

Термоэлектрический сменный преобразователь погружения для периодических измерений температуры металлических расплавов

Выполнен обзор термоэлектрических сменных преобразователей (ТСП) для периодических измерений температуры расплавов металлов методом погружения, выпускаемых в Украине. Выявлены недостатки известных решений, снижающие качество измерений температуры. Предложена конструкция термопреобразователя типа ТСП-Ш, позволяющая повысить точность измерений температуры, сократить время измерения и увеличить количество измерений одним термопреобразователем.

Ключевые слова: периодический термоконтроль, металлургия, термоэлектрический сменный термопреобразователь погружения, время измерения, количество измерений, погрешность измерения

Для стабильного получения металлопродукции с заданными свойствами при минимально возможных ресурсозатратах необходим контроль температурных режимов процессов получения, обработки и разлива жидкого металла. Механические и литейные свойства металла, а также эксплуатационные характеристики отливок прежде всего зависят от температур перегрева и заливки жидкого металла. От температурных режимов указанных процессов также сильно зависят ресурс-, в том числе, энергозатраты [1].

Поэтому термоконтроль в структуре метрологического обеспечения металлургии и металлургии машиностроения занимает доминирующее положение. Это объясняется тем, что большинство технологических процессов в металлургии основаны на температурном воздействии на основные и вспомогательные материалы. Причем интенсивность и время этого воздействия определяют наиболее температурочувствительные показатели качества металлопродукции и ресурсозатрат ее производства. Высокие ресурсозатраты, в том числе энергозатраты определяются как природой тепловых металлургических процессов, так и технически неоправданными затратами. Из-за несовершенства, а иногда и принципиальной невозможности температурного контроля, значительно повышается брак металлопродукции и расход шихтовых и футеровочных материалов, энергозатраты в 1,5-2,0 и более раз превышают возможные, снижается производительность и повышается аварийность металлургических печей [2].

Безусловно, наиболее эффективным для управления указанными процессами является непрерывный термоконтроль. Однако такой контроль и прежде всего световодный и бесконтактный не всегда технически возмо-

жен на сегодняшнем уровне развития термометрии и не всегда экономически целесообразен, в том числе на широко используемых сейчас отечественной металлургией машиностроения печах малой емкости. В этих и многих других случаях технически возможным и экономически оправданным является периодический контроль температуры жидкого металла переносными термометрами с помощью термоэлектрических сменных преобразователей (ТСП) погружения. Для этих целей в Украине производятся и широко используются ТСП одноразового погружения, в том числе типов ПТПП-0788, ПТПР-0290 и ПТВР-0688, а также ТСП многократного погружения типа ПТВР-2 (НПО «Термоприбор», г. Львов – НПО «Электротермометрия», г. Луцк). В первых двух указанных термопреобразователях теплозащитная гильза выполнена из картона, в остальных она отсутствует. Технические характеристики ТСП для измерения температуры расплавов металлов, выпускаемые в Украине, приведены в таблице 1 [3]. Для сравнения приведены характеристики термопреобразователя ТСП-Ш, разработанного отделом термометрии и физико-химических исследований ФТИМС НАН Украины.

Таблица 1

Технические характеристики ТСП для измерения температуры расплавов металлов, выпускаемых в Украине

Тип ТСП	Тип НСХ по ДСТУ 2857-94	Диапазон измеряемых температур, °С	Время измерения, с	Длина ТСП, мм	Количество погружений
ПТПП-0788	S	1300...1700; 900...1400	5	80...1200	1
ПТПР-0290	B	1000...1800	5	60...1200	1
ПТВР-0688	A-1, A-2, A-3	1200...1800	5	125	1
ПТВР-2	A-1, A-2, A-3	1200...1550	5	160	3...5
ТСП-Ш*	A-1	600...1650	7...10	150	15...20

* ТСП-Ш – термоэлектрический сменный преобразователь штыревой

Картонные ТСП разового погружения также широко используются за рубежом и выпускаются рядом фирм, в том числе Heraeus Electro Nite (Бельгия) – термодатчики типа Positem, ОАО «Челябинский завод «Теплоприбор», (Россия) – термодатчики типа ТПР/ТВР-2075, ТПР-2085.

Основным недостатком картонных одноразовых ТСП является значительно повышающая стоимость измерений ограниченное количество погружений. Эти ТСП, как правило, рассчитаны на одно погружение, что исключает экономическую целесообразность их использования на печах малой емкости. Кроме того, конструкция картонных ТСП предполагает и допускает погружение защищенного картонной трубкой терморазъема в жидкий металл. При погружении в жидкий металл терморазъем нагревается до высоких температур, которые значительно повышают погрешность измерений. Например, после последовательных 3-х погружений в жидкий металл с температурой 1600 °С абсолютная погрешность измерений достигает 120 °С. Погрешность измерений также прямо пропорционально возрастает за счет неизотермического размещения контактов ТСП вдоль его оси.

