

Реферат наукової роботи «Композитні (гнотові) графітовані електроди для промислових дугових сталеплавильних печей», яка висувається для участі у конкурсі зі здобуття Національної премії імені Бориса Патона за 2024 р.

Актуальність роботи. В Україні стан металургійної галузі завжди визначав стан держави. З початком війни важливість її продукції, яка широко застосовується у військовій техніці і зброї, для виживання держави, для перемоги зростає в рази. Тому актуальність запропонованої роботи, спрямованої на зниження енерго- і ресурсовитрат, покращення умов праці в металургії і екологічного стану в промислових регіонах, не має викликати сумнівів.

Металургійні підприємства є великими споживачами електричної та теплової енергії, копалин та сировинних матеріалів. При цьому на частку металургії припадає 15...20% від загальної кількості викидів світовою промисловістю в навколишнє середовище. Це близько 10,5 млн. т викидів на рік.

Металургійна галузь в Україні використовує близько 30% загального енергоспоживання в промисловості. Тому енергетична стратегія в Україні на період до 2030 р. спрямована на зниження споживання енергоресурсів на 30...35%, зокрема за рахунок підвищення ефективності роботи металургійних підприємств.

Енергетична складова у собівартості металопродукції в Україні сягає 60%, тоді як цей показник в промислово розвинених країнах не перевищує 25%.

Характерною особливістю світової металургійної промисловості є безперервне зростання виробництва сталі. Так в 2012 р. виробництво сталі склало 1.517 млрд. т, у 2019 р.- 1.870 млрд. т і в 2021 р. досягло 1.950 млрд. т. У цій кількості близько 30% займає виробництво електросталі. Цей показник також безперервно зростає. Тому енерго- та ресурсозбереження з метою покращення найважливіших техніко-економічних показників (ТЕП) у роботі дугових сталеплавильних печей постійного (ДСП ПС) та змінного струму (ДСП) завжди були і будуть дуже актуальними. Особливої важливості набувають питання щодо зниження шкідливого впливу металургійного виробництва на довкілля.

Дуже важливою складовою у виробництві електросталі є графітовані електроди. Аналіз сучасного стану електродів та електросталі свідчить про те, що одна із світових тенденцій у вдосконаленні ТЕП роботи дугових печей полягає у збільшенні сили електричного струму, що протікає через електрод. Це, звісно, вимагає зниження питомого електричного опору (ПЕО) самого електрода. Провідні виробники графітованих електродів забезпечують ПЕО лише на рівні 4...5.5 мкОм·м на струмі 80...100 кА. Це електроди великих та граничних розмірів (650 мм і більше). Проте вартість таких електродів дуже висока і може досягати 30% вартості сталі. ДСТУ1494:2005, що діють в Україні, для електродів марки ЕГСП встановлено граничне значення ПЕО не більше 6.5 мкОм·м. Насправді ПЕО таких електродів перебувають у діапазоні 5...6.5 мкОм·м. Техніко-економічна оцінка показує, що зниження ПЕО на 0.2 мкОм·м дає зниження енерговитрат на 6...8% на тону металу.

Оригінальність роботи. Вищевказане забезпечить збільшення продуктивності печі та деяке зниження витрати електроенергії. Однак при цьому погіршаться багато інших техніко-економічних показників роботи дугової печі, таких як час стабілізації дуги після включення печі, витрата електродів, угар легуючих і феросплавів, загальний угар шихти, стійкість футерування та ін. Тому для корінної зміни ТЕП роботи дугових печей особливого значення набуває

електрична дуга, як перетворювач електричної енергії на теплову, її енергетичні та геометричні параметри. Комплекс робіт, спрямований на створення та впровадження принципово нового виду продукції - графітованих композитних (гнотових) електродів, які не мають аналогів в практиці світової електрометалургії, дозволяє вирішити низку практичних та наукових проблем Гірничо-Металургійного Комплексу України у забезпеченні ефективного виробництва металопродукції для потреб промисловості та оборонного комплексу України. Роботу виконано у співпраці ІЕЗ ім. Є.О.Патона НАН України, ПрАТ «Дніпроспецсталь», НТУУ «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» та ПрАТ «Ферокс».

Мета роботи - створення графітованих гнотових електродів з керованим впливом на електричні і теплові процеси в потужнострумових дугах промислових дугових сталеплавильних печей, які забезпечують суттєве покращення техніко-економічних показників роботи печей постійного та змінного струму.

Масштаби реалізації роботи. Графітовані гнотові електроди пройшли перевірку в промислових умовах на 12-тонних дугових печах постійного струму (ПрАТ «Ферокс»), 6-ти та 50-ти тонних печах змінного струму (ПрАТ «Електрометалургійний завод «Дніпроспецсталь» ім. А.М.Кузьміна»). Із застосуванням гнотових графітованих електродів на печах ДСВ-50 виплавлено понад 2000 т сталей 14-ти марок: вуглецевих конструкційних, низьколегованих високоміцних, вуглецевих інструментальних, легованих інструментальних та ін. Ці сталі успішно застосовують при виготовленні шестерен, муфт, шатунів, пальців і т.п. деталей для двигунів внутрішнього згорання і їх комунікацій у складі танків, БМП, БТР, тягачів і іншої гусеничної й колісної техніки, використовуваної як в бойових умовах, так і в роботі інженерних підрозділів, окремих елементів двигунів, стійок шасі літаків і гвинтокрилів.

Ці сталі використовують також у виготовленні стволів мінометів, окремих частин і вузлів ручних протитанкових гранатометів (РПГ), підствольних гранатометів і т.п. озброєння різних калібрів і призначення, а також у виробництві боєприпасів, зокрема корпусів снарядів калібром до 155 мм.

Наукова новизна. 1. Вперше встановлені фундаментальні властивості потужнострумової електричної дуги графітованих електродів з гнотами, що містять сполуки хімічних елементів I і II групи Періодичної системи Д. Менделєєва з низькою роботою виходу електронів:

- електрична дуга гнотового електрода принципово відрізняється від дуги монолітного електрода за геометричними та електричними параметрами. Тому всі показники струму та потужності дуги, що відносяться до одиниці поверхні або об'єму дуги у гнотового електрода завжди істотно нижчі, ніж у дуги монолітного електрода;

- падіння напруги в прикатодній області гнотового електрода завжди в 2...3 рази менше, ніж в прикатодній області монолітного електрода незалежно від складу гноту, геометричних і електричних параметрів дуги;

- однакова сила струму дуги забезпечується при нарузі на дузі в 1,5...2,5 рази меншій на гнотовому електроді, ніж на монолітному. При рівних напругах на дугах сила струму гнотового електрода в 1,5...2,0 рази вище сили струму монолітного електрода;

- при однакових електричних параметрах довжина дуги гнотового електрода в 1,3...1,5 рази більша, ніж монолітного електрода.

2. Збільшення вмісту в гноті до 6...10 % сполук елементів I і II групи Таблиці Менделєєва з низькою роботою виходу електронів в 1,6...8,0 разів підвищує силу катодного струму електронної термоемісії в вакуумі.

