

УДК 621.181.7

О. Ю. Співак, к. т. н.; Л. А. Боднар, к. т. н.; Р. В. Сливко

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ПЕЧІ ДЛЯ ТЕРМООБРОБКИ ОБМАЗКИ ЗВАРЮВАЛЬНИХ ЕЛЕКТРОДІВ

У статті експериментально досліджено і проаналізовано основні проблеми, які виникають під час роботи печі для сушіння і прожарювання зварювальних електродів з рутиловим покриттям. Розроблено комплекс заходів з енергозбереження на підприємстві.

Ключові слова: сушільний агент, електрод, піч, рециркуляція.

Вступ

Зварювальні електроди широко використовують у різних галузях промисловості. Термообробку електродів проводять з метою надання покриттю достатньої механічної міцності за вмісту в ньому вологи в межах, що сприяє нормальному перебігу зварювального процесу й дозволить забезпечити заданий хімічний склад і властивості наплавленого металу і зварних з'єднань. Від якості електрода, від його вологості залежить міцність зварювального шва [1].

Процес сушіння і прожарювання електродів проходить у печах спеціальних типів, які, як правило, є електричними.

Через постійне зростання цін на енергоресурси виникає потреба в розробці заходів з енергозбереження в різних галузях виробництва, серед яких і виробництво зварювальних електродів. Проблема економії енергоресурсів у теплотехнічних установках залишається актуальною протягом десятків років.

Промислові дослідження енергозатрат у різних печах (Г-232, ППТК-15, ЦРМЗ) для сушіння і прожарювання електродів проведено в роботах [2, 3], де авторами виділяють основні проблеми в процесі роботи таких печей, виявлені причини високого споживання енергії, а також пропонують низку заходів з енергозбереження.

Авторами цієї статті проведено цикл досліджень енергоефективності роботи постійно діючих печей для сушіння і прожарювання електродів з рутиловим покриттям на підприємстві.

Мета роботи – дослідження причин неефективної роботи печей, високого енергоспоживання, а також розробка заходів з усунення виявлених недоліків.

Основна частина

Сфера застосування рутилових електродів – зварювання конструкцій із маловуглецевих низьколегованих сталей у будівництві і машинобудуванні. Кінцевий вологовміст таких електродів повинен складати $u_k=0,1..0,3$ %.

Процес сушіння і прожарювання електродів відбувається у два етапи: перший тривалістю $\tau_1 = 0..40$ хв, температура сушільного агента (повітря) $t_{nos1} = 25..120$ °С, другий – $\tau_2 = 40$ хв, $t_{nos2} = 120..150$ °С.

Електрична потужність печі складає 150 кВт, розрахункова маса завантажуваних електродів – 750 кг. Технологічний процес передбачає також пров'ялювання електродів, тобто перед подачею в піч вони проходять через термотунель, унаслідок чого зменшується початкова вологість (від $u_n=7,7 - 9,3$ % після опресовки до 7,25 % після термотунеля). Досить часто на підприємстві пров'ялювання відбувається шляхом витримки електродів у цеху при температурі навколишнього середовища або обдування електродів повітрям у печі.

Внутрішню будову печі наведено на рис. 1, а систему надходження і витяжки повітря – на Наукові праці ВНТУ, 2013, №4

рис. 2.



Рис. 1. Внутрішня будова печі

З метою дослідження ефективності роботи печі дослідження проводили під час роботи печі у виробничих умовах.

Повний цикл термообробки складається з попереднього сушіння, сушіння, прожарювання й охолодження. У такому типі печі проходять процеси сушіння і прожарювання. Попереднє сушіння проходить у термотунелі, а охолодження – у цеху. У верхній частині розташовано три вентилятори марки ДЕ-190. Вентилятори нагнітають свіже повітря в розподільчі коробки, де розташовано 30 електронагрівників потужністю по 5 кВт кожен. Відпрацьоване вологе повітря ежекційно видаляють через систему отворів у верхній частині печі (на рис. 2 трубопровід жовтого кольору).

Через невдалу реконструкцію печі у процесі термообробки електродів виникають різні проблеми: нерівномірне просушування електродів (кінцева вологість на різних рамках може коливатися в широких межах). Наявна система витяжки повітря неефективно видаляє вологий сушильний агент, тому на підприємстві під час роботи печі декілька разів відкривають двері, після цього гаряче вологе повітря виходить у цех. Це призводить до втрат теплоти.

