

ДОСВІД ЗАСТОСУВАННЯ ГРАФІТОВАНИХ ГНОТОВИХ ЕЛЕКТРОДІВ НА ПРОМИСЛОВІЙ ДУГОВІЙ СТАЛЕПЛАВИЛЬНІЙ ПЕЧІ ЗМІННОГО СТРУМУ

**Б.Є. Патон¹, О.Г. Богаченко¹, С.Г. Кійко²,
І.М. Логозинський², О.П. Лютий², К.М. Горбань²**

¹ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України*. 03150, м. Київ, вул. Казимира Малевича, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua
²ПрАТ «Дніпрспецсталь»**. 69000, м. Запоріжжя, вул. Південне шосе, 81. E-mail: info@dss.com.ua

Вперше у світовій практиці на промисловій дуговій трифазній сталеплавильній печі змінного струму типу ДС-6Н1 заводу «Дніпрспецсталь» успішно проведено кілька серій дослідних плавок (понад 60) із застосуванням графітованих композитних (гнотових) електродів типу ЕГК (Г), розроблених в ІЕЗ ім. Є.О. Патона. Показано, що гнотова дуга принципово відрізняється геометричними та енергетичними параметрами від дуги звичайного (монолітного) електрода. Гнотова дуга розосереджена, просторово стійка, відрізняється високою стабільністю в широкому діапазоні довжин і електричних режимів. Це особливо важливо в період формування колодязів і розплавлення шихти. Гнотовий електрод (в залежності від складу) забезпечує в 2...5 разів зменшення часу від першого короткого замикання до стійкого горіння дуги в порівнянні з монолітним електродом; зменшення коефіцієнта гармонік в 2...4 рази; економію електроенергії на 6...10 %; збільшення продуктивності печі на 12...23 % та ін. Наголошено на необхідності і перспективності продовження досліджень енергетичних, технологічних, металургійних особливостей роботи дугових сталеплавильних печей змінного струму з гнотовими електродами, які покращують практично всі техніко-економічні показники роботи печі, забезпечуючи можливість керування потужнострумовими дугами і їх високу стабільність. Бібліогр. 5, табл. 2, рис. 4.

Ключові слова: графітовані композитні (гнотові) електроди; електрична дуга; дугові сталеплавильні печі; коротке замикання; коефіцієнти гармонік; економія електроенергії; продуктивність печі

Світова металургія в останні десятиліття характеризується безперервним зростанням виробництва сталі. Так, в 2012 р. загальне виробництво сталі склало 1,517 млрд. т, в 2017 — 1,691 млрд. т; в 2019 р. — 1,87 млрд. т. При цьому близько третини в загальній її кількості становить електросталь. Частка електросталі також безперервно зростає і на даний час становить в Європі близько 42 %, в США перевищує 60 %, у Китаї і країнах Азії — близько 20 %. В країнах, де чорна металургія з'явилася порівняно недавно (Люксембург, Індонезія, Саудівська Аравія) сталь виробляється тільки в електропечах змінного (ДСП) і постійного (ДСП ПС) струму. Важливо і те, що в рішенні задач екологічної безпеки в металургійному виробництві переважає віддається електрометалургійним технологіям.

Зростання виробництва електросталі відбувається одночасно з безперервним вдосконаленням конструкції печей, джерел живлення, підготовки шихти, режимів плавки, позапічної обробки сталі, термообробки та ін. Одночасно з цим виробники графітованих електродів ефективно працюють над поліпшенням електричних і механічних характе-

ристик електродів, забезпеченням однорідності властивостей в обсязі електродів, збільшенням їх довжини та ін. Досить успішно застосовуються електроди, що мають захисні покриття, які знижують інтенсивність бічного окислення електродів.

Відомі успішні роботи по поліпшенню властивостей електродів шляхом нанесення функціональних шарів на їх поверхню. Однак в промисловості такі електроди застосування не знайшли через високу вартість.

Досить багато уваги приділяється дослідженням властивостей дуг, можливостям їх стабілізації з метою ефективного поліпшення техніко-економічних показників роботи дугових печей. Так, успішно були випробувані порожнисті електроди, що забезпечили стабілізацію дуги, підвищення ккд печі, cos φ, економію електроенергії та ін. Але порожнина в електроді обумовлює різке збільшення його угару (на 20...25 %) в порівнянні з монолітними електродами. З цієї причини порожнисті електроди не набули масового застосування в промисловості.