3. При проходженні електричного струму в результаті нагріву відбувається дифузія елементів в системі «гніт – електрод». При цьому питомий електричний опір (ПЕО) гнотових електродів знижується і при температурах вище 1200...2500 °С стає меншим, ніж ПЕО монолітних графітованих електродів.

4. На основі розробленої двовимірної кінцево-елементної моделі дифузії в поперечному перерізі гнотового електрода в дуговій печі постійного струму і експериментальних даних розподілу вмісту хімічних елементів в гноті (Cu, K, Cr, Ba, Ti) у початковому стані та після 3 годин роботи гнотового електрода з вихідним діаметром 350 мм, шляхом числових експериментів ітеративно визначені коефіцієнти дифузії для кожного компоненту і виконано коригування вмісту K, Cr, Ba в графітованих гнотових електродах збільшених діаметрів (508 та 600 мм) для випробувань на промислових печах.

5. На основі розробленої математичної моделі електричних та теплових полів в графітованих гнотових та монолітних електродах для дугових сталеплавильних печей постійного струму встановлено, що:

- в результаті проходження електричного струму через електроди температура торцевої частини гнотових електродів склала 495 °С і є суттєво нижчою, ніж у монолітного електрода (1305 °С);

- при урахуванні впливу на електрод температур катодної плями дуги, розплаву, пічних газів і стінок печі розраховані усереднені питомі резистивні електричні втрати в досліджених гнотових електродах лежать в діапазоні 0,125...0,134 Вт/см³ і вони менші ніж у монолітного електрода (0,198 Вт/см³) на 32...37%.

6. На основі дослідження розподілу електричного струму між гнотом і тілом електрода експериментально встановлено, що густина струму в гноті, в залежності від його складу, істотно більше (від 2,0 до 9,5 разів), ніж в тілі електрода.

Основний зміст роботи.

Дослідження параметрів дуг гнотових електродів та особливості їх роботи в порівнянні з монолітними електродами проводилися на спеціалізованому лабораторному обладнанні та на діючих промислових печах.

Печі постійного струму. До складу гноту входять різні матеріали та елементи, що визначають термічну стійкість, електричний опір та ін., в тому числі елементи I, II груп таблиці Менделєєва з низькою роботою виходу електронів. В результаті принципово змінюються геометричні та енергетичні параметри дуги, у т. ч. її ВАХ; змінюється форма робочого торця електрода та інші характеристики, які зумовлюють поліпшення практично всіх ТЕП роботи дугової печі (рис. 1). Тому всі показники плавки, віднесені до одиниці площі або одиниці об'єму гнотового електрода значно менше, ніж у дуги монолітного електрода. Так, наприклад, питома потужність на катоді гнотового електрода в 37.5 разів менше, ніж у монолітного електрода, а питомий струм на катоді в 16 разів менше, відповідно і т.п.

На рис. 2 наведені ВАХ монолітного та гнотових електродів. Видно, що при рівних напругах дуг (порядку 40В) струм гнотових електродів, у середньому, в 1.8 разів перевищує струм монолітного електрода (900 і 500А відповідно).

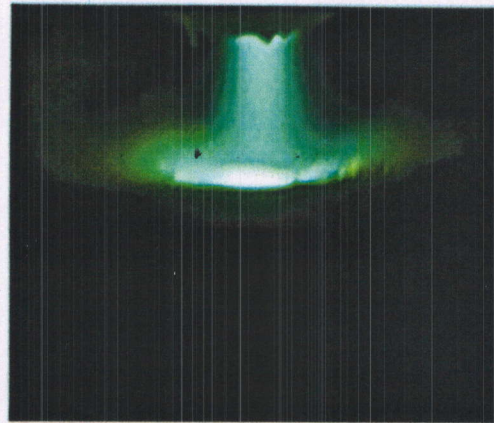
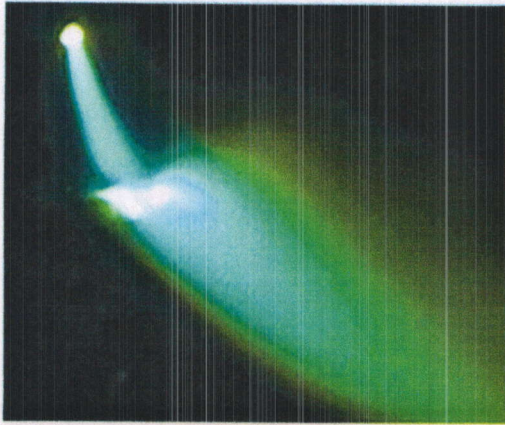


Рис. 1. Загальний вигляд дуги графітованих монолітного (а) і гнотового (б) електродів при рівних довжинах дуг.

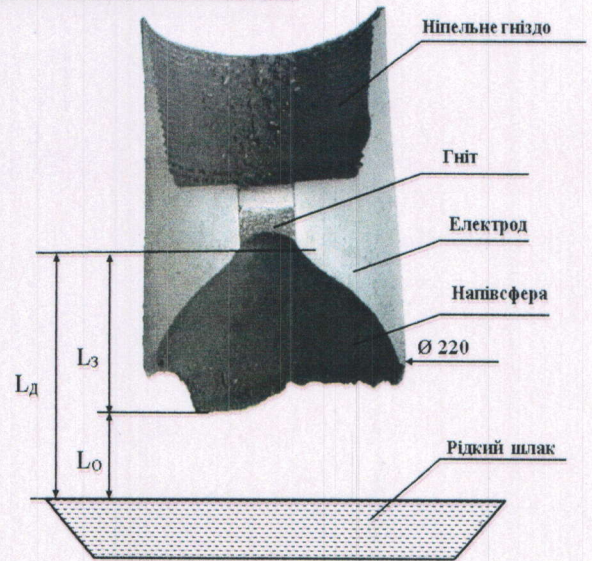
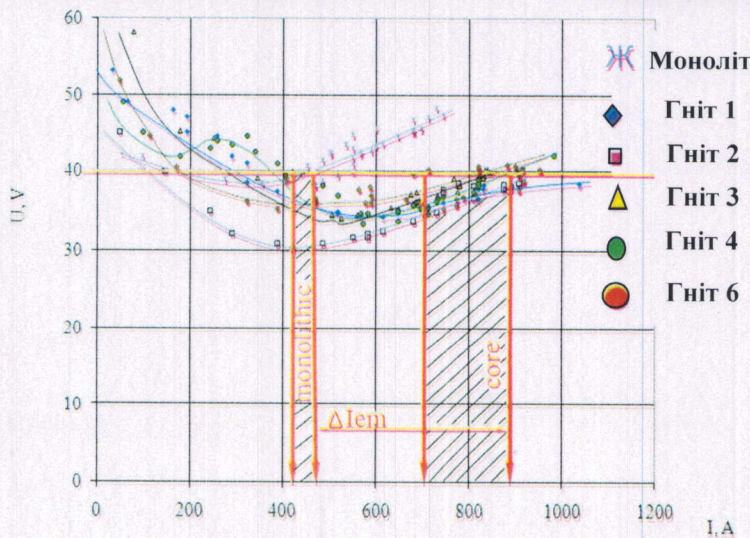


Рис. 2. ВАХ дуг монолітного і гнотового електродів діам.50 мм при $L_d=15$ мм.

