

ПЕРВИННІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ В МЕТАЛУРГІЇ

PRIMARY CONVERTERS FOR TEMPERATURE MEASUREMENT IN METALLURGY

*Фединець В. О., д-р техн. наук, проф., Юсик Я. П., канд. техн. наук, доц.,
Васильківський І. С., канд. техн. наук, доц.*

Національний університет "Львівська політехніка", Україна; e-mail: v.fedynets@ukr.net

Гук Н. О.,

ПАТ "Науково-виробниче об'єднання "Термоприлад ім. В. І. Лаха"

Vasyl Fedynets, Dr.Sc., Prof., Yaroslav Yusyk, PhD, As.-Prof.,

Ihor Vasykivskiy, PhD, As.-Prof.

Lviv Polytechnic National University, Ukraine; e-mail: v.fedynets@ukr.net

Nazarii Huk,

PJSC "S&P association "Thermoprylad" named after V. Lakh"

<https://doi.org/>

Анотація. Успішне впровадження у металургійне виробництво систем автоматизації неможливе без наявності надійної та достовірної первинної інформації про параметри технологічного процесу. Температура є одним із основних параметрів, що визначає кількісні та якісні показники готової продукції. Тому технологічні процеси металургійної промисловості потребують наявності достатньої та різноманітної кількості первинних перетворювачів температури, що характеризуються високою точністю, чутливістю, стабільністю і стійкістю до завад. У статті наведено огляд термометричних та конструкційних матеріалів для створення первинних вимірювальних перетворювачів із заданими метрологічними характеристиками, перетворювачів для вимірювання температури в доменному виробництві, газових потоків у технологічних процесах металургії, розплавлених металів, а також для інтелектуальних вимірювальних перетворювачів.

Ключові слова: металургійне виробництво, температура, первинний вимірювальний перетворювач, похибка вимірювання, інтелектуальний вимірювальний перетворювач.

Abstract. The successful implementation of the systems of automation in metallurgical industry is impossible without the presence of reliable primary information about the parameters of technological process. A temperature is one of basic parameters that determine the quantitative and quality indicators of the final products. Therefore the technological processes of metallurgical industry need the presence of various primary transformers of temperature with high accuracy, sensitivity, stability and resistance to interference.

The article gives a review of thermometric and construction materials for creation of primary measuring transducers with the set metrological descriptions, transducers for measuring of temperature in a domain production, gas streams in the technological processes of metallurgy, molten metals and intellectual measuring transducers.

Depending on the technologically possible limits of errors of measuring of temperature in different metallurgical processes, this article offers application of existent technical equipment for these measures with providing their features, metrological descriptions, overall dimensions and general view.

In this article the basic requirements to the temperature measuring in metallurgy are provided, as well as basic properties of thermometric and construction materials that must be taken into account for providing metrological and operating descriptions of primary measuring transducers are considered. It offers primary measuring transducers for measuring of temperature of entry parameters, parameters of domain process, equipment and gas streams in a domain production, transducers for measuring of temperature of molten metals. The basic requirements to the intellectual measuring transformers for measuring of temperature in metallurgy are considered, as well as their brief review and metrological characteristics.

Tools of measuring the temperature are systematized for different technological processes in metallurgy, which gives an opportunity to correctly choose transducers by metrological descriptions and structural parameters.

The article attempts to acquaint specialists, researchers, scientists, graduate students and students with new devices for measuring temperatures in different metallurgical processes, which are commercially produced in Ukraine.

Key words: Metallurgical production, Temperature, Primary measuring transducer, Error of measurement, Intelligent transducers.

Вступ

Для виплавлення в доменних печах високоякісного чавуну необхідні точні й надійні результати вимірювання температури в більш ніж 25 точках з похибкою, не вищою за 0,5...1 %. У такому разі спостерігається тенденція до підвищення робочої температури процесу до 2000 °С. Стан вогнетривів печей виробничих агрегатів також

залежить від температурного режиму технологічного процесу.

Із упровадженням нових технологій у металургії та освоєнням випуску нових марок сталі підвищуються вимоги до температурного режиму топлення, що визначають швидкості реакцій окиснення, відновлення і обміну між металевією і шлаковою фазами. Основна похибка вимірювання

температури чавуну і шлаку не повинна перевищувати $\pm 15^{\circ}\text{C}$, а відхилення від заданої температури у ванні сталеплавильної печі допускається не більше ніж $\pm 10^{\circ}\text{C}$. Під час виплавлення сталі киснево-конвертерним способом в електропечах похибка вимірювання температури не повинна перевищувати $\pm 5^{\circ}\text{C}$ [1–3]. З наведеного вище зрозуміло, що проблема вимірювання температури в металургії досить актуальна. Тому в статті зроблено спробу систематизувати відомості про вітчизняні засоби для вимірювання температури в металургійних технологічних процесах.