В ІЕЗ ім. Є.О. Патона для ДСП і ДСП ПС розроблені і досліджуються принципово нові графі-

В роботі приймали участь: *І.О. Гончаров, Д.Д. Міщенко, І.О. Нейло, В.І. Галініч, В.С. Судавцова, Л.М. Капітанчук.

**Б.А. Левін, А.Г. Федьков, П.А. Шібеко, О.І. Панченко, С.Ю. Лашко, С.С. Казаков, А.Н. Оніщенко, Н.Ф. Мотінга, С.Н. Наконечний, А.В. Лоцілін, Д.А. Закатов, В.А. Поляков, А.А. Веркашанський, В.І. Долгачев, а також В.І. Брагінець, Л.А. Сідоренко, О.В. Лобурець, А.В. Черняков (Запорізький НДЦ плазмових технологій).

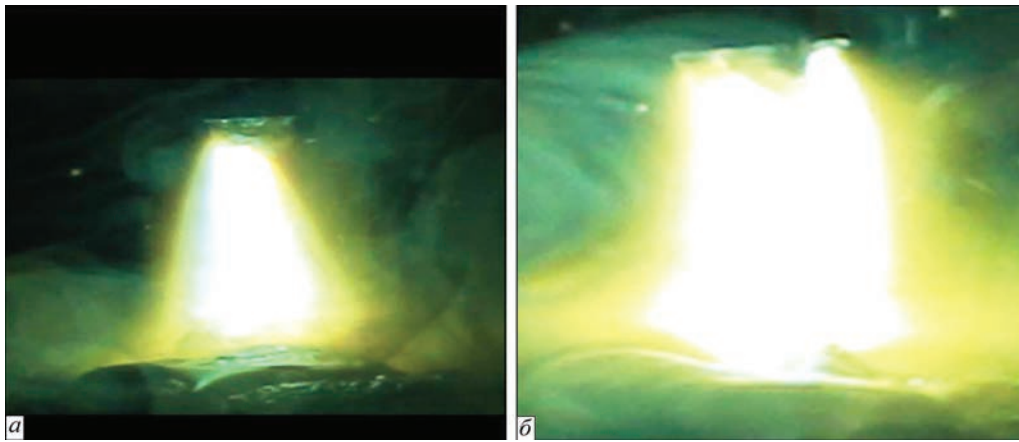


Рис. 1. Загальний вигляд дуги графітового монолітного (а) та гнотового (б) електродів. (Режим: $U_d \approx 60$ В; $I_d \approx 700$ А; $L_{дф}/L_{дм} \approx 1,5$; $d_k; d_a; L_d$, мм: 2,5; 10; 11 (а) та 8,5; 16,5; 16,5 (б) відповідно)

товані композитні (гнотові) електроди (ЕГК (Г)). Концепція роботи полягає в тому, щоб створити в прикатодній області графітованого електрода сприятливі термодинамічні умови для іонізації газів у стовпі дуги. Виходячи з цього, для виготовлення гнотового електрода використовується монолітний електрод, в якому виконуються один або декілька вертикальних отворів, що заповнюються різними функціональними матеріалами, в т. ч. що містять елементи таблиці Менделєєва з низькою роботою виходу електронів, утворюючи тверду вставку (гніт) [1].

Всебічні промислові випробування гнотових електродів спочатку були виконані на 12-тонних ДСП ПТ з використанням різних шихти, режимів плавки, гнотів та ін. Було встановлено, що дуга гнотового електрода завжди тримається на гноті, не мігрує по торцю електрода і принципово відрізняється від дуги монолітного електрода геометричними та енергетичними параметрами (рис. 1). Так, обсяг плазми дуги гнотового електрода в 3...7 разів більше, ніж у монолітного і, відповідно, всі параметри, віднесені до одиниці поверхні або обсягу дуги гнотового електрода, суттєво нижчі, ніж у монолітного. Гнотова дуга завжди розосереджена, просторово стійка та еластична. Дуже важливо, що падіння напруги в прикатодній області дуги гнотового електрода в 2...3 рази менше, ніж у монолітного. При однакових параметрах довжина дуги гнотового електрода в 1,3...1,5 рази більше. Завдяки роботі емітерів однаковий струм забезпечується при напрузі в 1,5...2,0 рази меншій на гнотовому електроді, ніж на монолітному. При однакових напругах струм дуги гнотового електрода, відповідно, в 1,5...2,0 рази більший.

