

ЗАСОБИ ВИМІРЮВАНЬ ТЕПЛОВИХ ВЕЛИЧИН

РОЗРОБЛЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО УСТАТКУВАННЯ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ РОЗПЛАВУ МЕТАЛУ ОПТИЧНИМ СПОСОБОМ

DEVELOPMENT OF OUTFIT FOR MEASUREMENT OF THE MELT METAL TEMPERATURE IN OPTICAL WAY

*Петриченко Г. І., канд. техн. наук,
ТОВ НВФ "ХАРКІВ-ПРИЛАД", 61050, Україна,
e-mail: office@pribor.kharkov.ua*

*Petrychenko G. I., PhD
SPC Kharkiv-Prylad Ltd, 61050, Ukraine,
e-mail: office@pribor.kharkov.ua*

<https://doi.org/>

Анотація. Подано опис експериментального устаткування для відпрацювання способу вимірювання температури розплаву металу за допомогою оптичного волоконного пірометра. Температуру запропоновано вимірювати, занурюючи зонд у метал крізь шар шлаку.

Ключові слова: температура, метал, зонд, шлак, безконтактне вимірювання, пірометр.

Abstract. Two main methods of contact measurement of steel temperature are applied in industry: with help of disposable and multiple used thermotransducers. Reusable ones are fixed to the bottom of the graphite tip fixed directly on the reinforcement. Then they are able to measure the temperature of the graphite surface. Since it needs to even the graphite temperature and the temperature of the melt metal, the measuring takes some extra time. Therefore the thermotransducer is mounted in the metal for a long time. Disposable thermotransducers are placed in a quartz cylinder, which prevents the premature destruction of it. They are equipped with a thin protective metal tip that melts when the thermotransducer is penetrating the slag layer. So further the thermotransducer contacts directly with the melt metal as far as the completion of temperature measurement or destruction of the used measurement unit. The author suggests considering both these methods and tries to apply them within proposed pyrometric method.

The first method is based on measuring of the surface temperature of the graphite tip in a closed space. The second one consists in measuring the temperature of melt metal that can contact with measuring unit (sensitive part of construction) after the destruction of the protective cap. The advantages of the first method are that the same probe can be used multiple times, in fact until complete destruction. The advantages of the second method consist in the direct optical contact between the metal surface and the pyrometer.

The considered method is promising since it gives the possibility of contactless measurements of the temperature of melt metal within blast furnaces as well as lowering the cost of the measurement process at the metallurgy. In addition, the research envisages that the implementation of this method anticipates the subsystem for the removal of vapors from the closed protective cover that significantly affect the measurement results.

Key words: Temperature, Metal, Probe, Slag, Contactless Measurement, Pyrometer.

Вступ

Очевидно, що для вимірювання температури металу під шаром шлаку неможливо застосовувати способи для вимірювання температури поверхні безпосередньо. Цьому заважає товстий шар шлаку, температура якого істотно відрізняється від температури металу під шлаком. До того ж на границі розділу металу й шлаку можуть відбуватися інтенсивні хімічні реакції, які також супроводжуються змінами температури. Технології варіння сталі

основані на вимірюванні саме температури металу. Тому очевидно, що доведеться застосовувати один із використовуваних варіантів конструкцій із зондами.

Можливі декілька варіантів побудови зонда, який може бути відкритим або закритим. Відкритим зондом називатимемо зонд, в якому оптичний датчик буде безпосередньо спрямований на поверхню металу, тобто поверхня металу буде відкритою для нього. Закритим зондом називатимемо зонд, в якому оптичний датчик буде спрямований на поверхню

якої-небудь проміжної речовини, яка “передаватиме” температуру металу.

Очевидно, щоб пробити шар шлаку, на етапі занурення в метал зонд необхідно закрити захисним ковпачком, щоб запобігти потраплянню в нього шлаку, бо це призведе до неправильного вимірювання температури.