Рис.3. Макротемплет гнотового електрода з вихідним діаметром 350 мм і складові довжини дуги гнотового електрода L_d : L_3 і L_b

Важливою відмінністю гнотового електрода є наявність на його нижньому торці увігнутої півсфери, обумовленої наявністю гноту (рис. 3). Глибина і форма півсфери істотно впливають на два технологічних фактори. Перший – радіаційне опромінення футерування стін та склепіння, друге – витрату електродів. Коли довжина відкритої частини дуги та закритої частини дуги приблизно рівні, стійкість футерування може бути збільшена на 20...40%. Глибина та форма півсфери можуть регулюватися в залежності від завдань на плавку в широких межах та залежать від складу гноту, електричного режиму і інших факторів.

При проходженні електричного струму в результаті нагріву відбувається дифузія елементів в системі «гніт – електрод». При цьому питомий електричний опір (ПЕО) гнотових електродів знижується і при температурах вище 1200...2500 °С стає меншим, ніж ПЕО монолітних графітованих електродів (рис.4). Проведено моделювання електричних і теплових процесів в графітованих гнотових і монолітних електротах для ДСП постійного струму. На рис. 5 наведений розподіл густини струму в гнотових електротах у випадку повної дифузії елементів гноту. Встановлено, що гнотові електроди мають менші електричні втрати, меншу температуру робочого торця електроду порівняно із монолітними електротами, що робить перші більш енерго- і ресурсоефективними.

Моделювання теплових процесів показало, що у випадку проходження

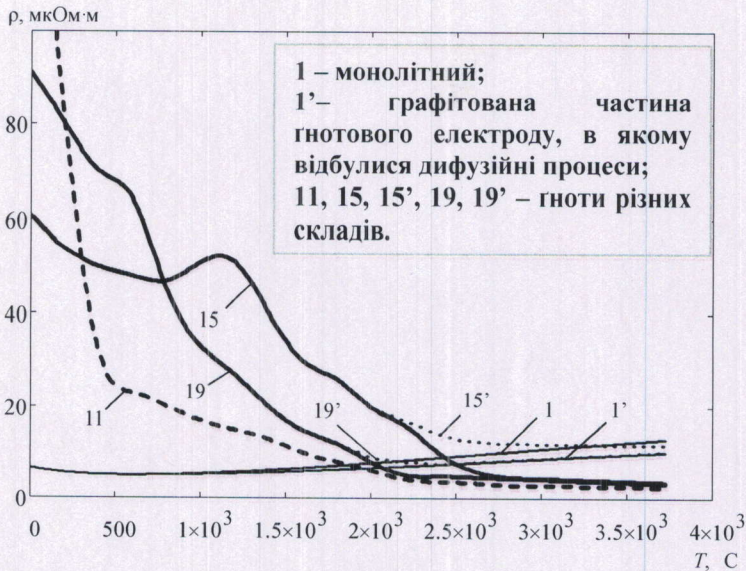


Рис. 4. Температурні залежності питомих електричних опорів.

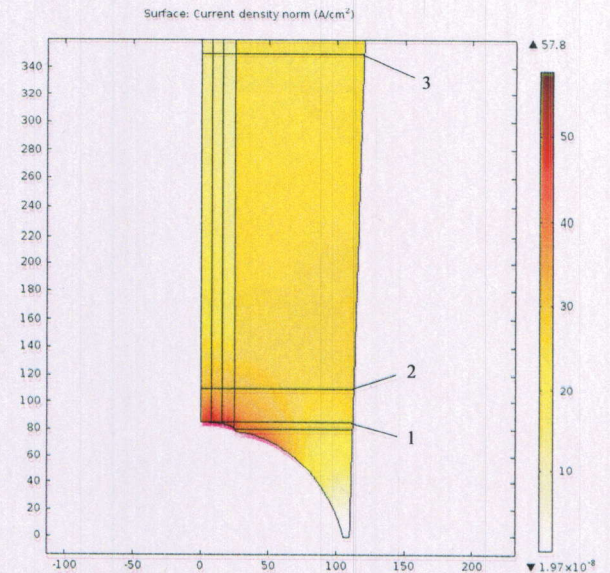


Рис.5. Розподіл густини струму в гнотових електродах при повній дифузії елементів.

електричного струму крізь електроди, які знаходяться на відкритому просторі при атмосферній температурі температури в гнотових електродах нижче, ніж у монолітних електродах. Температура торцевої частини гнотових електродів склала 495 °С, монолітного 1305 °С. При роботі електродів в печі при урахуванні впливу на електрод температур катодної плями дуги, розплаву, пічних газів і стінок печі розраховані усереднені питомі резистивні електричні втрати в досліджених гнотових електродах менші ніж у монолітного електрода на 32...37%. Можна прогнозувати, що струмове навантаження в гнотових електродах в процесі плавлення можливо підвищити на 6 %, до зрівняння електричних втрат в гнотових і монолітних електродах, що підвищить продуктивність процесу плавлення сталі і дасть економію електричної енергії.

При експериментальних роботах на промисловій 12-тонній ДСП ПС в якості шихти використовували: каталізатор (продукт переробки нафти), великогабаритний сталевий брухт і матеріал з високим вмістом V_2O_5 для виробництва 50%FeV. На цих плавках проводили порівняльні випробування гнотових і монолітних електродів на серійних режимах; оцінку впливу на витрату електродів коротких та довгих дуг та зниженої напруги джерела живлення, оцінку зміни реактивної потужності і т. ін.

Порівняльні результати роботи ДСП ПС-12 при перепаві 70% FeSiMn на серійних довгих та коротких дугах показали, що на довгих дугах гнотові електроди забезпечують зниження витрати активної електроенергії на 8.35% порівняно з монолітними електродами.

Дуже високу ефективність показали гнотові електроди при використанні на печі ДСП ПС-12 складної, багатофракційної, «важкої» шихти – каталізатора. Робота включала три етапи.

Етап 1. Переплав власне каталізатора з отриманням ванадієвмісного шлаку і металевої фази (злитків), що містять Ni та Mo;

Етап 2. Рафінування злитків та отримання продукту з максимально високим вмістом Ni та Mo;

Етап 3. Отримання феррованадія.

Техніко-економічні показники цих плавок представлені на рис. 6, 7 і 8.