Завдяки зазначеним особливостям дуга гнотового електрода відрізняється високою стабільністю — головним технологічним і енергетичним фактором в широкому діапазоні довжин і елек-

тричних режимів. Висока стабільність електричного режиму обумовлює і високу стабільність теплового режиму печі, теплового поля електродів, більш повного протікання фізико-хімічних процесів і, як наслідок, поліпшення всіх техніко-економічних показників роботи печі. Така дуга рідше обривається при дії зовнішніх чинників (обвал шихти та ін.). Дуга гнотового електрода також слабо реагує на магнітне дуття. Завдяки зазначеним особливостям та перевагам гнотові електроди на промислових печах ДСП ПТ-12 забезпечили: економію активної електроенергії на 7...10%; зниження реактивної потужності на 20...23%; збільшення $\cos \varphi$ з 0,48 до 0,74; збільшення продуктивності печі на 15...20%; зниження угару легуючих на 12...15%, зменшення шуму печі, що працює, на 8...12% та викидів пилу і газів в 2...3 рази [2].

В даний час в світі працює близько 1200 дугових сталеплавильних печей, в т. ч. близько 200 печей постійного струму та, відповідно, 1000 печей змінного струму. Характерною особливістю сучасного електрометалургійного виробництва є істотне збільшення ємності печей. Так, ДСП ПТ ємністю 420 т працює на фірмі «Tokyo Steel», Японія; 200-тонні печі — на фірмі «Hylsa», Бразилія та ін. Широко поширені печі змінного струму ємністю 100...180 т в Європі, Америці, Азії. Такі печі є високошвидкісними агрегатами для виплавки сталевого напівпродукту, легування якого, дегазація, доведення по іншим параметрам здійснюється в печі-ковші і вакууматорі.

Для таких печей потрібні високоякісні електроди великих діаметрів та довжини з низьким питомим електроопором (на рівні 5 мк·Ом·м). Вже освоєно виробництво електродів діаметром 810 мм, довжиною до 3500 мм, а допустима щільність струму досягла рівня 40 А/см². Для виробництва великогабаритних електродів використовується дорогий нафтовий голчастий кокс і унікальне обладнання.

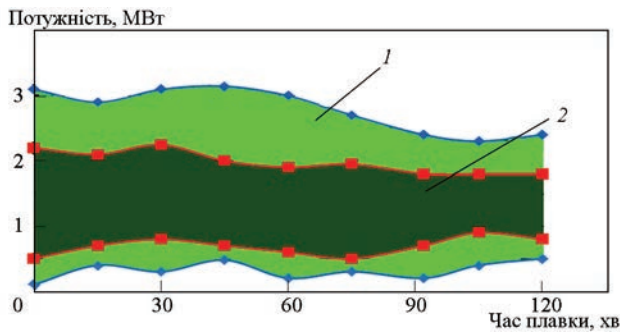


Рис. 2. Діапазон розкиду потужності на печі ДС-6Н1 з використанням монолітних (1) і гнотових (2) електродів (наведені середньостатистичні дані по потужності з інтервалом 15 хв)

Вартість таких електродів може досягати 30 % від вартості виробленої сталі. Тому безумовний інтерес представляє можливість застосування гнотових електродів на печах змінного струму.

Перші промислові експериментальні плавки були проведені в листопаді 2018–лютому 2019 рр. на 6-тонній трифазній ДСП типу ДС-6Н1. Використовували графітовані електроди діаметром 300 мм. Були випробувані чотири склади гноту (умовне позначення $F_1...F_4$). Проведено більше 60-ти плавок, на яких використовувалася практично однотипна шихта — компактна кускова обрізь з добавками до 30 % від загальної ваги завалювання стружки силового шліфування швидкорізальних сталей. Плавки проводили з різними поєднаннями гнотових і монолітних електродів, що одночасно працюють в печі: три гнотових; два гнотових і один монолітний; один гнотовий і два монолітних.

Для адекватного порівняння результатів плавки проводили на штатних електричних режимах з фіксацією сигналів струму, напруги дуги та інших параметрів.

