

14. Pat. 79165 U (UA), MPK(2006.01) B29C 47/88. Prystrij dlia oholodzhennia ekstrudovanogo materialu [The device for cooling of extruded material] ; opubl. 10.04.2013, Biul. # 7.
15. A.s. 409885 (SU), MPK B29C 47/88. Ustrojstvo dlia ohlazhdeniya ekstrudiruemih polimernih izdelij [The device for cooling of polymeric products] ; opubl. biul. # 1, 1974.
16. A.s. 446432 (SU), MPK B29C 47/88. Sposob ohlazhdeniya ekstrudiruemih izdelij [Method of cooling of extruded products] ; opubl. biul. # 38, 1974.
17. Pat. 53879 U (UA), MPK(2009) B 29 C 35/00. Prystrij dlia oholodzhennia polimernih trub [The device for cooling of polymeric tubes] ; opubl. 25.10.2010, Biul. # 20.
18. Pat. 66227 U (UA), MPK(2006.01) B29C 47/88. Sposib oholodzhennia ekstrudovanoji polimernoji truby [Method of cooling of extruded polymeric tube] ; opubl. 26.12.2011, Biul. # 24.

УДК 621.365.32:66.041.3-65

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 трьохвимірного 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 в контактних ділянках під час зміння геометрії торців заготовок [4].

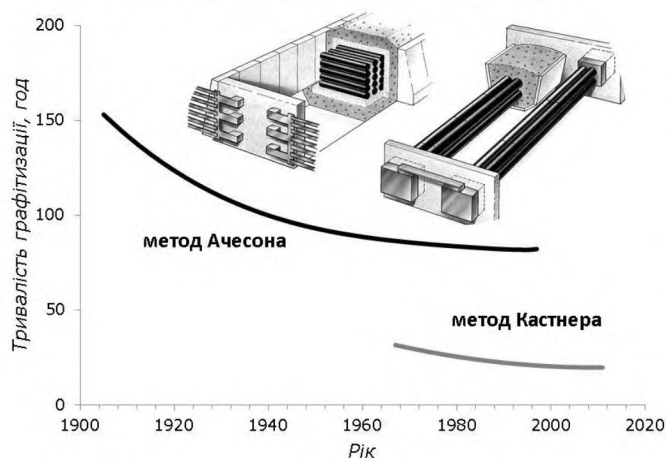


Рис. 1 – Розвиток технологій графітування

(high power – високої потужності) і UHP (ultrahight 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, ніж під час графітування в печах Ачесона. Окрім цього, під час графітування за методом Ачесона кінці вуглецевих виробів завжди графітуються за нижчої температури, ніж 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].

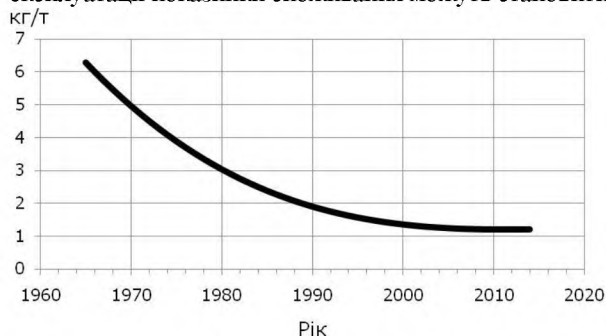


Рис. 2 – Динаміка питомої витрати електродів

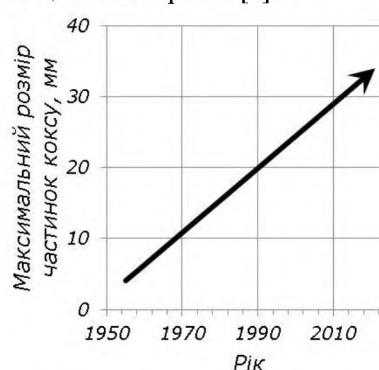
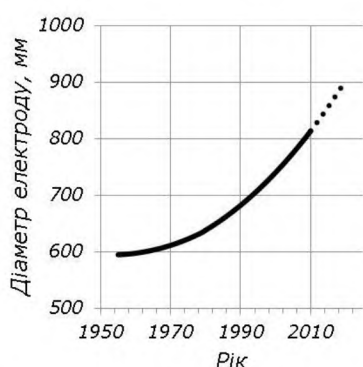


Рис. 3 – Тенденції збільшення діаметра електродів і максимального розміру зерен коксу

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 дугowymi 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.
9. 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.