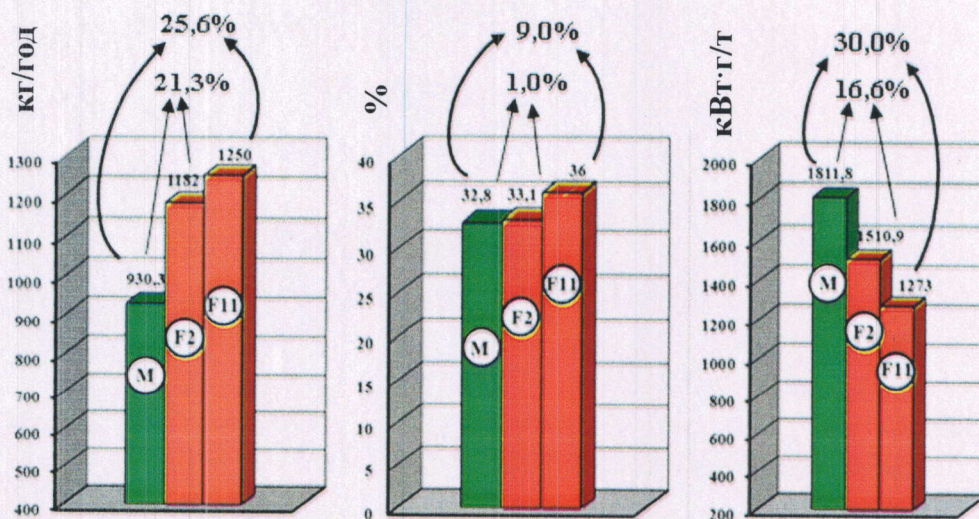


Рис. 6. Етап 1. Продуктивність печі (а), вихід металевої фази (зниження чадy Fe, Ni, Mo), % (б) та витрата електроенергії (в) при переплаві каталізатора із застосуванням монолітних (М) та ґнотових (F₂ та F₁₁) електродів

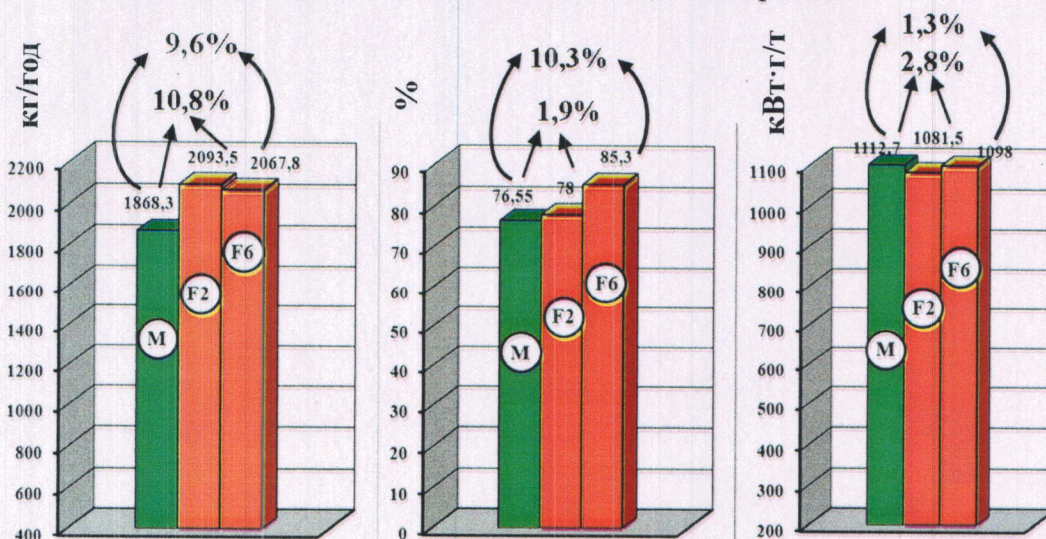


Рис. 7. Етап 2. Позначення ті самі, що й на рис. 6. Переплав металевої фази (злитків) із застосуванням монолітних (М) та ґнотових (F₂ та F₆) електродів

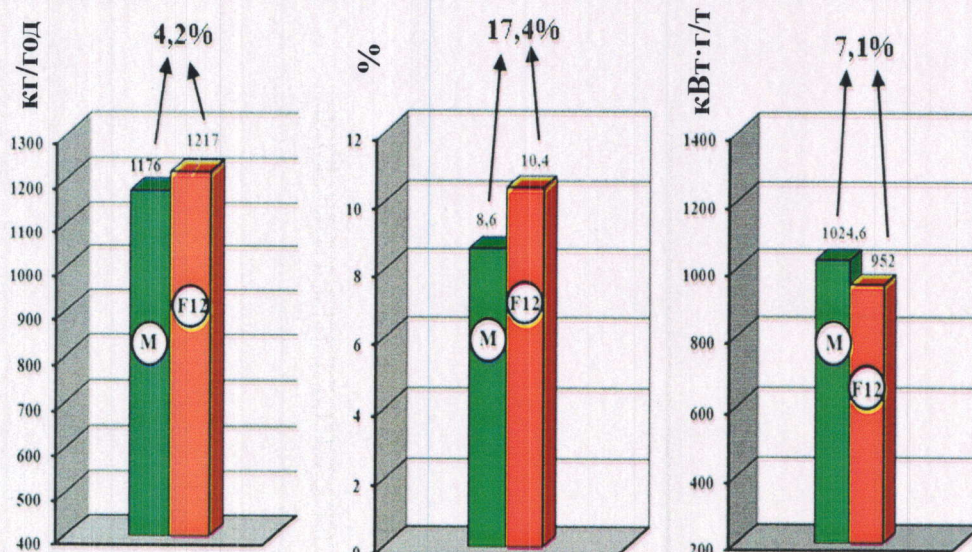


Рис. 8. Етап 3. Позначення ті самі, що й на рис. 6. Виплавка ферованадію при використанні монолітних (М) та ґнотових (F₁₂) електродів

Нижче наведені зведені дані щодо ТЕП роботи ДСП ПС з використанням гнотів.

ЕНЕРГЕТИКА

- | | |
|----------------------------------------------------------------------|-----------------|
| 1. Висока стабільність дуги на серійних та дослідних режимах плавки; | |
| 2. Зниження питомої витрати активної електроенергії, кВт/т | до 30%; |
| 3. Зниження реактивної потужності | до 23%; |
| 4. Підвищення $\cos \varphi$ | з 0,88 до 0,94. |

ТЕХНОЛОГІЯ

- | | |
|-----------------------------------------------------------------|-----------------|
| 1. Скорочення розкиду часу плавки (підвищення стабільності) | у 2...2,5 рази; |
| 2. Збільшення продуктивності печі | на 25,6%; |
| 3. Зниження угару Ni та Mo при переплаві та рафінуванні злитків | на 10,3%; |
| 4. Зниження угару ванадію при виплавці 50% феррованадія | на 17,4%; |
| 5. Зниження загального угару шихти, середнє, | до 3%. |

ЕКОЛОГІЯ

- | | |
|---------------------------------------------|-------------|
| 1. Зниження рівня шуму печі | на 7...10%; |
| 2. Зниження кількості викидів пилу та газів | на 8...12%. |

Печі змінного струму. Перші промислові експериментальні плавки на печах змінного струму були проведені у листопаді 2018 р. на 6-ти тонній трифазній ДСП змінного струму типу ДС-6Н1. Використовували графітовані електроди діам. 300мм. Були випробувані п'ять складів гнотів (умовне позначення F₁₆, F₁₈, F₁₉, F₂₀ і F₂₁). Проведено понад 60 плавки, на яких використовували однотипну шихту – компактний кусковий обріз з добавками до 30% від загальної ваги завалки стружки силового шліфування швидкорізальних сталей (СБРБ). Плавки проводили з різними поєднаннями гнотів і монолітних електродів, що одночасно працюють у печі. Для адекватного порівняння результатів плавки проводили на штатних електричних режимах з фіксацією показань струму, напруги та потужності дуги.