Як і в разі печей постійного струму відразу була відзначена висока стабільність електричного режиму на печі ДС-6Н1. З рис. 2 видно, що в усі періоди плавки (стабілізація дуги, формування

колодязів, розплавлення шихти, доведення рідкого металу) коливання потужності на гнотових електродах на 20...30 % менше, ніж на монолітних. Стійкий електричний режим забезпечується високою стабільністю струму і меншим спотворенням синусоїдальних кривих напруги (рис. 3). Інші записи осцилограм основних енергетичних показників плавок наведені в табл. 1.

З табл. 1 випливає, що в залежності від складу гнотів:

час частих розривів дуги у гнотових електродах в 3...10 разів менше, ніж у монолітних;

час стабілізації дуги від першого міжфазного замикання до безперервного горіння у гнотових електродах в 1,75...5,4 рази менше, ніж у монолітних. Ці фактори обумовлюють швидку стабілізацію електричного режиму плавки, швидке формування колодязів і ефективне плавлення шихти. Наслідком цього є також зниження частоти і сили кидків струму в первинну мережу, що покращує якість електроенергії, забезпечуючи більш стійку роботу таких потужних споживачів електроенергії, як сусідні печі, агрегати для позапічної обробки, прокатні стани та ін.;

гнотові електроди забезпечують більш високий $\cos \phi$ і, як наслідок, зниження реактивної потужності і потужності втрат, що обумовлює зменшення витрат електроенергії та можливість стійкої роботи печі на знижених токах;

гнотові електроди забезпечують низькі коефіцієнти гармонік, що також сприяє підвищенню якості електроенергії.

Встановлено, що при плавці на штатному режимі з монолітними електродами довжина дуги складає 50...60 мм, з гнотовими — 70...90 мм (в 1,4...1,5 рази більше) при збереженні стабільності електричних і технологічних параметрів плавки.

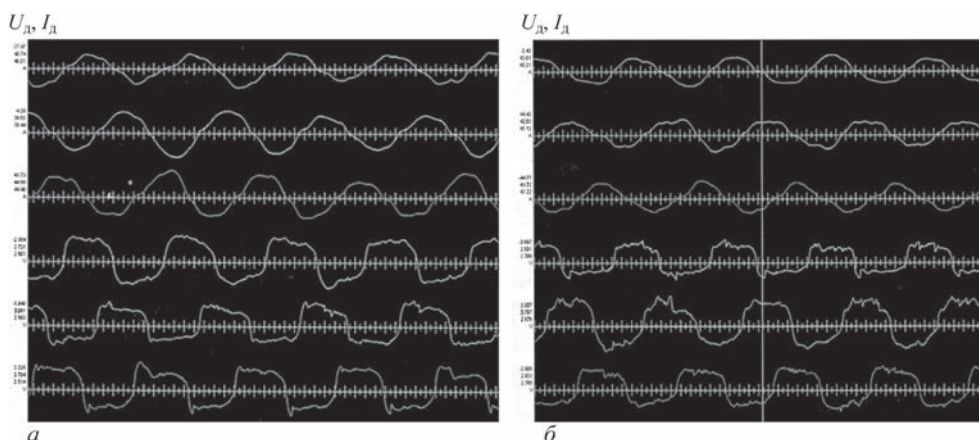


Рис. 3. Типові криві напруги і струму для гнотових (а) та монолітних (б) електродів в період проплавлення колодязів і плавлення шихти (верхні криві — ток, нижні — напруга)

Таблиця 1. Енергетичні характеристики плавки на монолітних та гнотових електродах

Параметр	Тип електродах				
	монолітні	гнотові			
		F ₁ (F ₁₆)	F ₂ (F ₁₈)	F ₃ (F ₁₉)	F ₄ (F ₂₀)
Час частих розривів дуги від включення печі, с	Штатний електричний режим				
	до 30	до 10	не більше 3	не більше 3	не більше 3
Час до безперервного горіння дуги, с	до 70	до 40	не більше 13	не більше 13	не більше 13
cos φ	0,81...0,86	0,90...0,93	0,91...0,94	0,91...0,94	0,91...0,94
Коефіцієнти гармонік	0,65...0,59	0,58...0,28	0,36...0,09	0,36...0,09	0,36...0,09

З використанням гнотових електродів були випробувані також режими з підвищеною напругою дуг (зі 150...160 до 180...190 В) та зниженим струмом (з 8,0...8,5 до 6,5...7,0 кА). При цьому збільшилася довжина дуг, підвищився і стабілізувався cos φ на рівні 0,92...0,94, зменшилися коефіцієнти гармонік до 0,28...0,09. Це відповідає сучасним уявленням і доцільності роботи електродугових печей на довгих дугах і знижених токах. Зазначені особливості гнотових електродів дозволяють ефективно використовувати їх на довгих дугах на печах старої конструкції, де обмежені можливості джерела живлення по вторинній напрузі; розширити енергетичні та технологічні можливості на сучасних печах надвисокої потужності.