Аналіз стану матеріалознавства в термометрії свідчить про необхідність враховувати низку вимог (іноді суперечливих) як до властивостей конструкційних і термоелектродних матеріалів, їх технологічності та сумісності між собою й досліджуваним середовищем, так і до стабільності метрологічних характеристик у ході експлуатації [4, 5].

Метрологічні характеристики первинних вимірювальних перетворювачів (ПВП) визначаються властивостями чутливого елемента (ЧЕ), тобто властивостями термоелектричних матеріалів, із яких вони виготовлені. Важливе значення мають технологічність і відтворюваність термоелектричних властивостей в умовах промислового виробництва термоелектродних матеріалів та технологія виготовлення ЧЕ.

Головним процесом виробництва сталі й чавуну сьогодні є доменний процес, а найважливішим компонентом цього процесу – доменна піч. Автоматизація доменних печей є важливою умовою збільшення виробництва чавуну і зниження його собівартості. Для вирішення цього завдання необхідно розробити систему автоматичного контролю і регулювання температурного режиму [2–3]. Для покращення якісних характеристик металів необхідно забезпечити оптимальний режим проведення технологічного процесу плавлення і розливання металу, що передбачає автоматичний контроль температури на цих етапах. Тому нині набули поширення короткочасні періодичні вимірювання температури за допомогою ПВП зі змінними вимірювальними пакетами [1, 2].

Недоліки

Необхідно зауважити, що переважно на виробництвах металургійної промисловості значення похибки вимірювання температури орієнтовно удвічі більші від вимог технологів, що не дає змоги досягати проектних показників агрегатів. Лише сучасні технічні засоби вимірювання температури дають змогу зменшити похибки вимірювання температури до допустимих значень. Останнім часом істотного значення надають розвитку “інтелекту-

альних” вимірювальних перетворювачів із високими вимогами до метрологічних характеристик. Згадані перетворювачі повинні характеризуватись постійною самодіагностикою, певним набором функцій для конкретного використання, забезпечувати зберігання робочих програм та баз даних, високу надійність формування вихідного сигналу, бути стійкими до дії зовнішніх електромагнітних впливів, а також простими в експлуатації.

Мета роботи

Метою роботи є напрацювання пропозицій щодо застосування сучасних технічних засобів вимірювання температури в різних металургійних процесах, оптимальних за методом вимірювання, метрологічними характеристиками та конструктивними особливостями, залежно від технологічно допустимих меж похибок вимірювання.

1. Вимірювання температури в металургійних процесах

1.1. Термометричні та конструкційні матеріали

Однією з основних характеристик термоелектродів є стабільність цих властивостей під час експлуатації в різних середовищах і за різних зовнішніх впливів – механічних, електричних, хімічних тощо. Досліджено термометричні й конструкційні матеріали у публікаціях [4, 5], в яких описано їх термоелектричні властивості, вплив досліджуваних середовищ, радіації, високого тиску, деформацій, термоциклічних впливів, тощо на зміну термо-ЕРС та її стабільність.

Найбільші труднощі виникають з вибором конструкційних тепло- та електроізоляційних матеріалів під час вимірювання температури в металургії [4], за природою якої можливі швидкі зміни температури, а також погіршені умови теплообміну між вимірюваним середовищем і ПВП. Тому необхідно дуже уважно ставитись до вибору матеріалів для забезпечення необхідних експлуатаційних та метрологічних характеристик ПВП. Важливим елементом ПВП є вогнетривка теплова та електрична ізоляція, яка істотно впливає на їх надійність, динамічні характеристики та точність вимірювання температури.

Під час вибору конструкційних теплоізоляційних матеріалів високотемпературних ПВП необхідно враховувати такі їх властивості: жаростійкість у вимірюваному середовищі, термостійкість, газошільність, теплоємність, теплопровідність, температурний коефіцієнт лінійного розширення, технологічність, хімічну сумісність із термометричними матеріалами і матеріалами захисної

арматури, наявність домішок, що впливають на основні властивості [4]. Такі властивості теплоізоляційних матеріалів, як жаростійкість, термостійкість, технологічність та хімічна сумісність матеріалів між собою, визначаються границями міцності на розтягування, модулем пружності, температурами топлення, переходу в крихкий стан, початку взаємодії з іншими конструкційними матеріалами або вимірюваним середовищем.