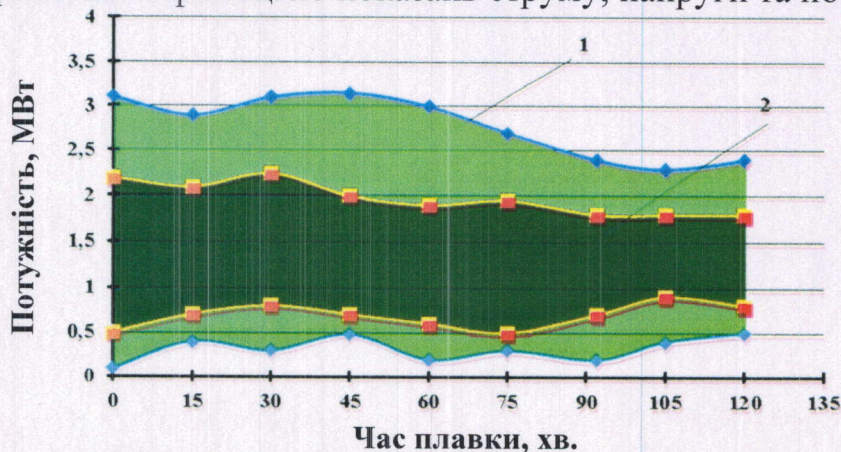


Рис. 9. Діапазон розкиду потужності на печі ДС-6Н1 з використанням монолітних (зона 1) і гнотових (зона 2) електродів (наведені середньостатистичні дані по потужності з інтервалом 15 хв.)

Як і для печей постійного струму, була відзначена висока стабільність електричного режиму на печі ДС-6Н1. З рисунка 9 видно, що у всі періоди плавки (стабілізація дуги, формування колодязів, розплавлення шихти, доведення рідкого металу) коливання потужності на гнотових електродах на 20-30% менше, ніж на монолітних електродах. Стійкий електричний режим забезпечується високою стабільністю струму та меншими спотвореннями синусоїдальної кривої напруги. Записи основних енергетичних показників плавки з гнотами свідчать, що час частих розривів дуги та час стабілізації дуги у гнотових електродах у кілька разів менше, ніж у монолітних.

Ці фактори зумовлюють швидку стабілізацію електричного режиму плавки, швидке формування колодязів та ефективне плавлення шихти. Наслідком цього є 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 позапечної обробки, прокатні стани.

Встановлено, що при плавці на штатному режимі з монолітними електродами довжина дуг становить 50...60 мм, на гнотових електродах 70...90 мм (в 1,4...1,5 разів більше), при збереженні стабільності електричних і технологічних параметрів плавки.

На гнотових електродах були випробувані режими з підвищеною напругою дуг, «режим розвантаження» (з 150...160 В до 180...190 В) та зниженому струмі (з 8,0...8,5 кА до 6,5...7,0 кА). При цьому збільшилася довжина дуг, підвищився і стабілізувався $\cos \phi$ на рівні 0,92...0,94, коефіцієнти гармонік зменшилися до 0,28 - 0,09. Це відповідає сучасним уявленням стосовно доцільності роботи електродугових печей на довгих дугах та знижених струмах. Зазначені особливості гнотових електродів дозволяють, по-перше, ефективно використовувати їх на довгих дугах на печах старої конструкції, де обмежені можливості джерела живлення по вторинній напрузі і, по-друге, можуть розширити енергетичні та технологічні можливості на сучасних печах надвисокої потужності.

Застосовуючи гноти, опір яких менше, ніж опір тіла електрода можна перерозподілити струм по перерізу електрода таким чином, що його густина у гноті збільшиться до 100 ... 160 А/см². Природно, що цей фактор також сприяє зниженню температури тіла електрода та зменшенню швидкості його бічного окиснення. Візуально це підтверджується тим, що нижня, найбільш нагріта частина електрода (400..700 мм) має форму близьку до циліндра, а не конусну, тобто на гнотових електродах, на відміну від монолітних, швидкість бічного окиснення нижча, а торцевого може регулюватися. Сумарна швидкість окиснення гнотових електродів (витрата електродів) нижча, ніж монолітних. Для перевірки цього положення було проведено серію плавок на стандартних режимах, на яких використовувався один гнотовий електрод складу (F₂₁) і два монолітних електроди. Витрату електродів

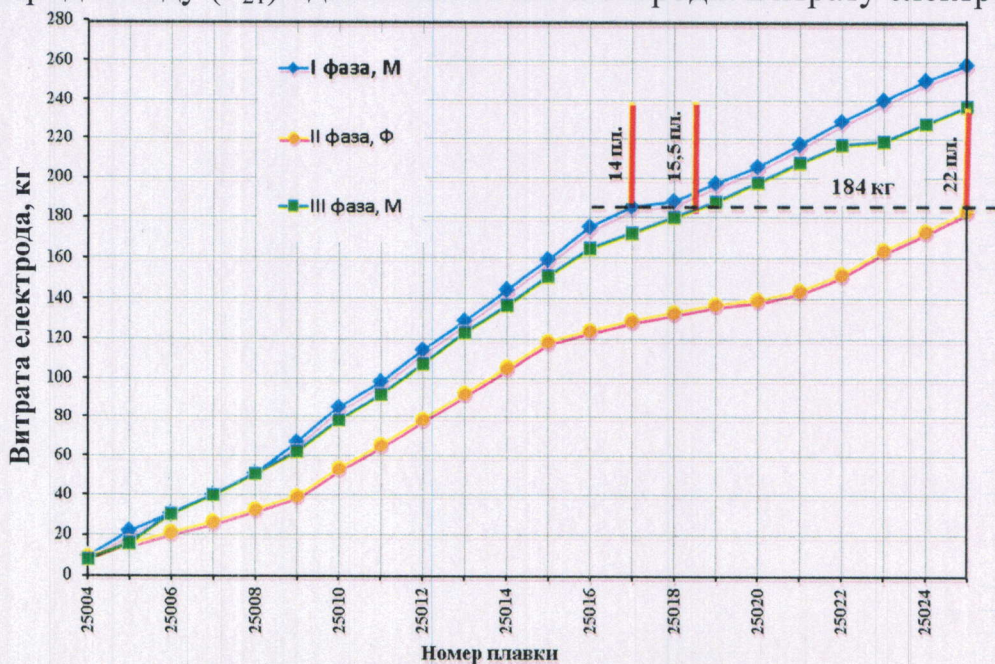


Рис. 10. Інтенсивність окиснення (угар) електродів на печі ДС-6Н1.

