

1. Ефимов В.А. Разливка и кристаллизация стали – М.: Metallurgy, 1976. – 552 с.
2. Скребцов А.М. Новые представления о периодичности изменения концентраций химических элементов по радиусу слитка стали/ А.М. Скребцов, Л.А. Дан, В.В. Килочкин// Изв. ВУЗов ЧМ, 1991.-№7, С.106.
3. Скребцов А.М. Периодичность изменения химического состава слитка/ А.М. Скребцов, Л.А. Дан, Б.А. Павлюк, В.В. Килочкин// Процессы литья. -1992, №2, С.52-55.
4. Скребцов А. М. Радиоактивные изотопы в сталеплавильных процессах.-М.: Metallurgy, 1972.- 304 с.
5. Дан Л.О. Щодо одного з шляхів економії металу при відливанні сталевих зливок/ Л.О. Дан, Л.О. Трофімова, П.В. Павленко// Вісник Приазовського державного технічного університету: Зб. наук. пр. – Маріуполь: ДВНЗ «ПДТУ», 2024. – Вип. 49, Т1. – С. 183 - 192. [doi:10.31498/2225-6733.49.1.2024.321259](https://doi.org/10.31498/2225-6733.49.1.2024.321259).

УДК 574:621.1

О. О. Єрьомін, О. В. Гупало, Р. І. Задорожній, А. С. Золотько, Е. Х. Мамедов

Український державний університет науки і технологій (УДУНТ), Дніпро

ЕКОНОМІЯ ПРИРОДНОГО ГАЗУ В ПАЛИВНИХ СЕКЦІЙНИХ ПЕЧАХ ДЛЯ ШВИД- КІСНОГО НАГРІВУ ТА ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ ТРУБ

Актуальність зниження витрати викопного палива, що застосовується в теплових агрегатах, пов'язана з низькою причин, серед яких основними є наступні:

– світовий дефіцит викопного палива та темпи зростання його вартості на протязі останніх 50 років призвели до суттєвого (подекуди 100-кратного) подорожчання цього енергоресурсу;

– моральна застарілість та фізичний знос теплотехнічних агрегатів промислових підприємств України призвели до 2-3 кратного перевищення питомих витрат палива у порівнянні з промислово розвиненими країнами [1];

– з кінця минулого століття активно впроваджуються економічні механізми боротьби із забрудненням навколишнього середовища, заходи з контролю та обмеження кількості викидів шкідливих речовин, парникових газів тощо [2];

– в умовах війни України з російською федерацією розірвані шляхи постачання викопного палива з країни-агресора та його транзит через територію росії; українська

промисловість та енергетика руйнуються під обстрілами, відчувається обмеженість фінансових ресурсів не лише на реконструкцію та удосконалення обладнання, але і на його відновлення внаслідок руйнування.

В металургії та машинобудуванні вагомими споживачами викопного палива є нагрівальні та термічні печі, більшість з яких було побудовано 40-60 років тому з використанням технологій і матеріалів, притаманних часу їх будівництва. До таких агрегатів відносяться і секційні паливні печі, призначені для швидкісного нагрівання заготовок діаметром до 200 мм та термообробки труб діаметром від 100 мм. Ці агрегати опалюються природним газом і відрізняються низькою енергоефективністю через особливості своєї конструкції та теплової роботи.

Так, для забезпечення швидкісного нагрівання металу в робочому просторі секційної печі підтримується висока температура, яка може досягати 1350 – 1450 °С. Розвинена площа зовнішньої поверхні футерівки печі та наявність значної кількості водоохолоджувальних елементів – роликів, що використовуються для транспортування металу через піч, призводять до високих теплових втрат робочим простором печі. Для утилізації теплоти відхідних димових газів на печах встановлюються рекуператори, які зазвичай забезпечують ступінь рекуперації теплоти не більше 0,25. Таким чином, великі теплові втрати та низька ефективність утилізації теплоти димових газів обумовлюють високі питомі витрати палива 85 – 140 кг у.п./т металу [3].

Завдання зменшення питомих витрат палива на теплову обробку металу може вирішуватися двома шляхами:

1) заміною застарілих технологій виробництва сучасними енергоефективними технологіями, що передбачають використання для теплової обробки металу електротехнологічних установок;

2) впровадженням найкращих доступних технологій та методів управління [4].

В теперішній час, в умовах обмеженої інвестиційної спроможності українських підприємств найбільш перспективним є другий шлях, який і розглянуто авторами.