Надійшла до редакції 05.09.2014

Panov Ye. M., Pedchenko A. Yu.

UTILITY OF GRAFITIZATION CASTNER FURNACES IN THE MANUFACTURING OF ELECTRODE PRODUCTS

Graphitizing of carbon materials is a complex multistage process. There is a three-dimensional arrangement of carbon atoms in the graphite structure under high temperatures. This step uses up to 80 % of all energy that is spent on graphite products manufacturing. It also has a dramatic influence on the quality of the product. In this case the increase of technical and economical rates and introducing the new technologies of graphite manufacturing are reasonable.

Acheson-type graphitization of GE was extremely energy intensive and therefore costly, but was necessary to manage previously poor coke qualities with high sulfur and nitrogen content. Although invented earlier, the more economic Castner, or so called lengthwise graphitization (LWG), was not applicable until the development of electrical rectifiers for these high currents. As these became available and needle coke with low sulfur and nitrogen was invented, LWG graphitization became the standard in the Western World for GE production. SGL Group's plant was the first to produce GE with the Castner process beginning from the 1960s.

Analysis of the global market has shown that the production of graphite electrodes (GE) depends on the production of steel in electric arc steel furnaces (EAF). The growth of world production is the main driver of the market development of graphite electrodes.

With higher electrical power input in EAFs, larger diameter electrodes were requested. As a result, higher thermal stress in the GE was the consequence. The ceramic toughening principle to hinder crack propagation on bigger particles led to the introduction of coarse grain formulations of the coke used in the GE manufacturing. With the diameter extension to ultra large diameter GE (700–800 mm) – SGL was the first to produce 800 mm diameter GE – the maximum grain size now exceeds 20 mm. This change in formulation was a challenge for the refineries in coke cutting, crushing, calcining, handling and transportation. A further increase in GE diameter in DC application seems unlikely these days. A trend to moderate diameter increase might even happen on new AC-furnaces with large tapping weights up to 250 t.

Manufacturing requires high-quality large-diameter electrodes. They must be technically and economically advisable for the usage only in directly-fired furnaces by Castner method. But the given technology is not fully realized in Ukraine. First of all, it's so due to the absence of significant investment in electrode industry. Although, as the analysis of modern market of electrode industry has shown, the situation is changing and new requirements are emerging now. For example, it's necessary to substitute the parts of furnaces according to new technology. A lot is being done in this direction: scientific investigations of the capability to produce gaskets of high quality with resistance in contact joints, modernization of refrigeration system of parts of the furnace, that undergo ultrahigh thermal load.

Keywords: *graphitization, electrode products, electric arc furnace, direct-fired furnace.*

References

1. Shkulanov E. Upravlenye s nastroyvaemoi modeli protsessom hrafytatsyy elektrodov v pechy priamoho nahreva [The adaptive model control of electrode graphitization process in directly-fired furnaces]. Novochoerkassk, 2001.
2. Kuznetsov D., Korobov V. A comparison of properties of electrodes graphitized by the Acheson and Castner methods. *Ogneupory i Tekhnicheskaya Keramik*, no. 10 (2001): 16-20.
3. Adams R., Frohs W., Jäger H., Roussel K. Graphite electrode and needle coke development. *Carbon 2007 Conference*, 15-20 July 2007, Seattle, Washington, USA.
4. Ionov S., Pavlov A., Savchenko D. et al. Sposob polucheniia eliektrokontaktnoi prokladki (varianty) [A method for producing electrocontact laying (variants)]. ZAO «UNYKH YMTEK», assignee. Patent 2343112 RU. 10 Jan. 2009.