визначали зважуванням кожної електродної свічки перед плавкою. Результати цієї роботи наведено на рис. 10. З цих даних випливає, що монолітні електроди забезпечили 14 і 14,5 плавок, а гнотовий 22, тобто має місце збільшення стійкості гнотового електрода на 25%.

Зведені дані щодо ТЕП плавок із застосуванням гнотових електродів на промисловій печі ДС6-Н1 наведено нижче.

ЕНЕРГЕТИКА

1. Зменшення часу від першого короткого замикання при включенні печі до стійкого горіння дуги у 2,75...5,4 рази;
2. Збільшення $\cos \varphi$ з 0,81...0,86 до 0,91...0,94;
3. Зменшення коефіцієнта гармонік струму з 0,65...0,59 до 0,28...0,09.

ТЕХНОЛОГІЯ

1. Зниження питомої витрати графітованих електродів (кг/т), у середньому, на 18%;
2. Збільшення продуктивності печі, у середньому на 23%;
3. Економія питомої витрати електроенергії в середньому на 10%.

МЕТАЛУРГІЯ

1. Зниження угару легуючих і феросплавів до 6%;
2. Зниження загального угару шихти на 2...3%.

ЕКОЛОГІЯ

1. Зниження рівня шуму печі на 8...10%;
2. Зниження кількості викидів пилу та газів на 7...12%.

Наведені дані щодо печі ДС-6Н1, послужили основою для проведення робіт із застосування гнотових електродів на 50-тонній дуговій печі типу ДСВ-50. Програма робіт включала оцінку впливу масштабного фактора (порівняння ТЕП 6-ти та 50-ти тонної печі), роботу печі у безперервному режимі (плавка на плавку) протягом 8 діб, роботу печі на подовжених дугах, контроль параметрів електричних та технологічних режимів плавки та ін. Для цього було виготовлено 24 електроди $\varnothing 508$ мм з гнотовими вставками F₁₆, F₂₂, F₂₃ та F₂₇. Для коректного порівняння результатів плавки проводили на штатних електричних режимах. Проводили також записи осцилограм струму та напруги, частина яких виконана на довгих дугах та знижених струмах. Основні результати робіт із застосування гнотових електродів на промисловій печі ДСВ-50 представлені нижче.

ЕНЕРГЕТИКА

1. Найменший, в середньому, на 50%, час стабілізації дуг на проплавленні «колодязів» і розплавлення шихти.
2. Менший, на 30...50%, діапазон розкиду струмів по фазах у період проплавлення «колодязів» і розплавлення шихти.
3. Найменші коефіцієнти гармонік струму при проплавленні «колодязів» (середнє 20%) та на рідкому металі (середнє 25%).
4. Найменші спотворення синусоїдальних кривих струму в основні періоди плавки.

ТЕХНОЛОГІЯ

1. Зниження питомої витрати графітованих електродів (кг/т) залежно від складу гнотів, якості вихідних (монолітних) електродів та виду шихти на 16,1...31,4%;
2. Збільшення продуктивності печі, (т/год) на 18...27%;

3. Економія активної електроенергії (кВт·ч/т) на 7...16,7%.

МЕТАЛУРГІЯ

1. Зниження вмісту азоту у сталі, у середньому, на 19%;
2. Зниження угару легуючих та феросплавів на 4...6%;
3. Зниження загального угару шихти на 3...4%.

ЕКОЛОГІЯ

1. Зниження рівня шуму печі на 7...10%;
2. Зниження викидів пилу та газів на 8...12%.

З поданих даних випливають два основні висновки. По-перше, використання гнотових електродів на 50-тонній печі ДСВ-50 забезпечує високі техніко-економічні показники, як і у випадку печі змінного струму ДС6-Н1 та печі постійного струму ДСП ПС-12. По-друге, перехід із 6-тонної печі на 50-тонну підтвердив, що масштабний фактор жодним чином не впливає на ТЕП роботи печей змінного струму. Таким чином, гнотові електроди можна успішно застосовувати на промислових печах будь-якої ємності, включаючи 200 ... 400 т.

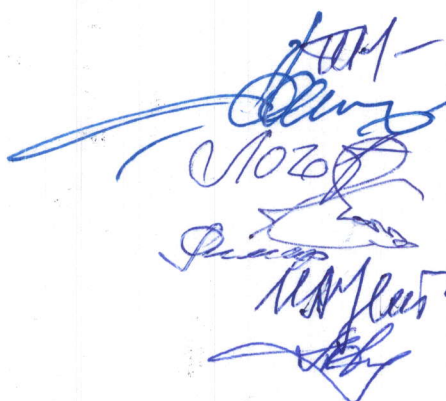
Важливо відзначити, що гнотові електроди незалежно від їх складу та режимів плавки стабільно забезпечують зниження рівня шуму працюючої печі та зниження викидів в атмосферу пилу та газів, в середньому, на 7...12%.

Робота з використання графітованих гнотових електродів проводилася на сортаменті сталей, що постачаються для виробництва сучасної техніки для потреб Збройних Сил України.

Робота «Композитні (гнотові) графітовані електроди для промислових дугових сталеплавильних печей» не має аналогів у світовій практиці електрметалургії та є пріоритетом металургів України.

Економічний ефект від застосування гнотів електродів на заводі «Дніпроспецсталь» склав 562 грн/т сталі.

За підсумками роботи видано 8 монографій; опубліковано 24 статті, в тому числі у виданнях, проіндексованих в базах даних Scopus та Web of Science – 12 статей, одержано 9 патентів.


Гончаров Ігор Олександрович
Кійко Сергій Геннадійович
Логозинський Ігор Миколайович
Панов Євген Миколайович
Римар Сергій Володимирович
Нейло Інна Олексіївна
Федьков Олексій Георгійович