Сьогодні в промисловості використовують два основні способи контактного вимірювання температури сталі: за допомогою одноразових і багаторазових термопар [1–3]. Багаторазові термопари закріплюють на дні графітового наконечника і фактично вимірюють температуру поверхні графіту. Для того, щоб температура графіту зрівнялася з температурою металу, треба дещо більше часу, тому за такого способу вимірювання температури зонд залишається в металі довше. Графітовий наконечник закріплюють безпосередньо на арматурі.

Одноразові термопари розміщують у кварцовому балоні, що запобігає передчасному руйнуванню термопари, і мають тонкий захисний наконечник із легкоплавкого металу, який розплавляється, коли зонд пробиває шар шлаку. Надалі термопара контактує безпосередньо з металом до завершення вимірювання температури або повного руйнування.

Пропоную розглянути обидва ці способи й у застосуванні до пірометра.

Перший спосіб буде побудований на вимірюванні температури поверхні графітового наконечника в замкненому просторі, другий – на вимірюванні температури металу, що потрапить до зонда після руйнування захисного ковпачка.

Переваги першого способу полягають у тому, що той самий зонд можна використовувати більше

ніж один раз, фактично до повного руйнування, а другого в тому, що забезпечується безпосередній оптичний контакт між поверхнею металу і пірометром.

Конструкція устаткування для вимірювання розплаву металу оптичним способом

Як пірометр для запропонованого способу вимірювання температури металу запропоновано застосовувати волоконний оптичний пірометр із оптичною голівкою, поміщеною безпосередньо в установчій арматурі. Оптична голівка без електронних елементів спроможна витримувати набагато вищі температури. Блок електроніки можна винести у порівняно безпечну частину установчої арматури і розмістити безпосередньо в тій частині, за яку арматуру триматиме оператор.

Для апробації способу вимірювання температури за допомогою пірометра вибрано відому конструкцію установчої арматури, з відповідним доопрацюванням для можливості роботи як із закритим, так і з відкритим зондом. Це забезпечено набором змінних перехідних насадок, які встановлюють вже після оптичної голівки пірометра і на яких можна закріплювати або відкритий, або закритий зонд.

Як закритий зонд застосовується графітовий наконечник, а як відкритий вирішили використати пробовідбірники, дещо спрощені й перероблені для цілей експерименту. Фактично пробовідбірники є картонними одноразовими циліндричними пакетами із захисною кришкою на кінці. Закріплюють ці пробовідбірники на арматурі так само, як і звичайно.

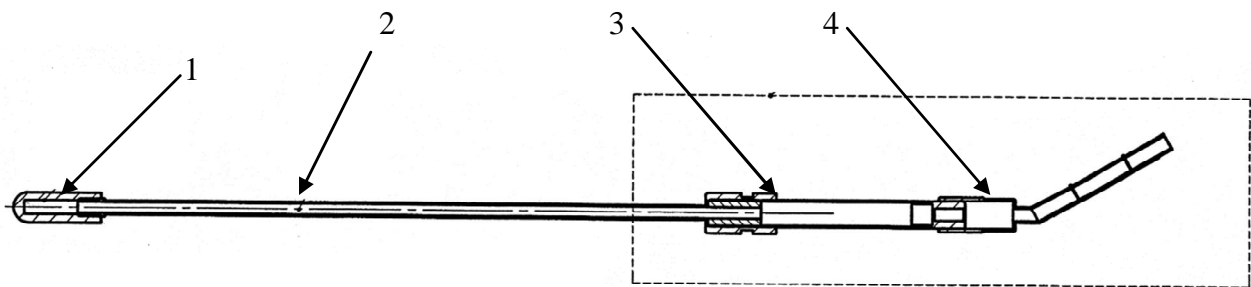


Рис. 1. Конструкція експериментальної установчої арматури:

- 1 – закритий зонд; 2 – перехідна насадка; 3 – перехідник для встановлення насадок;
4 – установча арматура із встановленим пірометром

Fig. 1. Design of experimental installation fittings:

- 1 – protected thermotransducer; 2 – transitive nozzle; 3 – adapter for installation of nozzles;
4 – fittings with the installed pyrometer