На рис. 3 наведено результати роботи печі для трьох завантажень, які відбувалися протягом одного дня (з 12⁰⁵ до 18¹⁰). Упродовж експерименту вимірювали такі параметри: температуру в печі, відносну вологість повітря, температуру повітря на витяжці, температуру точки роси, споживану потужність печі, вологість обмазки електродів. Вимірювання проводили приладами лабораторії підприємства-виробника електродів. Перед завантаженням зважували масу електродів та рамок. У процесах сушіння електроди завантажували в піч на рамках двох типів: звичайних і полегшених. Полегшені рамки було виготовлено зі звичайних шляхом видалення деяких елементів.

Перше завантаження (рис. 3 а)

Температура в цеху – 25 °С. Рамки полегшені (вага 2,25 кг) (рис. 4). Електроди пройшли термотунель. Вага сухих електродів на одній рамці 4,5 – 4,8 кг. Вологомір розташовано в задній стінці печі. Вага завантажених у піч електродів приблизно 1041 кг. Електроди складе-

но щільно один до одного в 1 – 2 ряди. У процесі обробки вони злипаються в "коржі", про-сушуються нерівномірно. Дослідження показали, що електроди на полегшених рамках про-сушуються швидше, ніж на звичайних, після 60 хвилин прожарювання вологовміст електродів складає 0,19 % на полегшених та 0,8 % на звичайних. Споживана потужність печі у процесі прожарювання електродів – 93,6 кВт. Після 60 хвилин прожарювання електроди мали вологість 0,16 – 0,19 %, що відповідає нормативному значенню (стандарт $u_e \leq 0,7$ %), вологовміст електродів на звичайних рамках 0,21 %.



Рис. 2. Система подачі і витяжки повітря прожарювальної печі

Друге завантаження (рис. 3 б)

Електроди завантажено на великі рамки (рис. 4). Запуск печі відбувається за температури в камері $+57$ °С. Електроди пройшли термотунель. Термообробку проводили у два етапи: сушіння за температури до 120 °С тривалістю 50 хв і прожарювання за температури 140 °С тривалістю 50 хв. Якщо повітря нагрівається до 120 °С, туди за допомогою регулятора температури вмикаються. Якщо піч охолоджується до 115 °С, туди вмикаються й повітря в печі прогрівається до потрібної температури. Електроди на рамках розміщено у два – три ряди, що призводить до нерівномірного прожарюванню електродів. Частина електродів прожарена якісно (уміст вологи 0,39 %), а інша частина містить надлишок вологи понад 1,5 %. Електроди на великих рамках злипаються "коржами", оскільки вони погано продуваються сушильним агентом. Також при злипанні електродів виникають повздовжні тріщини майже на всю довжину. Вага прожарених електродів на одній рамці 6,5 – 7,12 кг. Вага одного завантаження приблизно 1523 кг. Споживана потужність печі у процесі прожарювання електродів 88,8 кВт. Вага великої рамки (2,88 кг). Після 85 хвилин прожарювання електроди мали вологість

0,39 %, що відповідає нормативному значенню (стандарт $u_e \leq 0,7$ %). Із проведених досліджень видно, що можна зменшити споживання електроенергії за рахунок зменшення процесу прожарювання електродів на 5,6 кВт.