На гнотових електродах були також випробувані форсовані режими плавки (напруга — 150...160 В, підвищений до 9...10 кА струм). При цьому довжина дуг зменшилася до 20...25 мм, мав місце підвищений торцевий угар електродів, перегрів металу і шлаку під електродами, підвищений угар легуючих. Такий режим не рекомендовано для плавки на гнотових електродах.

Характерною особливістю гнотового електрода є створення на його робочому торці поглиблення, яке завжди формується навколо гнота. У разі постійного струму це поглиблення має форму півсфери з досить тонкими стінками в нижній частині (рис. 4, а). У разі змінного струму ця півсфера

завжди має більш товсті стінки (рис. 4, б). Форма і глибина півсфери може регулюватися, тому що залежить від складу гнота, електричних режимів і має суттєвий вплив, як мінімум, на два важливі технологічних фактора. По-перше, краї півсфери екранують дугу, що істотно впливає на ступінь опромінення стін і склепіння печі, тобто на стійкість футеровки і, по-друге, на інтенсивність торцевого окислення електрода (витрату електрода). При досить великій глибині півсфери в ній може зосереджуватися до 40...50 % потужності дуги. У цьому випадку стійкість футеровки може бути збільшена на 20...30 %, але буде мати місце підвищена торцева витрата електрода. Тобто півсфера на робочому торці електрода, як об'єкт управління, повинна мати оптимальні розміри з урахуванням роду струму, діаметра електродів, складу гнота та ін. Крім того, наявність півсфери дозволяє ефективно працювати на довгих дугах і знижених робочих токах, що сприяє зниженню інтенсивності нагріву тіла гнотового електрода і, як наслідок, зниженню інтенсивності його бокового окислення. Дослідження показали, що застосовуючи гноти, опір яких менше, ніж опір тіла електрода, можна перерозподілити струм по перетину електрода таким чином, що його щільність в гноті збільшиться до 100...160 А/см². Цей фактор також сприяє зниженню температури тіла електрода і швидкості його бокового окислення. Візуально це підтверджується



Рис. 4. Макроструктура торця гнотового електрода, що застосовувався на печах постійного струму (а) та загальний вигляд торців електродів після застосування на печах трифазного змінного струму (б); діаметр всіх електродів 200...210 мм

Таблиця 2. Залежність неактивної зони електрода (d) від зовнішнього діаметра електрода (D)

D	400	450	500	550	600	650	700	750	800
d	0	45	80	110	180	220	270	328	385

ся тим, що нижня, найбільш нагріта частина електрода (400...700 мм) має форму близьку до циліндра, а не до конусу. Іншими словами, на гнотових електродах, на відміну від монолітних, швидкість бокового окислення нижче, а торцевого може регулюватися. Однак сумарна швидкість окислення гнотового електрода нижче, ніж монолітного. Це може забезпечити економію гнотових електродів на печах змінного струму на 10...15 %.

Відомо, що через дії скін-ефекту центральна частина графітованого електрода діаметром 450 мм і більше не проводить електричний струм, тобто існує не активна зона, діаметр якої збільшується зі збільшенням діаметра електрода. Розрахункові усереднені діаметри неактивної зони електрода (d) в залежності від діаметра електрода (D) при частоті 50 Гц наведені в табл. 2.

З цієї таблиці видно, що електроди великих діаметрів, що застосовуються в промисловості на печах змінного струму, мають досить велику неактивну зону. Виготовлення центрального отвору в електроді під гніт (порожнистий електрод) вже саме по собі обумовлює протікання струму певної щільності по стінках отвору, тобто частина струму з периферійних зон електрода переходить в його центральну зону. При цьому гніт з питомим електроопором більшим чи меншим, ніж електроопір тіла електрода, може посилювати чи послаблювати ефект перерозподілу струму на стінки отвору, тим самим регулюючи швидкість бокового окислення електрода.