1.2. Вимірювання температури в доменному виробництві

Вимірювання температури в доменному виробництві необхідно здійснювати для вхідних матеріалів (завантажуваних шихтових матеріалів, холодного і гарячого дуття, вихідних (температура чавуну, шлаку і колошникового газу), а також параметрів доменного процесу й обладнання матеріалів (у фурменній зоні, лещаді, холодоагента в холодильниках, у підкупольній зоні повітрянагрівача та відхідних газів). Наприклад, температура шлаків під час випуску з печі 1385–1425 °С, чавуну – 1345–1365 °С. На рівні фурм у центрі печі температура становить 1350–1400 °С. Гази виходять із печі з температурою 150–350 °С під час виплавлення переробних чавунів і 500–600 °С у разі виплавлення феросплавів [1–3].

Для вимірювання температури на різних об'єктах доменного виробництва встановлено такі технологічно допустимі межі похибки:

– повітрянагрівачі та газозмішувальна станція:
купол ± 20 К; камера горіння ± 15 К; границя кладки
(динас-каолін) ± 15 К; відхідні гази ± 1 %; природний
і доменний газ, первинне повітря для горіння
 $\pm 1,5$ %;

– доменний процес, технологічне обладнання: колошниковий газ на периферії та у газовідводах $\pm 1,0$ %; поверхня засипання шихти ± 20 K; фурменні зони $\pm 2,5$ %; вода для охолодження елементів обладнання $\pm 1,5$ %; кожух та окремі точки кладки печі $\pm 1,5$ %; повітря до і після охолодження у лещаді $\pm 1,5$ %;

– дуття, повітрянагрівачі: шихта, шихтопода-
вання, завантаження у піч $\pm 1,5$ %; холодне і гаряче
дуття $\pm 1,0$ %; газоподібне або рідке паливо $\pm 1,0$ %;
вода до і після охолодження фурми $\pm 1,0$ %;

– чавун і шлак у ході виробництва $\pm 1,0$ %.

Найскладнішим у доменному виробництві є вимірювання температури газових потоків і рідкого металу контактними методами. Надалі розглянемо ПВП, які серійно випускає НВО “Термоприлад ім. В. І. Лаха”, м. Львів [6], основний розробник та виробник сучасного обладнання такого профілю в Україні.

1.3. Вимірювання температури газових потоків

Для вимірювання температури гарячого дуття доменних печей найчастіше використовують перетворювачі термоелектричні типу ТПР-0573. Їх створення зумовлене інтенсифікацією доменного процесу внаслідок підвищення температури гарячого дуття до 1300–400 °С. Вимірювання останньої здійснюється за допомогою термоелектричних перетворювачів, робочий з'єдн. яких занурюють всередину повітропроводу; воно найпоширеніше на доменних печах. Діапазон вимірюваних температур ТПР-0573 становить від 600 до 1350 °С. Умовне позначення номінальної статичної характеристики перетворення (НСХ) – ПР(В). Тут і далі НСХ перетворення наведено згідно з [7]. Показник теплової інерції не перевищує 180 с. Довжина монтажної частини L від 1250 до 2500 мм (рис. 1). Середній ресурс експлуатації за температури 1350 °С – не менше ніж 1000 годин. Висока надійність перетворювача досягається за рахунок застосування спеціального захисту від впливу агресивного середовища газового потоку. Захист виконують у вигляді зовнішнього захисного чохла із карбіду кремнію, з'єднаного на вогнетривкій замазці із захисною арматурою із жаростійкого ступу ХН45Ю, і внутрішнього корундового чохла.

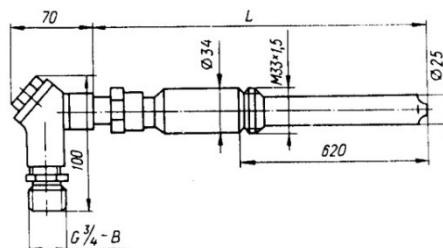


Рис. 1. Перетворювач термоелектричний типу ТПР-0573

Figure 1. Transducer thermoelectric of B type “TPR”-0573

Перетворювач термоелектричний ТХА-706-02 застосовують для вимірювання температури в доменному виробництві колошникового і периферійного газів, кладки шахти доменної печі. Діапазон вимірюваних температур від мінус 50 до 1000 °С, Умовне позначення НСХ – ХА(К). Межа допустимого значення основної похибки не перевищує $\pm 1,0$ % в температурному діапазоні від 600 до 1000 °С. Для цього температурного діапазону вибрано діаметр термоелектродів 1,2 мм. Показник теплової інерції не перевищує 50 с. Умовний тиск вимірюваного середовища – 1,6 МПа. Габаритні розміри показано на рис. 2. Довжина монтажно-ї частини L від 320 до 2500 мм. Чутливий елемент складається із двох хромель-алюмелевих термопар. Термоелектроди ізольовані між собою чотирика-
нальними ізоляторами із оксиду алюмінію. Робочий

злукот термопар захищений від контакту із захисною арматурою спеціальним ковпачком, який кріпиться до неї ізолятором за допомогою термоцементу. Крім цього, чутливий елемент за замовленням може бути виконаний з однією термопарою у двоканальних ізоляторах.