5. *Issledovanie tieploelektrichieskoho i mekhanichieskoho sostoiania kritichieskikh uzlov pechi priamoho nahrieva* [Investigation of thermoelectric and mechanical state of critical parts in a direct-fired furnace]: report of research works / Research center «RT»; director Panov Ye. Kyiv, 2013.
6. *Sannikov A., Somov A., Kliuchnikov V. et al. Proizvodstvo eliektroodnoi produktsii* [Manufacture of electrode products]. Moscow: Metalurhiia Publ., 1985.
7. *Maslov D. Razrabotka alhoritmov i sistem upravlieniia duhovymi staleplavilnymi piechami, snizhaiushchikh polomki eliektroodov* [The development of algorithms and control systems of electric arc steel furnaces, reducing the electrode failures]. PhD diss. Moscow, 2014.
8. *Friedrich C., Jager H., Wimmer K. et al. Schafer The world's first 800 mm diameter graphite electrode for a DC electric arc furnace. Metallurgical Plant and Technology, MPT 2, 2002.*
9. *Borlée J., Wauters M., Mathy C. et al. Monitoring system for controlling and reducing the electrode consumption in DC EAF plants.* Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2009.

УДК 678.057

СІВЕЦЬКИЙ В. І., к.т.н., проф.; СОКОЛЬСЬКИЙ О. Л., к.т.н., доц.;
КУШНІР М. С., асп.; КУРИЛЕНКО В. М., студ.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

МОДЕЛЮВАННЯ ГОМОГЕНІЗАЦІЇ РОЗПЛАВІВ ТЕРМОПЛАСТІВ У БАР'ЄРНОМУ ЗМІШУВАЧІ

Проведено чисельне моделювання гомогенізації розплаву полімеру в динамічному змішувачі бар'єрного типу. Наведено результати, що дозволяють досліджувати динаміку зміни температури під час течії полімерних матеріалів у змішувальних елементах та вибирати оптимальні конструктивні параметри змішувальних елементів, а також режими гомогенізації полімерних композицій.

Ключові слова: динамічний змішувач, моделювання, гомогенізація, полімер.

© Сівецький В. І., Сокольський О. Л., Кушнір М. С., Куриленко В. М., 2014.

Постановка проблеми. Процеси змішування й гомогенізації в черв'ячних машинах мають важливе значення при переробці полімерних матеріалів, оскільки якість змішування визначає якість виробу [1]. Для науково обгрунтованого конструктивного оформлення екструзійно-змішувального устаткування важливо знати основні закономірності змішування та гомогенізації, що відбуваються в його конструктивних зонах.

Аналіз попередніх досліджень. У багатьох випадках якість змішування оцінюється за накопиченою деформацією зсуву, напруженням зсуву тощо [1]. Ці показники не завжди надають повне уявлення про змішування. Невирішеною частиною наукової проблеми прогнозування змішувальної ефективності полімерного устаткування є складність кількісного оцінювання останньої [2]. Прямим критерієм оцінки якості змішування є концентрація диспергованого матеріалу в дисперсійному середовищі [3]. У разі введення компонентів композиції з різними температурами цим критерієм може бути рівномірність температурного поля, тобто рівень температурної гомогенізації суміші.

Метою досліджень є аналіз температурної гомогенізації полімерних композицій у черв'ячному екструдері з динамічним змішувачем бар'єрного типу.

Виклад основного матеріалу. Температурну гомогенізацію розплаву полімеру розглядатимемо в динамічному змішувачі бар'єрного типу. Як критерій ефективності візьмемо однорідність розподілу температур у суміші при проходженні каналів змішувача на різних перерізах за довжиною його робочого каналу.

Математичну модель багатокомпонентної суміші, частковим випадком якої є деформований стан полімерного матеріалу в каналі бар'єрного змішувача, та її дискретизацію методом скінченних елементів (МСЕ) наведено в праці [3].

Рух суміші та її складових розглядається в цій праці в рамках механіки суцільних середовищ із такими припущеннями:

1. Суміш складається з окремих взаємно проникних компонент, що заповнюють той самий об'єм. Кожна компонента є неперервним однорідним середовищем (континуумом), стан якого безпосередньо визначається власними параметрами стану.