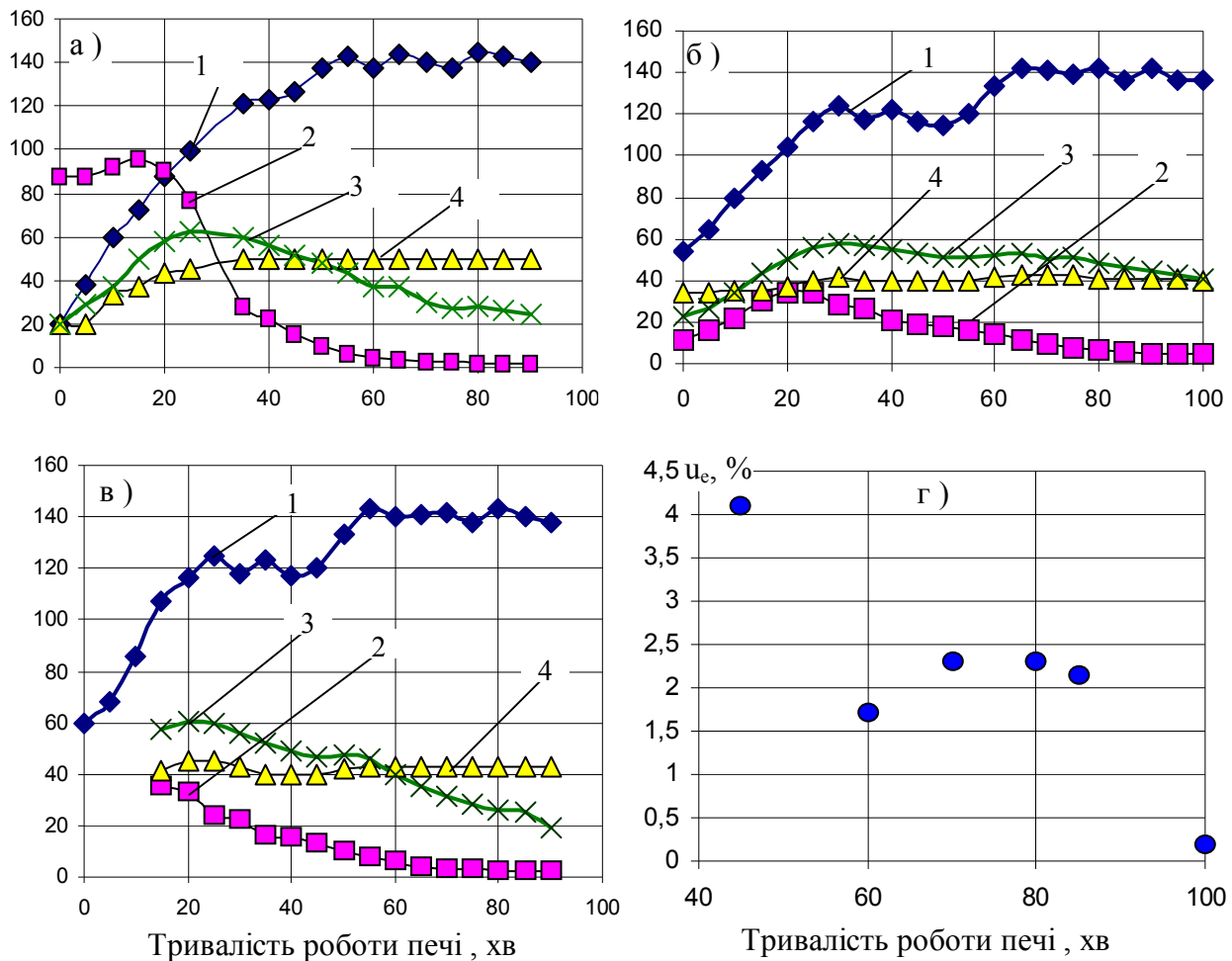


Рис. 3. Результати досліджень роботи печі: а) перше завантаження; б) друге завантаження; в) третє завантаження; г) зміна вологовмісту обмазки електродів для другого завантаження
1 – температура в печі, °С; 2 – відносна вологість повітря, %; 3 – температура точка роси, °С; 4 – температура повітря на витяжці, °С

Третє завантаження (рис. 3 в)

Температура в цеху – 25 °С. Електроди розташовано на малих рамках вагою 2,25 кг. Електроди після термотунеля. Вага сухих електродів на одній рамці 4,5 – 4,8 кг. Вологомір розташовано в задній стінці печі. Причому електроди було завантажено на рамках двох типів: полегшених і звичайних. Вага завантаження – 1040 кг. Електроди складено щільно один до одного в 1 – 2 ряди, на деяких рамках злипаються в "коржі", просушуються нерівномірно. Електроди на полегшених рамках просушуються швидше, ніж на звичайних. Після 60 хвилин роботи печі вологовміст електродів 0,21 % на полегшених рамках (вага 2,25 кг) та 0,28 % на звичайних рамках. Споживана потужність печі в процесі прожарювання 80 кВт. Після 60 хвилин прожарювання електроди мали вологовміст 0,16 – 0,19 %, що відповідає нормативному значенню. У результаті досліджень встановлено, що можна зменшити споживання електроенергії за рахунок зменшення процесу прожарювання електродів на 11,2 кВт.