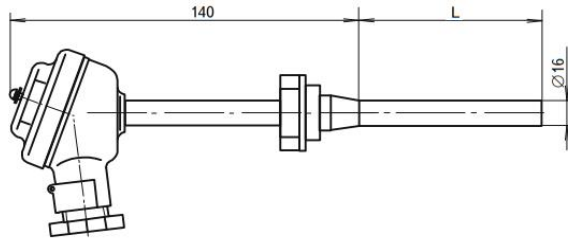


Рис. 2. Перетворювач термоелектричний типу ТХА-706-02

Figure 2. Transducer thermoelectric of K-type "TChA"-706-02

Для вимірювання температури лещаді (поду) доменної печі призначений перетворювач термоелектричний ТХА-1007 (рис. 3). Діапазон вимірюваних температур – від 0 до 600 °С. Умовне позначення НСХ – ХА(К). Межа допустимого значення основної похибки в діапазоні від 333 до 600 °С не перевищує $\pm 0,0075t$ (де t – значення вимірюваної температури). Показник теплової інерції не вищий за 40 с. Довжина монтажної частини L від 3550 до 10000 мм.

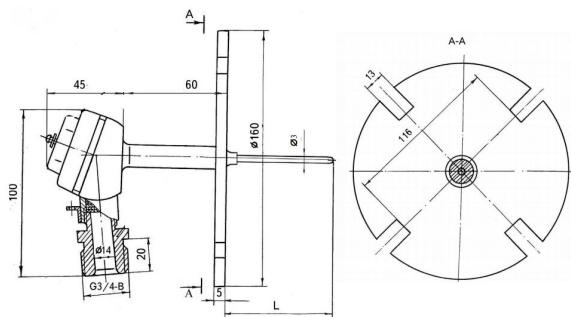


Рис. 3. Перетворювач термоелектричний типу ТХА-1007

Figure 3. Transducer thermoelectric of K-type "TChA"-1007

Широко застосовується перетворювач термоелектричний ТПР-1273, призначений для вимірювання температури насадки повітрянагрівача на границі розділу динас–каолін. Діапазон вимірюваних температур від 600 до 1300 °С, Умовне позначення НСХ – ПР(В). Показник теплової інерції – не вище ніж 50 с. Довжина монтажної частини L від 800 до 4000 мм. Захисна арматура герметична і розрахована на тиск до 1 МПа (рис. 4).

Необхідно зазначити, що останнім часом застосовують вмонтовані в повітряні доменні фурми термопари для контролю їх прогорання. Впроваджуються термографи для контролю розподілу температурного поля на колошнику доменної печі та тепловізори для виявлення локальних місць

перегрівання кожуха печі й повітрянагрівачів, визначення несправних холодильників тощо.

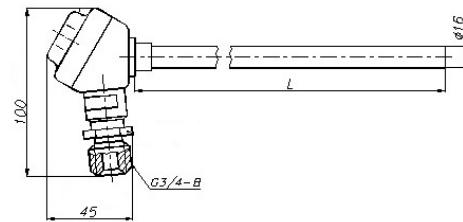


Рис. 4. Перетворювач термоелектричний типу ТПР-1273

Figure 4. Transducer thermoelectric of B type "TPR"-1273

1.3. Вимірювання температури розплавлених металів

Сьогодні поширені короткочасні періодичні вимірювання температури розплавлених металів із застосуванням ПВП зі змінними вимірвальними пакетами разової дії [5]. Основною і найвідповідальнішою частиною таких пакетів є вимірвальна головка, в якій міститься термопара в кварцовій трубці. Матеріали, з яких виготовлена головка, її конструкція і якість складання визначають метрологічні характеристики і показники експлуатаційної надійності ПВП. Конструкції вимірвальних головок ПВП постійно вдосконалюються за рахунок сучасних технологій складання, застосування нових термоелектродних матеріалів із покращеними термоелектричними характеристиками. Для збільшення конкурентоспроможності розробники прагнуть підвищити їх точність вимірювання і надійність та зменшити собівартість.

НВО "Термоприлад ім. В.І. Лаха" розроблено низку ПВП для вимірювання температури розплавлених металів. Основні з них – ПВП типу ТПП-0788, ТПР-0290, ТПП-0688, ТВР-0688 і ТВР-301-01.

ПВП для вимірювання температури розплавлених металів складаються із двох основних частин: пакета одноразової дії та корпусу, який розрахований на проведення не менше ніж 3000 вимірювань. На рис. 5 показано загальний вигляд і електричну схему ПВП.