Особливістю виробництва і експлуатації гнотових електродів є те, що після виготовлення гнота електрод не підлягає термічній обробці, тобто гніт ставиться на піч в «сирому» вигляді. Отже всі процеси, що пов'язані з формуванням його структури і властивостей, відбуваються на печі при нагріванні та роботі електрода. При цьому має місце дифузія компонентів гнота в тіло електрода, які утворюють міжшарові з'єднання, що забезпечують істотне збільшення електропровідності (зниження електроопору тіла електрода) [3]. Тому цілком ймовірно, що для виготовлення гнотових електродів можуть використовуватися монолітні електроди з великим коефіцієнтом електроопору, ніж прийнято для конкретної дугової печі. Автори припускають також, що можливо застосування гнотових електродів меншого перетину, ніж монолітні. Обидва ці чинники є значущою статтею в питаннях економії графітованих електродів. При цьому застосування

електродів меншого діаметра (маси) зменшить динамічні навантаження на механічні вузли і коротку мережу печі, що дуже важливо на початку плавки в період розплавлення шихти.

Досвід використання електричної дуги з окисними катодами [4], розрахункові дані по температурі потужноточних дуг на печах-ковшах [5] та дані по питомому розподілу потужності і струму в дузі гнотового електрода говорять про те, що температура по осі стовпа гнотового електрода може становити 12000...13000 К, тобто на 15...20 % нижче, ніж на монолітних електродах. Ця особливість гнотових електродів може відкрити технологам нові можливості в частині оптимізації режимів плавки, економії футерування, продовження кампанії печі та ін. На нашу думку, менша температура дуги гнотового електрода на довгій дузі також значно зменшить теплове навантаження на розплав, що знизить його перегрів, і сприятиме зниженню угару легуючих та феросплавів, економії електроенергії та ін.

Висновки

1. Вперше у світовій практиці на трифазній дугової сталеплавильній печі типу ДС-6Н1 успішно проведено дослідні плавки (більше 60-ти) з застосуванням гнотових електродів різного складу.

2. Встановлено, що в залежності від складу і режиму плавки гнотові електроди забезпечують: зменшення часу від першого короткого замикання до стійкого горіння дуги в 2,75...5,4 рази в порівнянні з монолітними електродами; збільшення $\cos \phi$ з 0,81...0,86 до 0,91...0,94; зменшення коефіцієнта гармонік до 0,28...0,09 (з 0,65...0,59 у монолітних електродах); економію активної електроенергії на 6...10 %; збільшення продуктивності печі на 12...23 %; зменшення витрат електродів на 10...15 %.

3. Вважати за необхідне продовжити зазначені роботи з метою визначення стійкості футеровки, економії легуючих і феросплавів, подальшої оптимізації складів гнота, глибшого розуміння енергетичних, технологічних, металургійних особливостей плавки з гнотовими електродами, як засіб ефективного управління роботою потужнострумних дуг. При цьому вартість матеріалів і робіт з виготовлення гнотових електродів не перевищила 1 % від величини отриманого економічного ефекту.

4. Авторам не відомі подібні роботи металургів в інших країнах. На нашу думку, застосування гнотових електродів на дугових сталеплавильних печах є

новим напрямком в електрометалургії і пріоритет в цій роботі належить українським фахівцям.

Список літератури

1. Патон Б.Е., Лакомский В.И., Галинич В.И., Мищенко Д.Д. (2011) Фитильные электроды электродуговых печей. *Черные металлы*, **5**, 13–15.
2. Богаченко А.Г., Мищенко Д.Д., Брагинец В.И. и др. (2016) Экономия электроэнергии на дуговых сталеплавильных печах постоянного тока с графитированными фитильными электродами. *Современная электрометаллургия*, **1**, 58–64.
3. Фиалков А.С. (1997) *Углерод, межслоевые соединения и композиты на его основе*. Москва, Аспект пресс.
4. Лакомский В.И. (1997) *Оксидные катоды электрической дуги*. Запорожье, Интернал.
5. Крикент И.В., Кривтун И.В., Демченко В.Ф. и др. (2018) Численное моделирование сильноточного дугового разряда в установке ковш–печь постоянного тока. *Физические*

процессы при сварке и обработке металлов. Сборник статей и докладов. Киев, сс. 135–140.