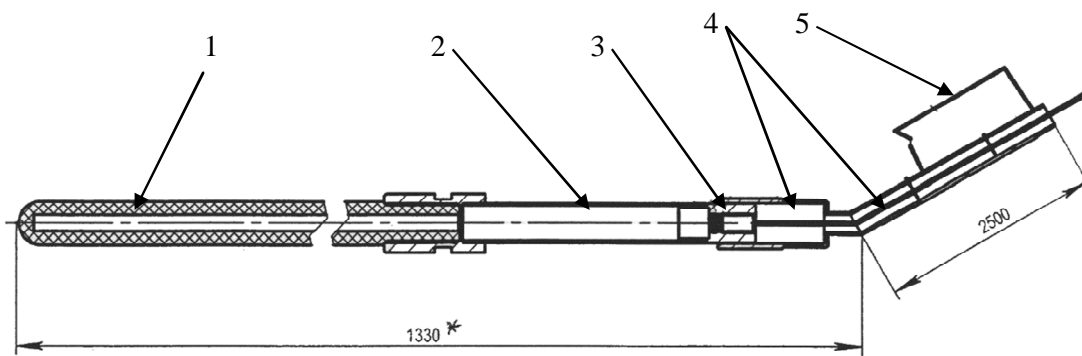


Рис. 2. Варіант конструкції експериментальної установчої арматури із закритим зондом:
 1 – закритий зонд; 2 – перехідник для встановлення насадок; 3 – оптична головка волоконного пірометра;
 4 – волоконний оптичний кабель; 5 – блок електроніки волоконного пірометра

Fig. 2. Construction of experimental installation fittings with protected thermotransducer
 1 – protected thermotransducer; 2 – adapter for installation of nozzles; 3 – optical head of fiber-optical pyrometer;
 4 – fiber-optic cable; 5 – block of electronics

Для проведення експериментальних вимірювань вибрано кольоровий волоконно-оптичний пірометр фірми Raytek серії Marathon – Marathon FR1C. Максимально допустима температура навколишнього середовища для застосованого кабелю і оптичної головки 310 °С, що дає змогу розташувати їх достатньо близько до зонда. Діапазон вимірюваних температур пірометра Marathon FR1C становить від 1000 °С до 2500 °С. Довжина кабелю – 3 м. Пірометр допускає заміну кабелю та оптичної головки у випадку пошкодження без повторного калібрування всієї системи. Робочі спектральні діапазони двох каналів пірометра становлять 0,85 ... 1,1 мкм та 0,95 ... 1,1 мкм відповідно.

Система реєстрації показів пірометра

Покази пірометра можна знімати двома способами: через аналоговий вихід пірометра або за допомогою промислового цифрового інтерфейсу RS-485. Для того, щоб уникнути похибки додаткових перетворень аналогового сигналу і зробити виміри більше захищеними від електричних наведень, прийнято рішення для знімання показань пірометра використовувати тільки його цифровий вихід.

Для зняття температурних показів із пірометра і з контактної термопари зроблено спеціальний інтерфейсний блок, що забезпечує перетворення сигналу термопари на цифровий код, а також передавання зібраних результатів вимірювань з пірометра і з термопари через вбудований порт RS-232. Структурну схему інтерфейсного блока наведено на рис. 3.

Пірометр може працювати як у потоковому режимі, постійно видаючи результати вимірювань та інформацію про свій стан відповідно до попередньо

заданої конфігурації, так і в опитувальному режимі, видаючи необхідний параметр відповідно до запиту. Система команд пірометра дає змогу отримати практично всю необхідну інформацію про вимірювання та їхні результати: кольорову температуру, яскравісну температуру кожного із каналів, сигнал приймача кожного із каналів, випромінювальну здатність, використану для обчислення температури, відношення випромінювальних здатностей для двох робочих спектральних діапазонів, яке застосовувалося для вимірювання температури тощо.