Корпус ПВП, залежно від модифікації та об'єкта металургійного виробництва, на якому вимірюється температура, може мати різний зовнішній вигляд і габаритні розміри. Він поставляється в розібраному вигляді. До його складу входять такі вузли: труба, наконечник, ручка, контактотримач, кабель, гільза і роз'єм. Наконечник, з'єднаний із контактотримачем, слугує місцем для встановлення пакета ПВП. Пакет утримується в корпусі за рахунок сили тертя між наконечником і паперовою гільзою пакета, а також силою тертя між контактами контактотримача і контактами вимірвальної головки пакета.

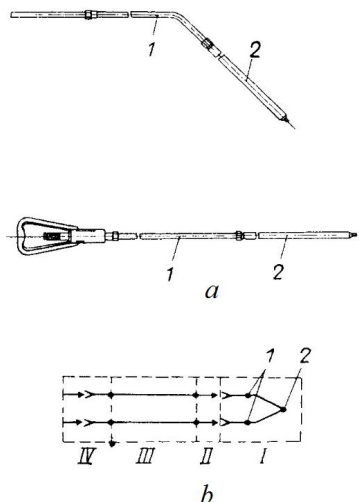


Рис. 5. Перетворювач термоелектричний типу ТПР-2085:
а – загальний вигляд; 1 – трубка корпусу термоперетворювача; 2 – пакет із вимірювальною головкою; б – електрична схема; 1, 2 – холодний та гарячий спай термопари, відповідно; І – чутливий елемент пакета; ІІ – контактотримач; ІІІ – кабель; ІV – роз'єм

Figure 5. Transducer thermoelectric of B type "TPR"-2085:
a – general view; 1 – tube of the case of the sensitive element; 2 – package with a measuring head; b – electrical circuit; 1, 2 – cold and hot junction of the thermocouple, respectively; I – sensitive element of the package; II – contact holder; III – cable; IV – connector

Контактотримач (рис. 6) містить патрубок 3, всередині якого один під одним встановлені два контакти. Кожний контакт – це кільце з припаяними до нього виводами (1 – від'ємний, 2 – додатний). Внутрішня порожнина патрубку заповнена компаундом. Для дотримання полярності додатний вивід контактотримача коротший і промаркований червоною фарбою. Контактотримач розрахований приблизно на 150 вимірювань і в комплект запчастин ПВП входять до 24 контактотримачів (залежно від умов постачання).

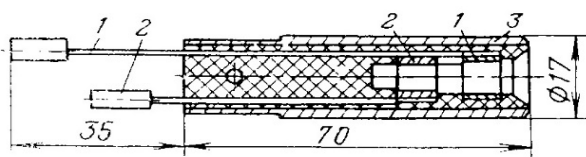


Рис. 6. Конструкція контактотримача термоперетворювача типу ТПР-2085

Figure 6. Design of the contact holder of transducer thermoelectric of B type "TPR"-2085

Пакет ПВП є окремим виробом, його поставляють окремо в кількостях, необхідних замовнику для температурного контролю процесу виплавлення металу. Теплозахисна гільза пакета виготовлена із галантерейного паперу у вигляді циліндричної трубки завтовшки 5–10 мм із застосуванням силікатного клею. Вимірювальна головка (рис. 7) складається із керамічної втулки 3, в яку вклеєна

пластмасова вставка 2 із зафіксованою в ній кварцовою U-подібною трубкою 5. На трубку насаджена еластична прокладка, яка відділяє вогнетривку масу 4 від холодних з'єднань термопари 6. Електричний контакт вимірювальної головки з контактотримачем здійснюється за допомогою подовжувальних дротів 1. Металевий ковпачок 7 призначений для захисту кварцової трубки від механічних пошкоджень під час транспортування пакетів і вимірювання.

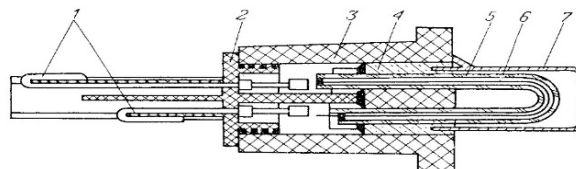


Рис. 7. Вимірювальна головка термоперетворювача ТПР-2085

Figure 7. Measuring head of transducer thermoelectric of B type "TPR"-2085

Вимоги до вогнетривкої маси доволі жорсткі: вона повинна застигати на повітрі за кімнатної температури, не бути гігроскопічною, характеризуватись невисокою теплопровідністю, щоб уникнути нагрівання холодних з'єднань, незначною усадкою для усунення можливих обривів термоелектродів від подовжувальних дротів. Щоб не допустити обривів, останні ізолюють від вогнетривкої маси прокладкою із тонкого еластичного матеріалу (пластмаси або гуми). Наявність прокладки не дає змоги вогнетривкій масі просочуватися у повітряний простір, де розташовані холодні з'єднання, позаяк вона щільно прилягає до кварцової трубки і втулки. Крім цього, еластична прокладка полегшує складання вимірювальної головки, оскільки вставку із закріпленою на ній кварцовою трубкою вставляють у втулку, а потім заливають масу і встановлюють захисний ковпачок.