Перелік наукових публікацій, висунутих на присудження Національної премії

№ з/п	Назва публікації ^{*)}	Вихідні дані/ реквізити публікації	Авторський доробок (кількісний показник)
1	2	3	4
I. Монографії / підручники / посібники / методики			
1	Енергоресурсоефекти вне пресування вуглеграфітових виробів	Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. ISBN 978-617-7734-27-6	Панов Є.М. 79
2	Thermoelectric Properties of Granular Carbon Materials	Advanced Thermoelectric Materials / Chong Rae Park (ed.). Hoboken: John Wiley & Sons, Inc., Beverly, MA 01915-6106 : Scrivener Publishing LLC, 2019. https://doi.org/10.1002/9781119407348.ch10 ISBN: 9781119407355 https://www.scrivenerpublishing.com/cart/title.php?id=390	Panov Ye. M. 468
3	Теоретично-експериментальні дослідження печей графітування Кастнера	КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 12,51 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. Бібліогр.: с. 164-171. – Назва з екрана. – http://ela.kpi.ua/handle/123456789/20800	Панов Є.М. 355
4	Фізичні властивості вуглецевих сипучих матеріалів	НТУУ «КПІ», 2016. Гриф надано Вченою радою НТУУ «КПІ» (Протокол № 5 від 11.04.2016 р.) Електронні текстові дані (1 файл: 8,91 Мбайт). http://ela.kpi.ua/handle/123456789/15429	Панов Є.М. 146
5	Закономірності процесу високотемпературного оброблення сипучих вуглецевих матеріалів в електричних печах	НТУУ «КПІ»; відп. ред. І. О. Мікульонок. Електронні текстові дані (1 файл: 4,02 Мбайт). Київ : НТУУ «КПІ», 2016. Бібліогр Гриф надано Вченою радою НТУУ «КПІ» (Протокол № 3 від 14.03.2016 р.) http://ela.kpi.ua/handle/123456789/15217	Панов Є.М. 132
6	Welding fluxes: Structural and physicochemical aspects of slag melts	К.:PPC “The University of Kyiv”, 2015.-239 p. ISBN 978-966-439-810-4	Goncharov I.A. 81
7	Теплообмен в многокамерных печах обжига углеграфитовых изделий	Министерство образования и науки Украины. Национальный технический университет Украины. «Киевский политехнический институт» К.: НТУУ «КПИ», 2014. – 176 с.	Панов Є.М. 251

8	Теплоэлектрическое состояние печей графитирования Ачесона	Министерство образования и науки Украины. Национальный технический университет Украины. «Киевский политехнический институт» К.: НТУУ «КПИ», 2014. – 238 с.	Панов Є.М. 529
№ з/п	Назва	Вихідні дані/ реквізити публікації	Співавтори
II. Статті в журналах, включених до категорії «А» та у закордонних виданнях, проіндексованих у базах даних Web of Science Core Collection та/або Scopus			
1	Efficiency of using cored graphitized electrodes on electric arc furnaces of direct current	<i>Advances in Materials Science</i> , 2023. Vol. 23, No. 1 (75), March . P.82-97 http://dx.doi.org/10.2478/adms-2023-0006	Bogachenko A.G., Mishchenko D.D., Goncharov I.O., Braginets V.I., Neylo I.A., Plevako Y.A.
2	Technology of Electrocontact Gaskets for Graphitizing Electrode Blanks in Direct Heating Furnaces	<i>Petroleum and Coal</i> . 2022. Vol. 64, Issue 2, April. P.299-303 ISSN 1335-3055 https://www.vurup.sk/petroleum-coal-journal/issues-and-articles	Panov Ye. M., Karvatskii A. Ya., Leleka S. V., Mikulionok I. O., Ivanenko O. I.
3	Multi-agent Model of Energy Consumption at the Metallurgical Enterprise	<i>Lecture Notes in Mechanical Engineerin.</i> , 2020. Харьков, Июнь, С.156-165 https://www.researchgate.net/publication/341915902	Kiyko S., Druzhinin E, Prokhorov O., Haidabrus B.
4	Assessment of the Effect of Oxygen and Carbon Dioxide Concentrations on Gas Evolution During Heat Treatment of Thermoanthracite Carbon Material	<i>Journal of ecological engineering</i> . 2020. Vol. 21, Issue 2, February. P.139–149 https://doi.org/10.12911/22998993/116326	Panov Ye., Gomelia N., Ivanenko O., Vahin A., Leleka S.
5	Logistics control of the resources flow in energysaving projects: Case study for metallurgical industry.	<i>Acta Logistica</i> 7(1). 2020. Vol. 7, Issue 1, March. P. 49 – 60 DOI: 10.22306/al.v7i1.159 https://www.researchgate.net/publication/340314129	Kiyko S., Druzhinin Ev., Prokhorov O. et al
6	Model of forming and analysis of energy saving projects portfolio at metallurgical enterprises	<i>Advances in Intelligent Systems and Computing. Январь</i> 2020. Vol. 1080 AISC, January. P.304-314 DOI: 10.1007/978-3-030-33695-0_22 https://www.researchgate.net/publication/336981537	Kiyko S., Druzhinin, Ev., Prokhorov, O., Kritskiy, D.
7	Management of energy saving project and programs at metallurgical enterprises	<i>14th International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologie. (CSIT) IEEE</i> 2019. Vol. 3, 17-20 September, P. 158 – 161 https://doi.org/10.1109/STC-CSIT.2019.8929807	Kiyko S., Druzhinin Ev., Prokhorov O. et al.

8	Thermoelectric Properties of Granular Carbon Materials	<i>Advanced Thermoelectric Materials.</i> 2019. January. P. 437 – 467 https://doi.org/10.1002/9781119407348.ch10	Karvatskii A.Ya., Vasilchenko G.M., Panov Y.N., Leleka S.V., Lazariev T.V., Pedchenko A.Y., Chirka T.V.
9	Investigation of the structure of CaO-Al ₂ O ₃ -SiO ₂ melts as a basis for the development of new agglomerated welding fluxes and industrial refractories	<i>Journal of Mining and Metallurgy, Section B: Metallurgy.</i> 2018. 54 (2) B, P.133-141. DOI:10.2298/JMMB170908001S	Sokolsky V.E., Pruttskov D.V., Busko V.M., Kazimirov V.P., Roik O.S., Chyrkin A.D., Goncharov I.A., Galinich V.I.
10	Making the heat-insulating charge of acheson graphitization furnaces more efficient	<i>Refractories and industrial Ceramic.</i> 2014. Vol. 55. Issue 1, May, P.15-16 http://dx.doi.org/10.1007/s11148-014-9648-5	Kutuzov S.V. Buryak V.V. Derkach V.V. Panov E.N. Karvatskii A.Ya.
11	Relationship between quality, manufacturing technology and structure of welding fluxes	<i>13th International Conference on Liquid and amorphous Metals // Journal of Physics.</i> 2008. Conference Series 98(7) 072018. March, P.1-4. http://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/98/7/072018	Sokolsky V.E., Roik A.S., Samsonnikov A.V., Goncharov I.A., Galinich V.I., Tokarev V.S., Shevchuk R.N.
12	About the form of hydrogen existence in welding fused fluxes	<i>Автоматическая сварка.</i> 2001. Vol. 2001, no 4. P. 27-30	Гончаров И.А., Пальцевич А.П., Токарев В.С., Вебляя Т.С., Харченко Н.П

III. Статті у наукових виданнях, включених до категорії «Б»

1	Результати застосування графітованих гнотових електродів на 50-ти тонній дуговій сталеплавильній печі змінного струму типу ДСВ-50	<i>Сучасна електрометалургія.</i> 2024. №1. С.32-39	Богаченко О.Г., Черняков А.В., Гончаров І.О., Кійко С.Г., Логозинський І.М., Левін Б.А. Федьков А.Г., Горбань К.М.
2	Математичне моделювання електричних і теплових процесів в графітованих гнотових електродах для дугових сталеплавильних печей постійного струму	<i>Сучасна електрометалургія.</i> 2023. №3. С. 28-39. doi: 10.37434/sem2023.03.05	Римар С.В., Богаченко О.Г., Гончаров, І.О. Нейло І.О., Кузьменко Г.В., Губатюк Р.С.