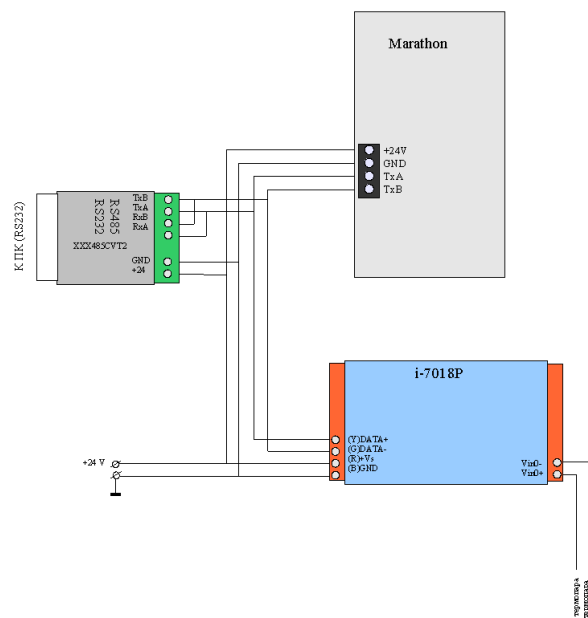


Рис. 3. Структурна схема інтерфейсного блока для експериментальних вимірювань

Fig. 3. Block diagram of the interface unit for investigation

Перетворення сигналу термодатчика на цифровий сигнал відбувається за допомогою перетворювача I-7018P. Похибка вимірювання температури за допомогою цього перетворювача становить $\pm 0,1\%$ від вимірюваного значення.

Результати експериментальних досліджень

Для захисту оптичної головки від можливих бризок металу використано конструкцію із захисною дротовою сіткою і захисним склом, які легко замінити в разі пошкодження бризками розплавленого металу. Для виявлення впливу наявності захисного скла і металеві

сітки на показання пірометра в калібрувальній лабораторії ТОВ СЦ "Харків-Прилад" здійснено калібрування пірометра із встановленими сіткою і склом і без них по чорному тілу Raytek BB6000. У результаті вимірювань залежності кольорової температури (покази пірометра) від наявності чи відсутності захисного скла і захисної сітки не виявлено.

Експериментальні дослідження за пропонуванним методом вимірювання температури розплавленого металу проводилися на металургійному комбінаті в доменній печі. Схему вимірювань показано на рис. 4.

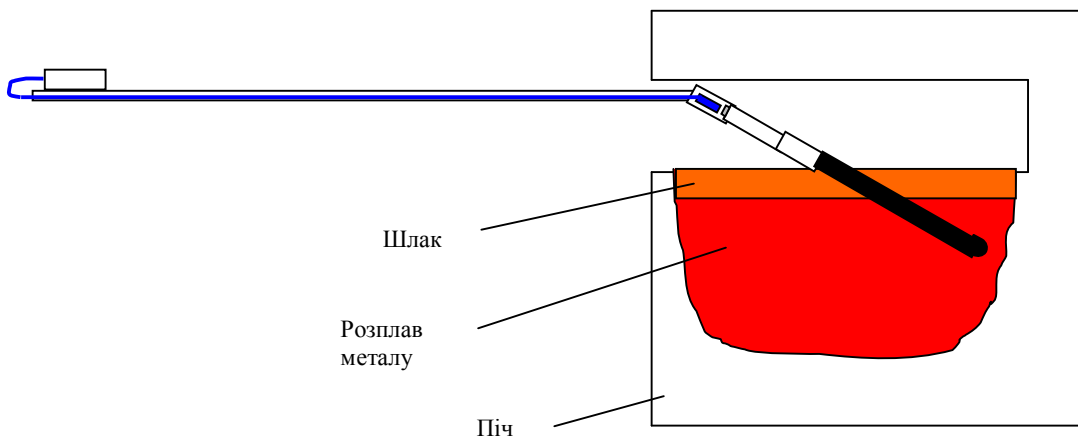


Рис. 4. Схема експериментальних вимірювань температури розплаву металу волоконним пірометром

Fig. 4. Study of the temperature of the melt metal with help the fiber-optic pyrometer