Для вимірювання температури розплавленого металу короточасним (до 5 с) занурюванням у вимірюване середовище з подальшою заміною вимірювальних пакетів серійно випускається перетворювач термоелектричний типу ТПР-0788 (рис. 8). Пакети типу ТПР-0788 є виробами разового використання і поставляються як самостійний виріб. Діапазон вимірюваних температур – від 900 до 1700 °C. Умовне позначення НСХ– ПП(S). Збіжність показів за 1600 °C не перевищує $\pm 1,5$ °C. Межа допустимого значення основної похибки не перевищує $\pm 0,002t$ (де t – значення вимірюваної температури). Показник теплової інерції – не вищий за 2 с. Оскільки вимірювальні пакети разової дії, то з метрологічного погляду найважливіша їх взаємозамінність. У технологічному процесі виплавлення сталі основну роль відіграє не стільки похибка

вимірювання, скільки збіжність результатів вимірювання, яка стає основною метрологічною характеристикою ПВП зі змінними вимірювальними пакетами і характеризує якість засобу вимірювання, відображаючи близькість до нуля його випадкових похибок.

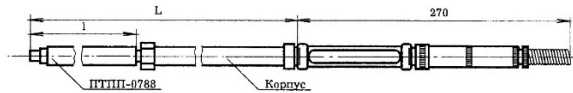


Рис. 8. Перетворювач термоелектричний типу ТТР-0788

Figure 8. Transducer thermoelectric of B type "TPR"-0788

Перетворювач термоелектричний ТТР-0290 призначений для вимірювання температури рідкої сталі короткочасним (5 с) зануренням пакета перетворювача ТТТР-0290 у вимірюване середовище з подальшою його заміною (рис. 9). Пакети типу ТТТР-0290 є виробами разового використання і постачаються як самостійний виріб. Діапазон вимірюваних температур – від 1000 до 1800 °С, Умовне позначення НСХ– ПР(В). Збіжність показів за 1600 °С не перевищує $\pm 0,0015t$ (де t – значення вимірюваної температури). Межа допустимого значення основної похибки не перевищує ± 10 °С. Показник теплової інерції – не більше ніж 2 с. Тривалість одного вимірювання не перевищує 5 с. Після вимірювання пакет ТТТР підлягає заміні.

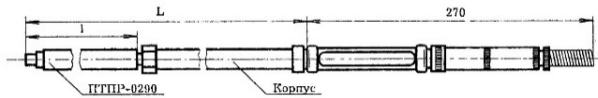


Рис. 9. Перетворювач термоелектричний типу ТТР-0290

Figure 9. Transducer thermoelectric of B type "TPR"-0290

Для вимірювання температури очищеного від шлаку розплавленого чавуну на різних агрегатах чавуноливарного виробництва короткочасним зануренням у вимірюване середовище з подальшою заміною пакетів розроблено перетворювачі термоелектричні типу ТПП-0688 і ТВР-0688 (рис. 9). Діапазон вимірюваних температур ТПП-0688 – від 1200 до 1600 °С, ТВР-0688 – від 1200 до 1800 °С. Умовне позначення НСХ – ПП(С) для ТПП-0688 і ВР(А)-1 для ТВР-0688. Збіжність показів не перевищує $\pm 0,001t$ для ТПП-0688 і $\pm 0,005t$ для ТВР-0688 (де t – значення вимірюваної температури). Межа допустимого значення основної похибки не перевищує $\pm 0,002t$ і $\pm 0,0075t$ для ТВР-0688. Показник теплової інерції – не більше ніж 2 с. Тривалість одного вимірювання не вища, ніж 5 с. Після вимірювання пакети підлягають заміні.

У НВО "Термоприлад ім. В. І. Лаха" розроблені та випускаються "інтелектуальні" вимірювальні перетворювачі. До таких можна зарахувати мікропроцесорний термоелектричний термометр ТТ-

Ц103 (рис. 11) і систему контролю температури розплавлених металів СКТР-0597 (рис. 12).