References

1. Paton, B.E., Lakomsky, V.I., Galinich, V.I., Mishchenko, D.D. (2011) Cored electrodes of electric arc furnaces. *Chyornyye Meetally*, **5**, 13–15 [in Russian].
2. Bogachenko, A.G., Mishchenko, D.D., Braginets, V.I. et al. (2016) Saving of electric power at the arc steel melting furnaces of direct current with graphitized cored electrodes. *Sovrem. Elektrometall.*, **1**, 58–64 [in Russian].
3. Fialkov, A.S. (1977) *Carbon, interlayer compounds and composite on its base*. Moscow, Aspekt press [in Russian].
4. Lakomsky, V.I. (1997) *Oxide cathodes of electric arc*. Zaporozhie, Internal [in Russian].
5. Krikent, I.V., Krivtun, I.V., Demchenko, V.F. et al. (2018) Numerical modeling of high-current arc discharge in dc ladle–furnace installation. In: *Physical processes in welding and metal working: Collect. of articles and reports*. Kiev, 135–140 [in Russian].

EXPERIENCE OF APPLICATION OF GRAPHITIZED WICK ELECTRODES IN INDUSTRIAL STEEL-MAKING AC FURNACE

B.E. Paton¹, O.G. Bogachenko¹, S.G. Kyiko², I.M. Logozinskiy², O.P. Lyutiy², K.M. Gorban²

¹E.O. Paton Electric Welding Institute of the NAS of Ukraine.

11 Kazymyr Malevych Str., 03150, Kyiv, Ukraine. E-mail: office@paton.kiev.ua

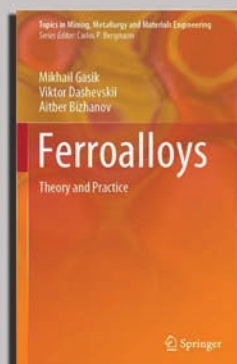
²PrJSC «Dniprospeystal». 81 Pivdenne Rd., 69000, Zaporizhzhya, Ukraine. E-mail: info@dss.com.ua

Several series of test melts (more than 60) with application of graphitized composite (wick) electrodes of EGK (G) type developed at PWI were successfully conducted for the first time in the world in an industrial three-phase AC arc steel-making furnace of DS-6N1 type at «Dniprospeystal» plant. It is shown that the wick arc differs in principle by its geometrical and energy parameters from an arc of regular (monolithic) electrode. The wick arc is dispersed, spatially steady, it is characterized by a high stability in a broad range of lengths and electric modes. It is particularly important during formation of wells and charge melting. Wick electrode (depending on its composition) ensures 2...5 shortening of the time from the first short-circuit to steady burning of the arc, compared to a monolithic electrode, 2...4 times reduction of the harmonic factor; power saving by 6...10 %; increase of furnace capacity by 12...23 %, etc. The need and good prospects for continuation of studies of the energy, technological and metallurgical features of operation of AC arc steel-making furnaces with wick electrodes is emphasized. These electrodes improve practically all the technical and economic characteristics of furnace operation, while providing the possibility of controlling the high-current arcs and their high stability. Ref. 5, Tabl. 2, Fig. 4.

Key words: graphitized composite (wick) electrodes; electric arc, arc steel-making furnaces; short-circuiting; harmonic factors; power saving; furnace capacity

Надійшла до редакції 08.02.2021

НОВА КНИГА



Гасик М.І., Дашевській В.Я., Біжанов А.М. **Феросплави: теорія та практика** / Під редакцією акад. НАНУ Гасика М.І. — Видавництво «Springer», Швейцарія, 2020 р. — 530 с.

У книзі систематизовано як базові аспекти теорії виробництва феросплавів (фізико-хімічні засади високотемпературних карбо-, сіліко- і алюмо-термічних процесів), так і практика технології отримання феросплавів з кремнієм, марганцем, хромом, молібденом, ванадієм, титаном, ніобієм, цирконієм, алюмінієм, лужноземельними і рідкоземельними металами, бором, нікелем, кобальтом, фосфором, селеном та телуром (включаючи характеристики шихтових матеріалів і технологічні параметри процесів). Розглянуто технології виробництва електродів і пічного обладнання для феросплавної промисловості, а також питання переробки відходів і методи вирішення екологічних задач у сучасному виробництві феросплавів.

Рекомендовано спеціалістам і науковцям, що працюють у галузі міжнародного феросплавного виробництва і технологій.

Книгу можна отримати у друкованому або електронному виді (PDF, EPUB).

www.springer.com/gp/book/9783030575014