3	Застосування графітованих гнотових електродів на дугових сталеплавильних печах постійного струму	<i>Сучасна електрометалургія.</i> 2023. №1. березень, С. 53-61	Богаченко О.Г., Міщенко Д.Д., Гончаров І.О., Брагінець В.І., Нейло І.О., Плевако Ю.А.
4	Досвід застосування графітованих гнотових електродів на промисловій дуговій сталеплавильній печі змінного струму	<i>Сучасна електрометалургія.</i> 2021. №1. березень, С.48-53	Патон Б.Є., Богаченко О.Г., Кійко С.Г., Логозинський І.М., Лютий О.П., Горбань К.М.
5	Формування портфеля проектів енергозбереження на металургійному підприємстві.	<i>Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні.</i> 2020. НУ «Запорізька політехніка», № 2. С. 71–81	Кійко С.Г.
6	Экономия электроэнергии на дуговых сталеплавильных печах постоянного тока (ДСП ПТ) с графитированными фитильными электродами	<i>Современная электрометаллургия.</i> 2016. №1. С.58-64	Богаченко А.Г., Мищенко Д.Д., Брагінець В.І., Галинич В.І., Нейло І.А., Лютий А.П., Фридман М.А.
7	Повышение качества и конкурентоспособности проката коррозионностойких сталей	<i>Металлургическая и горнорудная промышленность.</i> 2014. № 1. С. 55-59.	Корниевский В.Н., Сальников А.С., Тумко А.Н., Логозинский И.Н., Шибекко П.А.
8	Внедрение ресурсосберегающей технологии производства слитков на заводе "Днепроспецсталь"	<i>Металлургическая и горнорудная промышленность.</i> 2013. № 6.- С. 31-33.	Корниевский В.Н., Кийко С.Г., Панченко А.И., Логозинский И.Н., Шибекко П.А., Сальников А.С., Булат В.А., Черенков Д.В.
9	Повышение эффективности производства коррозионностойких сталей за счет снижения удельного расхода легирующих элементов и улучшения качества	<i>Металлургическая и горнорудная промышленность.</i> 2013. № 5. С. 18-23.	Корниевский В.Н., Кийко С.Г., Сальников А.С., Логозинский И.Н., Шибекко П.А.
10	Совмещенная деформационно-термическая обработка проката коррозионностойких и	<i>Металлургическая и горнорудная промышленность.</i> 2012. № 3. С. 65-67.	Артамонов Ю.В., Спектор Я.И., Куницкая И.Н., Логозинский И.Н., Тумко А.Н., Сажин М.Е.

	подшипниковых сталей.		
11	Опытно-промышленное освоение сквозной технологии электроплавки конструкционной стали с применением ферросиликомарганца.	<i>Металлургическая и горнорудная промышленность</i> . 2011. № 6. С. 17-21.	Панченко А. И., Льгозинский И. Н., Сальников А. С., Лоза В. В., Касьян С. А., Гасик М. И., Горобец А. П., Пройдак Ю. С.
12	Разработка и промышленное освоение инновационной технологии выплавки и внепечной обработки подшипниковой электростали ШХ 15СГ-В с использованием ферросиликомарганца Mn С17	<i>Металлургическая и горнорудная промышленность</i> , 2008, апрель, № 5(250), С. 69-73	А. И. Панченко, И. Н. Логозинский, А. С. Сальников, П. А. Шибeko, С. А. Мазурук, С. А. Касьян, С. С. Казаков, Л. М. Скрипка, М. И. Гасик, А. Н. Овчарук, А. П. Гороб
V. Патенти України або інших країн на винахід			
1.	Спосіб виготовлення синергетичного флюсу	Патент на винахід № 92903. Бюл. № 24, 27.12.2010	Гончаров І.О., Головка В.В., Галініч В.І., Осіпов М.Я., Олейник М.М., Нетяга В.І.
VI. Патенти на корисну модель України, промисловий зразок			
1	Електроконтактна прокладка заготовок електродної колони, складеної для їх графітування в печі прямого нагрівання за методом Кастнера	пат. на корисну модель № 147784 Україна: МПК (2021.01), С01В 32/20 (2017.01), С04В 35/52 (2006.01), Н05В 3/00. № u202100802; заявл. 22.02.2021; опубл. 10.06.2021, Бюл. № 23. 2 с.	Панов Є.М. Карвацький А. Я. Лелека С. В. та ін.
2	Спосіб підготовки печі прямого нагрівання за методом Кастнера для процесу графітування	пат. на корисну модель № 146006 Україна: МПК (2021.01), С01В 32/20 (2017.01), F27В 13/00. №u202005491; заявл. 25.08.2020; опубл. 13.01.2021, Бюл. № 2/2021 2 с.	Панов Є.М. Карвацький А. Я. Лелека С. В. та ін.
3	Графітований композитний (гнотовий) електрод для дугових сталеплавильних, феросплавних печей та агрегатів для позапічної обробки сталей та сплавів, що працюють на	пат. на корисну модель № 138137 Україна: МПК (2019.01), С21С 1/00. № u201903784; заявл. 12.04.2019; опубл. 25.11.2019, Бюл. № 22. 4 с.	Богаченко, Нейло, Галініч, Судаєцова

	постійному та змінному струмі		
4	Спосіб плавки на дугових сталеплавильних печах постійного струму (ДСП ПС)	пат. на корисну модель № 132645 Україна: МПК F27B 3/08 (2006.01). № u201807632; заявл. 09.07.2018; опубл. 11.03.2019, Бюл. № 5. 4 с.	Богаченко, Демідова, Плевако, Міщенко, Нейло, Галініч.
5	Графітований електрод з активною вставкою.	пат. на корисну модель №129404 Україна: МПК (2018.01) C21C 1/100. № u2018 05481; заявл. 17.05.2018; опубл. 25.10.2018, Бюл. №20. 4 с.	Богаченко, Міщенко, Удалова, Брагінець, Галініч, Нейло.
6	Спосіб одержання нержавіючої сталі, легованої титаном, алюмінієм, бором і ванадієм	пат. на корисну модель № 94008 Україна: (13) ВОІВ ST.16U МПК C21C5/52 (2006.01), C21C5/56 (2006.01). № u201404782; заявл. 05.05.2014; опубл. 27.10.2014, Бюл. № 20. 4 с.	Логозинський І.М. Левін Б.А.
7	Система оцінки ефективності керування діяльністю підприємства	пат. на корисну модель № 88210 Україна: № u201309720; заявл. 05.08.2013; опубл. 11.03.2014	Кійко С.Г.
8	Спосіб одержання прокату з інструментальної сталі для гарячої обробки металів і сплавів	пат. на корисну модель №86026 Україна: МПК (2013.01) C21D 8/00 C21D 8/06 (2006.01). № u 2013 07332; заявл. 10.06.2013; опубл. 10.12.2013, Бюл. № 23. 3 с.	Логозинський І.М.