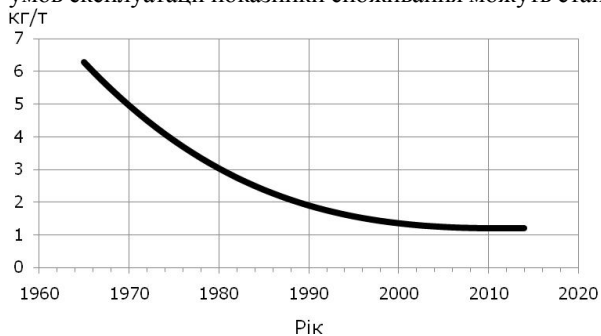
Компанія	Найбільший номінальний діаметр, мм	Найбільша номінальна довжина, мм	Питомий електричний опір, мкОм·м	Об'ємна густина, г/см ³	Температурний коефіцієнт лінійного розширення, мкм/(К · м)
SGL group	800	2700	4,0...5,5	1,68...1,77	0,3...0,6
GrafTech Internatioal	750	2700	4,0...4,9	1,67...1,75	0,2...0,5
Tokai Carbon Co.	800	2700	4,2...5,5	1,68...1,75	0,5...0,9
Група Енергопром	700	2700	4,0...6,0	1,65...1,78	0,2...0,7
ПАТ «Укрграфіт»	700	2700	8,5	1,58	2,5

Високі ціни на електроенергію та глобальна конкуренція змушують заводи й надалі покращувати ефективність виплавки сталі. Печі продуктивністю до 75 т/год, швидше за все, будуть виведені з експлуатації [3]. Наскільки можна спрогнозувати майбутнє, найближчим часом не з'явиться конкурентоспроможної альтернативи технології ДСП.

Питома витрата електроенергії під час графітування в ППН зазвичай не перевищує 3500 кВт · год/т, що на 15...25 % менше, аніж під час графітування в печах Ачесона. Окрім цього, під час графітування за методом Ачесона кінці вуглецевих виробів завжди графітуються за нижчої температури, аніж центральна частина. Цей недолік повністю відсутній в печах Кастнера [2].

Необхідність удосконалення технології ППН стає все більш актуальною, як наслідок жорсткіших вимог, що висувають металурги до якості електродів, у зв'язку з розробленням нових способів виробництва штучного графіту [6].

Основним джерелом теплової енергії в електрометалургійному процесі є електрична дуга, що горить неперервно між шихтою (чи розплавом металу) та електродною свечею. Остання, зазвичай, складається з одного чи кількох графітованих електродів. Оскільки частка вартості електродів у собівартості сталі становить 8...10 %, то за вартості графітованих електродів понад 3000 дол. США за тону головним критерієм оцінки якості роботи свечі є витрата електродного матеріалу, віднесена до маси виплавленої сталі [7]. У 1960 р. цей показник становив близько 7 кг/т. Насьогодні його зменшено до 1 кг/т (рис. 2). За спеціальних умов експлуатації показники споживання можуть становити менше 1 кг/т [3].

**Рис. 2 – Динаміка питомої витрати електродів**

Компанія SGL Group розробила комп'ютерну модель печі, за допомогою якої можна прогнозувати витрату електродів для різних параметрів ДСП, а також діаметрів електродів та їхніх фізичних властивостей [8].

За вищої електричної потужності слід використовувати електроди більшого діаметра (700...800 мм) із коксу з великим розміром зерен (понад 20 мм) (рис. 3) [9]. Подальше збільшення діаметра електродів з огляду на застосування печей постійного струму дещо загальмувалося, проте в нових великих печах змінного струму з вагою до 250 т діаметр електродів може ще більше зрости [3].

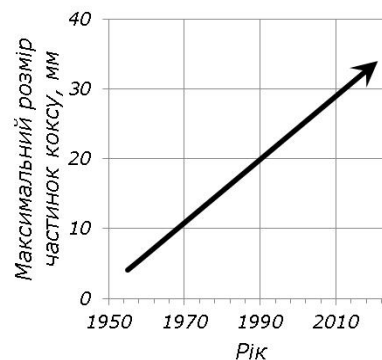
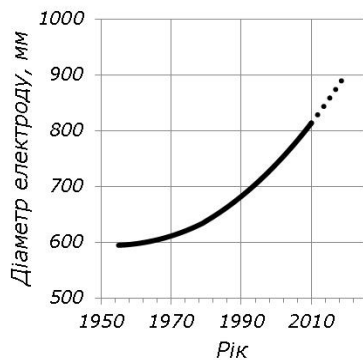


Рис. 3 – Тенденції збільшення діаметра електродів і максимального розміру зерен коксу

Висновки. Сучасний стан розвитку надпотужних ДСП потребує виробництва графітованих електродів великих розмірів, високої резистивної якості та однорідності властивостей за довжиною. Ці вимоги можна реалізувати в печах прямого нагріву. Проте ця технологія в Україні ще не реалізована, насамперед через відсутність інвестицій. Проте аналіз ринку виробництва електродної продукції свідчить, що заміна частини печей є конче необхідним.

Список використаної літератури

1. Шкуланов Е. Е. Управление с настраиваемой моделью процессом графитации электродов в печи прямого нагрева : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.13.06 / Шкуланов Евгений Евгеньевич. – Новочеркасск, 2001.
2. Kuznetsov D. M. A comparison of properties of electrodes graphitized by the Acheson and Castner methods / D. M. Kuznetsov, V. K. Korobov // *Ogneupory i Tekhnicheskaya Keramika*. – 2001. – #. 10. – P. 16–20.
3. Graphite electrode and needle coke development / R. Adams, W. Frohs, H. Jäger, K. Roussel. – Carbon 2007 Conference, 15–20 July 2007, Seattle, Washington, USA.
4. Способ получения электроконтактной прокладки (варианты) : пат. 2343112 С1 Рос. Федерация, МПК С01В31/04, С04В35/536 / С. Г. Ионов, А. А. Павлов, Д. В. Савченко и др. ; заявитель и патентообладатель ЗАО «УНИХИМТЕК» – № 2007118260/15 ; заявл. 17.05.2007 ; опубл. 10.01.2009.
5. Исследование теплоэлектрического и механического состояния критических узлов печи прямого нагрева : отчет о НИР / НИЦ «РТ» ; рук. Е. Н. Панов. – Киев, 2013. – 49 с. – Инв. № 804/34069/68.
6. Производство электродной продукции / А. К. Санников, А. Б. Сомов, В. В. Ключников и др. – М. : Металлургия, 1985. – 129 с.
7. Маслов Д. В. Разработка алгоритмов и систем управления дуговыми сталеплавильными печами, снижающих поломки электродов : дисс. ... канд. техн. наук : 05.09.10 / Маслов Дмитрий Владимирович. – М. , 2014. – 135 с.
8. The world's first 800 mm diameter graphite electrode for a DC electric arc furnace / C. Friedrich, H. Jager, K. Wimmer et al. // *Metallurgical Plant and Technology, MPT 2*. – 2002.
Monitoring system for controlling and reducing the electrode consumption in DC EAF plants / J. Borlée, M. Wauters, C. Mathy, M. Weber, M. Picco, J-C. Baumert, B. Kleimt, L. Di Sante, P. Frittella. – Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2009. – 139 p.