З використанням методів математичного моделювання досліджено теплову роботу секційної печі. Розроблена авторами математична модель печі містить наступні розрахункові блоки: розрахунок спалювання палива, розрахунок зовнішнього теплообміну, нагрівання металу, визначення теплових втрат робочим простором печі, складання теплового балансу печі і розрахунок техніко-економічних показників її роботи. Спираючись на довідник з найкращих доступних технологій та методів управління,

складений для промисловості з обробки чорних металів [4], було проаналізовано тепловий баланс печі і виявлено наступні напрями щодо підвищення її енергоефективності:

1) мінімізація втрат теплоти робочим простором печі через футерівку, а також на розігрів футерівки до робочої температури;

2) підвищення коефіцієнта використання теплоти палива (КВП) (тобто частки теплоти згоряння палива, яка залишається в робочому просторі печі і використовується на покриття теплових втрат робочим простором печі та здійснення теплової роботи).

Зменшення теплових витрат робочим простором печі може бути реалізовано:

– застосуванням волокнистих вогнетривких матеріалів та малоінерційного футерування секцій з метою зменшення втрат тепла теплопровідністю та зниження здатності кладки акумулювати теплоту;

– збільшенням довжини секцій до 1,5 – 2,5 метрів зі зменшенням числа тамбурів і, відповідно, втрати теплоти на охолодження роликів;

– переходом з водяного на повітряне охолодження роликів, особливо, при невеликих температурах нагріву металу, характерних для низки режимів термообробки.

Для підвищення КВП можуть застосовуватися наступні заходи: зниження температури вихідних газів; зменшення питомого виходу диму; збільшення температури підігріву повітря горіння; спалювання палива з мінімальним надлишком повітря.

Ці заходи реалізуються шляхом:

– заміни двопровідних пальників на швидкісні пальники, факел яких спрямовано безпосередньо на поверхню металу, що реалізують струменево-факельний нагрів і забезпечують інтенсифікацію конвективного теплообміну в секціях печі;

– збагачення повітря горіння киснем або переведенням печі на газо-кисневе спалювання палива, яке забезпечує зменшення втрат теплоти з димом, що відходить з печі;

– застосування регенеративної системи опалення секцій з використанням кулькових насадок регенераторів для підігріву повітря, що забезпечить збільшення ступеня утилізації теплоти до 0,7-0,8;

– налаштування системи регулювання «паливо-повітря» на спалювання палива з коефіцієнтом витрати повітря, наближеним до 1, при одночасному поліпшенні перемішування повітря і палива з метою недопущення догорання палива за межами робочого простору печі.

Порівняльний аналіз ефективності впровадження розглянутих технологій та методів управління показав, що одночасне переведення печі на регенеративну систему опалення та реконструкція футерівки печі з використанням волокнистих вогнетривів забезпечують найбільшу питому економію палива, яка в залежності від призначення печі, її початкового технічного стану та режиму роботи складає 20 – 55 %.

Список літератури

1. Венгер, В. В. Тенденції та вектори розвитку металургійної галузі України / В. В. Венгер, Н. І. Романовська, М. Б. Чижевська // *Агросвіт*. – 2022. – № 4. – С. 37-47
2. Шатоха, В. І. Сталий розвиток в чорній металургії / В. І. Шатоха. – Дніпропетровськ : Дріант, 2015. – 184 с.
3. Гупало, Е. В. Энергосберегающие режимы нагрева под термообработку прямошовных электросварных труб в секционной печи / Е. В. Гупало, В. И. Гупало // *Металургійна теплотехніка: Збірник наукових праць Національної металургійної академії України*. – Дніпропетровськ: "ПП Грек О.С.", 2006. – С. 132 – 138.
4. Аріес, Е. Найкращі доступні технології та методи управління (НДТМ). Довідковий документ для промисловості з обробки чорних металів/ Е. Аріес, Х. Гомес Бенавідес, С. Мавроматіс, Г. Кляйн, Г. Хронопулос, С. Рудьє // Люксембург: Відділ публікацій Європейського Союзу. – 2022. – 868 с. <http://doi.org/10.2760/196475>

УДК 669.23.002.8:626

В.Г. Єфімова

КПІ імені Ігоря Сікорського, м. Київ

ПРОДУВАННЯ МЕТАЛУ У ПРОМІЖНОМУ КОВШІ МБРЗ З МЕТОЮ ВИДАЛЕННЯ НЕМЕТАЛЕВИХ ВКЛЮЧЕНЬ

Головним показником, що дозволяє оцінити якість відливої продукції, є вміст неметалевих включень. При цьому слід врахувати той факт, що безпосередній відбір проб і дослідження зразків фізико-хімічної системи розплав сталі-шлак – неметалеві включення неможливо.