Аналіз досліджень роботи печі (рис. 3) показує, що запуск печі за температури 57 °С і 60 °С (для другого і третього дослідів відповідно) дозволяє швидше досягти температури в печі 120 °С: на 25 хвилині для другого дослідів і на 22 хвилині для третього. При цьому, як зазначалось вище, електронагрівники за допомогою автоматики вимикаються. Це, у свою чергу, дозволяє економити електроенергію. Якщо для першого завантаження споживана потужність печі становила 93,6 кВт, то для другого і третього – 88,8 і 80 кВт відповідно.

Інші показники роботи печі, наведені на рис. 3, необхідні для подальших досліджень

кінетики процесів сушіння обмазки зварювальних електродів.

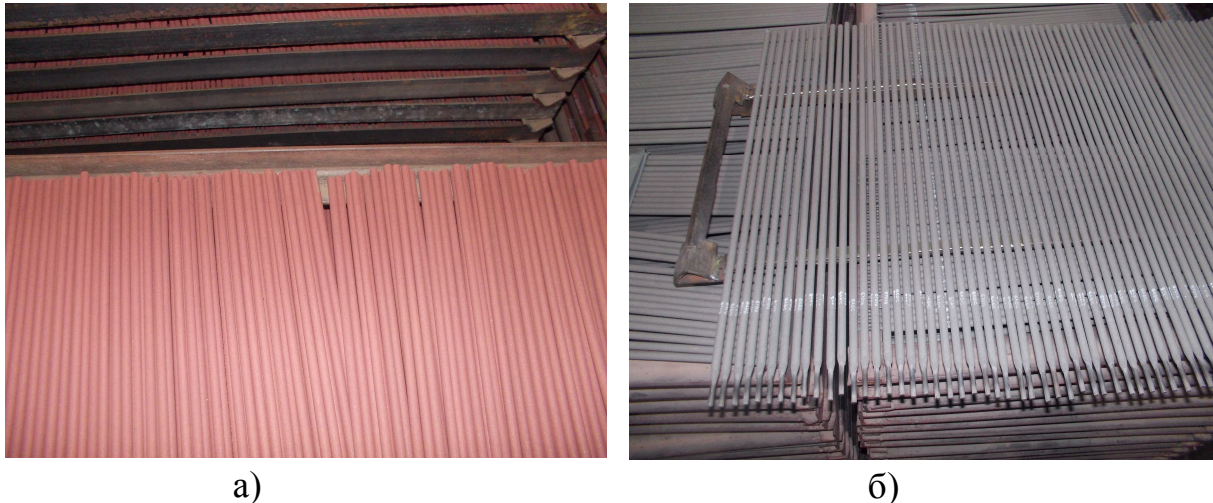


Рис. 4. Розташування електродів на а) звичайних і б) полегшених рамках

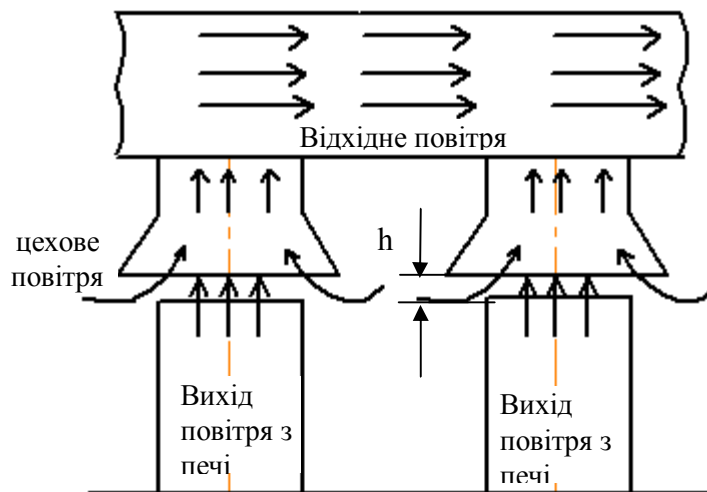


Рис. 5. Схема витяжки вологого повітря з печі

Тривалість термообробки для другого дослідження найдовша, оскільки маса завантажених електродів майже в 1,4 рази більша, ніж для першого і третього. При цьому спостерігався різкий стрибок вологості обмазки електродів (рис. 3 г) на 60 хвилин роботи печі. За підвищених температур сушіння (жорсткі режими сушіння) в органічних компонентах обмазки можуть виникати реакції газоутворення. Утворені гази виходять по капілярах назовні обмазки, виштовхуючи перед собою вологу макро- і мікрокапілярів. Цим можна пояснити деяке підвищення вологовмісту обмазки під час переходу до вищих температур сушіння покриття електродів. Після тридцяти хвилин експерименту в печі накопичилась значна кількість вологого повітря, яку наявна система вентиляції (рис. 5) неефективно видаляла. Вентилятори на подачі повітря працювали на повну потужність, але довелось відчиняти двері печі для видалення вологого повітря, тому збільшення продуктивності печі без реконструкції системи витяжки неможливе.