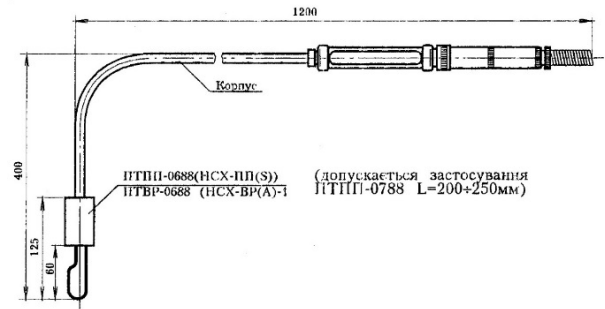


Рис. 9. Перетворювачі термоелектричні типу ТПП-0688 і ТВР-0688

Figure 9. Transducer thermoelectric of S type "TPR"-0688 and A type "TWR"-0688

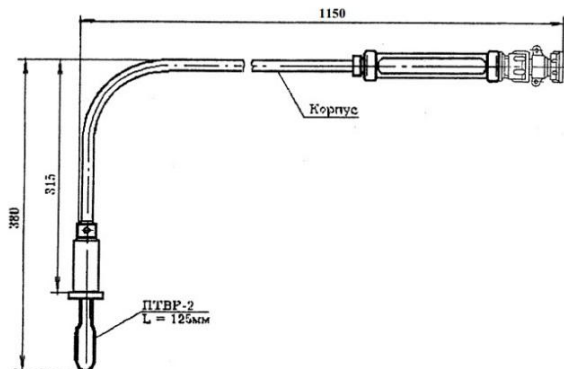


Рис. 10. Перетворювач термоелектричний типу ТВР-301-01

Figure 10. Transducer thermoelectric of A type "TWR"-301-01

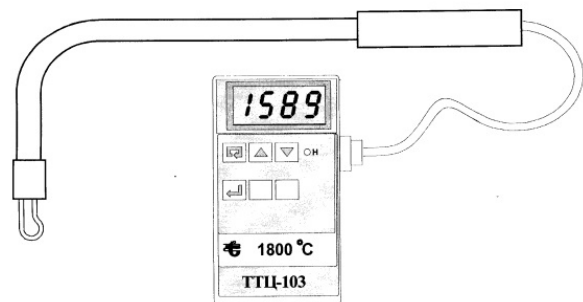


Рис. 11. Мікропроцесорний термоелектричний термометр ТТ-Ц103

Figure 11. Microprocessor of thermoelectric thermometer TT-Ts103

Мікропроцесорний термоелектричний термометр ТТ-Ц103 призначений для вимірювання температури розплавленого металу. Складається із цифрового вимірювального приладу і пакета перетворювача термоелектричного типу ТТВР, вмонтованого у спеціальний тримач типу "вудочка". Процес вимірювання полягає в зануренні пакета ТТВР у розплавлений метал. Після завершення

перехідного процесу теплообміну здійснюють відлік температурних значень на цифровому табло. Після закінчення вимірювання подаються звуковий (навушники) і світловий (світлодіод) сигнали, а вимірне значення температури автоматично вноситься у пам'ять (до 32 значень), що дає змогу пізніше їх зчитати. Діапазон контрольованих температур від 0 до 1800 °C. Межа допустимого значення основної похибки – не більше ніж $\pm 0,5\%$. Роздільна здатність – 1 °C.

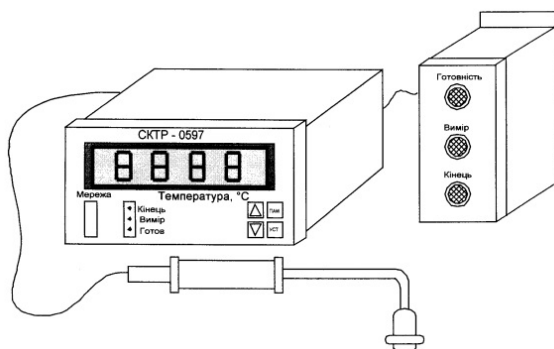


Рис. 12. Система контролю температури розтоплених металів СКТР-0597

Figure 12. System of temperature measurement of the melted metals STMM-0597

Система контролю температури розплавлених металів СКТР-0597 призначена для вимірювання температури розплавлених металів контактним методом за допомогою занурюваної термопари та сигналізації про хід процесу вимірювання, для чого застосовують мікропроцесорний контролер. У системі передбачено архівування у цифровій формі вимірних значень температури і реального часу вимірювання та зв'язок із персональним комп'ютером. Діапазон вимірюваних температур від 800 до 1800 °C. НСХ термоелектричних перетворювачів – ПР(В), ПП(С), ПП(Р), ВР(А), ХА(К). Похибка вимірювання цифрового приладу не повинна перевищувати 1 °C. Кількість десяткових розрядів індикації – чотири (висота цифр 40 мм). Система живиться від мережі змінного струму 220 В частотою 50 Гц. На цифровому індикаторі відображається вимірне значення температури розплавленого металу, яке зберігається до наступного вимірювання або до моменту натискання кнопки “скидання”. Система має пам'ять на 500 вимірів з часом їх проведення та інтерфейс RS232 або RS485.