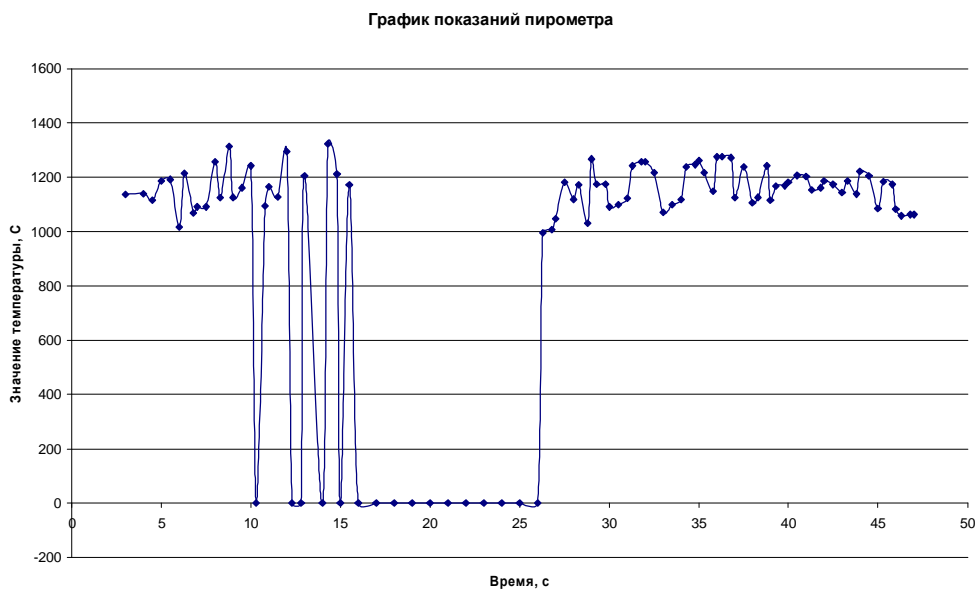


Рис. 5. Результати вимірювань температури з використанням закритого графітового зонда

Fig. 5. Results of temperature measurements using the protected graphite probe

Після проведення пробних вимірювань за допомогою відкритого і закритого зондів отримано результати, наведені на рис. 5. Максимальне значення вимірюваної температури, отримане за допомогою пірометра, – 1323 °С. Водночас вимірювання температури термопарою дали значення температури 1669 °С. Після вимірювань обстеження оптичної головки пірометра показало виникнення тонкої плівки на оптичних поверхнях головки. Це може свідчити про наявність парів всередині закритого перетворювача температури, що можуть заважати вимірюванню температури, навіть за допомогою пірометра спектрального відношення. Подальше калібрування волоконно-оптичного пірометра показало, що плівка, що утворилася на оптичних поверхнях головки, не впливають суттєво на показання пірометра під час вимірювання температури спектрального відношення, проте впливають на показання у режимі вимірювання яскравісної температури.

Висновки

Запропонований метод є перспективним стосовно можливості безконтактного вимірювання температури розплавлених металів усередині доменних печей, а також дає змогу істотно здешевити вказані

вимірювання. Для технічної реалізації методу необхідно використовувати систему видалення парів із порожнини закритого зонда, які істотно впливають на результати вимірювань.

Література

- [1] О. Геращенко, А. Гордов и др., *Температурные измерения: Справочное издание*, Киев: Наук. думка, 1989.
- [2] S. Yatsyshyn, B. Stadnyk, Ya. Lutsyk, L. Bunyak, *Handbook of Thermometry and Nanothermometry*, Barcelona, Spain: IFSA Publishing, 2015.
- [3] S. Yatsyshyn, B. Stadnyk, Ya. Lutsyk, “Research in Nanothermometry. Part 1. Temperature of Micro- and Nanosized objects”, *Sensors & Transducers*, vol. 140, is. 5, p. 1–7, 2012.

References

- [1] O. Gerashchenko, A. Gordov etc. *Temperature measurements*, Kyiv, Ukraine: Science thought, 1989.
- [2] S. Yatsyshyn, B. Stadnyk, Ya. Lutsyk, L. Bunyak. *Handbook of Thermometry and Nanothermometry*, Barcelona, Spain: IFSA Publishing, 2015.
- [3] S. Yatsyshyn, B. Stadnyk, Ya. Lutsyk, “Research in Nanothermometry. Part 1. Temperature of Micro- and Nanosized objects”, *Sensors & Transducers*, vol. 140, is. 5, p. 1–7, 2012.