Авторами проведено аеродинамічний розрахунок наявної системи витяжки, розроблено рекомендації з її реконструкції в разі роботи печі на збільшеній продуктивності. Зазначимо лише, що необхідно встановити додатковий вентилятор на витяжці, що виконуватиме функцію регулятора вологості агента сушки й вмикатиметься автоматично в разі значного накопичення вологого повітря в робочому просторі печі. Це, у свою чергу, потребує переоб-

ладнання наявної системи автоматики. Потрібно також підкорегувати висоту h (рис. 5) для кращого видалення повітря.

Слід зазначити, що проектна потужність печі 150 кВт, а в процесі термообробки використовується лише 70 % потужності. Тобто маємо значний резерв у цьому напрямку.

Маса завантажуваних металевих виробів (рамок і вагонеток) складає близько 400 кг. На розігрів такої маси металу витрачають 10 – 13,5 кВт·год електричної енергії. У разі полегшення маси рамок можна зекономити на електричній енергії (3,5 – 5 кВт·год). Оскільки на підприємстві розташовано десять печей такого типу, а за добу в піч завантажують електроди по 5 разів, то річна економія коштів може бути досить суттєвою. Таким чином можна також зменшити брак продукції, пов'язаний з нерівномірним просушуванням електродів. Як бачимо з рис. 4а, звичайні рамки досить закривають електроди по боках – і гаряче повітря нерівномірно просушує їх. Після видалення деяких елементів рамок їхня маса зменшилась, а рівномірність просушування обмазки електродів збільшилась.

Оскільки витрата електроенергії залежить від багатьох чинників [3], то зменшення енерговитрат можливе лише тоді, коли в печі будуть сконцентровані найвагоміші чинники економії енергії.

Висновки

1. Необхідно дотримуватися проектних норм маси завантажуваних електродів.
2. Із метою кращого теплообміну в печі необхідно встановити відбійні пластини, що спрямовуватимуть потік повітря від вентилятора безпосередньо на електроди; це забезпечить кращу циркуляцію повітря навколо вагонеток з електродами.
3. Для запобігання погіршення якості продукції електроди слід рівномірно розташовувати на рамках (а не насипом).
4. Для зменшення втрат теплоти на нагрівання рамок і вагонеток (транспортних засобів) слід застосовувати рамки спеціальної конструкції, розроблені авторами, що дозволяє економити 3 – 5 кВт·год електроенергії за одне завантаження. Необхідно виготовити декілька комплектів таких рамок з метою скорочення тривалості між завантаженнями.
5. З метою економії електроенергії тривалість між завантаженнями в одній печі повинна бути мінімальною, це зменшує втрати теплоти в навколишнє середовище.
6. Для якісного й рівномірного просушування електродів необхідно вдосконалити точно-втяжну систему вентиляції печі, а також додатково встановити вентилятор, що буде виконувати функцію регулятора вологості агента сушки. Необхідно встановити новітню автоматику на печі з метою якіснішого контролю за основними виробничими показниками.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Потапов Н. Н. Сварочные материалы для дуговой сварки / Потапов Н. Н. – М. : Машиностроение. – 1993. – 256 с.
2. Промышленные исследования энергозатрат в печах для сушки и прокалики сварочных электродов [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://www.svarkainfo.ru>.
3. Шелепов Е. П. Энергозатраты в печах для сушки и прокалики сварочных электродов / Е. П. Шелепов // Сварочное производство. – 2006. – № 5. – С. 20 – 25.

Співак Олександр Юрійович – к. т. н., доцент кафедри теплоенергетики.

Боднар Лілія Анатоліївна – к. т. н., ст. викладач кафедри теплоенергетики.
Вінницький національний технічний університет.

Сливко Роман Володимирович – інженер фірми "Енергобуд".
Фірма "Енергобуд".