Висновки

У статті наведено основні вимоги до температурних вимірювань у металургії. Розглянуто основні властивості термометричних та конструкційних матеріалів, які необхідно враховувати для забезпечення заданих метрологічних та експлуа-

таційних характеристик первинних вимірювальних перетворювачів. Запропоновано перетворювачі для вимірювання температури входних параметрів, параметрів доменного процесу, обладнання та газових потоків у доменному виробництві, перетворювачі для вимірювання температури розплавлених металів. Розглянуто основні вимоги до інтелектуальних вимірювальних перетворювачів для вимірювання температури в металургії, наведено їх короткий опис та метрологічні характеристики. Систематизовано засоби вимірювання температури для різних технологічних процесів у металургії, що дає змогу правильно вибрати первинні вимірювальні перетворювачі за метрологічними характеристиками та конструктивними параметрами.

Подяка

Автори висловлюють глибоку вдячність колективам кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій Національного університету “Львівська політехніка” та ПАТ “Науково-виробниче об'єднання “Термоприлад ім. В.І. Лаха” за посильну допомогу в здійсненні досліджень.

Конфлікт інтересів

Автори заявляють про відсутність будь-якого фінансового або іншого можливого конфлікту, що стосується роботи.

Література

- [1] Д. Ф. Чернега, В. С. Богушевський, Ю. Я. Готвянський та ін.; за ред. Д. Ф. Чернеги, Ю. Я. Готвянського, *Основи металургійного виробництва металів і сплавів*, Київ, Україна: Вища школа, 2006, 503 с.
- [2] *Мала гірнича енциклопедія*, в 3 т., за ред. В. С. Білецького, Донецьк, Україна: Східний видавничий дім, 2004–2013.
- [3] В. П. Мовчан, М. М. Бережний, *Основи металургії*, Дніпропетровськ, Україна: Пороги, 2001, 336 с.
- [4] В. О. Фединець, “Аналіз та оцінювання термоелектричних матеріалів для засобів вимірювання температури газових потоків”, *Науковий вісник Національного лісотехнічного Університету України*, вип. 24(1), с. 150–155, 2014.
- [5] В. О. Фединець, Я. П. Юсик, І. С. Васильківський, “Термоелектрична нестабільність термопар із важкотопких металів і сплавів”, *Матер. IV Міжнар. наук.-техн. Internet-конфер. “Сучасні методи, інформаційне, програмне та технічне забезпечення систем управління організаційно-технічними та технологічними комплексами”*, Київ, Україна: НУХТ, 22.11.2017 р., с. 283. [Online]. Available: https://drive.google.com/file/d/117HLB0bDUYOfEBlttGi-zc_RZddk5S/view
- [6] *Каталог продукції науково-виробничого об'єднання “Термоприлад ім. В.І. Лаха”*, Львів: НВО “Термоприлад ім. В. І. Лаха”, 2013, 211 с.
- [7] IEC 60584-1:2013. Thermocouples – Part 1: EMF specifications and tolerance Maintenance Result Date

References

- [1] D. F. Chernega, V. S. Bogushevsky, Y. Y. Gotvyansky, et al. (2006), *Fundamentals of metallurgical production of metals and alloys*. Kyiv, Ukraine: Publishing House High school.
- [2] V. S. Biletskyi (2004–2013), *Small Mining Encyclopedia*: at 3 t. Donetsk, Ukraine: Eastern publishing house.
- [3] V. P. Movchan, M. M. Berezhniy (2001), *Fundamentals of metallurgy*, Dnipropetrovsk, Ukraine: Publishing House Porohy.
- [4] V. O. Fedynets (2014), Analysis and evaluation of thermoelectric materials for gas flow measurement devices, *Scientific Bulletin of UNFU*, 24(1), 150–155.
- [5] V. O. Fedynets, Ya. P. Yusyk, I. S. Vasylykivskyi (2017), Thermoelectric instability of thermocouples from heavy metals and alloy. *IV International Scientific Internet-Conference "Modern methods, information, software and technical support of control systems for organizational, technical and technological complexes"*. Kyiv, Ukraine: NUKhT, p. 283. [Online]. Retrieved from: https://drive.google.com/file/d/117HLB0bDUYOftEBIttGizc__RZddk5S/view
- [6] *Catalog of the production of the scientific and production association "Thermoprylad named after V. Lakh"* (2013), Lviv, Ukraine: SPA "Termoprylad named after V. Lakh".
- [7] IEC 60584-1:2013. Thermocouples - Part 1: EMF specifications and tolerance Maintenance Result Date.