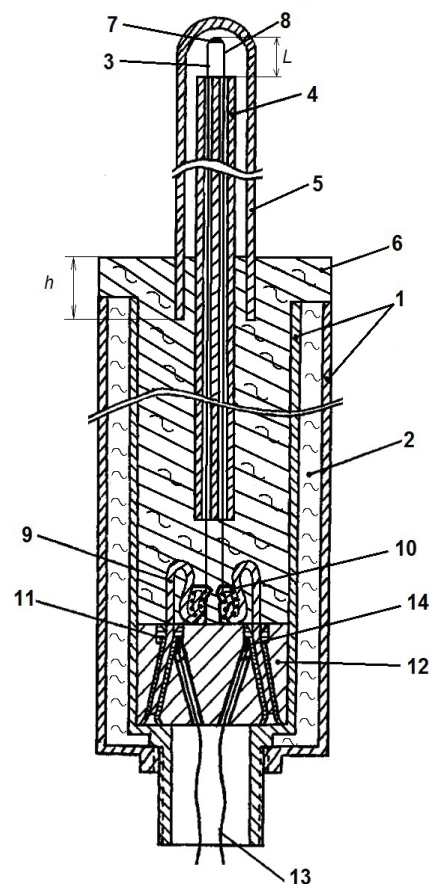
В ТСП многократного погружения типа ПТВР-2 (также как и в одноразовом ТСП типа ПТВР-0688) для защиты его термоэлектрического термометра использована U-образная, ограничивающая верхний предел измерений до 1550 °С и количество погружений до 3-5, тонкостенная кварцевая трубка с наружным диаметром 3 мм и вылетом из корпуса 65. Кроме того в конструкции ТСП использованы выполненные из полимерных низкотемпературных материалов элементы [3]. Такая конструкция исключает погружение ТСП в жидкий металл на глубину более 50 мм и превышающую выдержку его в металле 5 с. При излишней неконтролируемой выдержке детали из пластмассы расплавляются, ТСП выходит из строя и зачастую вместе с терморазъемом. При этом в процессе измерений исключается изотермичность размещенных по продольной оси контактов и свободных концов термоэлектрического термометра ТСП, что приводит к дополнительной погрешности измерений. Тонкостенная с малым диаметром кварцевая трубка ограничивает верхний предел измерений и не допускает, даже незначительное, наличие шлака на поверхности термометрируемого расплава. Тонкостенная кварцевая трубка имеет низкую механическую прочность и значительно усложняет использование ТСП в литейных цехах.

Указанные недостатки известных решений существенно ограничивают условия использования

предложенных ранее ТСП, снижают количество погружений, а также повышают погрешность и стоимость измерений.

Для устранения перечисленных недостатков, в том числе, повышения количества и точности, а также снижения времени и стоимости измерений авторами разработана новая конструкция ТСП многократного погружения (патент Украины № 14740 от 04.02.1997, МПК G01K13/12, G01K7/02), которая была развита ими в следующем патенте Украины № 05786 (решение по заявке от 29.05.2014). На рисунке представлен внешний вид и конструкция модернизированного преобразователя ТСП-Ш [4].

Здесь изображен общий вид сменного погружного преобразователя и разъема, выполненного из двух тонкостенных стальных труб 1, кольцевой зазор между которыми заполнен каолиновой ватой 2. Термоэлектрический термометр 3 электроизолирован трубкой 4 и размещен в защитном наконечнике 5, который герметично связан с корпусом 6 и установлен в нем на глубине h , равной 1,5-2,5 наружным диаметрам защитного наконечника. Рабочий спай (скрутка) 7 термоэлектрического термометра удален от торца электроизолирующей трубки 4 на расстояние L , равное 10-50 диаметров его термоэлектродов. Термоэлектроды и рабочий спай термометра 3 окислены или снабжены специальным покрытием 8. Соединения штыревых контактов 9 погружного сменного пакета с термоэлектродами термометра 3 имеют клеевое покрытие 10. В рабочем состоянии штыревые контакты 9 размещены в матрицах штыревого



Внешний вид и конструкция преобразователя ТСП-Ш

разъема 11, которые запресованы в электроизоляционную втулку 12 узла штыревых матриц 13. Данный узел закреплен в разъеме из двух тонкостенных стальных труб 1. Соединения удлинительных (компенсационных) проводов 14 с матрицами штыревого разъема 11 снабжены клеевым покрытием 15.

Защитный наконечник 5 выполнен из термостойкого оптически прозрачного или с высокой тепло- и температуропроводностью материала и заглублен в корпус на 1,5-2,5 его наружного диаметра. При таком заглублении исключается проникновение воздуха в полость наконечника в процессе измерений. При заглублении меньше 1,5 диаметра воздух проникает в наконечник и окисляет термоэлектроды термометра, например, типа ТВР. При заглублении более 2,5 диаметра уменьшается глубина погружения наконечника в расплав. Проникновение воздуха и уменьшение глубины погружения приводят к повышению погрешности измерений температуры. Высокая термостойкость исключает разрушение наконечника при погружении его в металлический расплав. Высокая тепло- и температуропроводность обеспечивает быстрый нагрев наконечника в термометрируемой среде и установление термодинамического равновесия между ними. Оптически прозрачный материал ускоряет установление требуемого для термоэлектрических измерений температуры термодинамического равновесия между рабочим спаем (скруткой) и расплавом за счет дополнительной передачи тепла излучением. Комплексу перечисленных требований наиболее полно отвечает доступное и технологичное кварцевое стекло, которое обладает достаточной термостойкостью, тепло- и температуропроводностью, а также прозрачностью для теплового электромагнитного излучения. Для измерений средних температур, например, температур алюминиевых расплавов вполне приемлимым материалом для защитного наконечника является аустенитный чугун с достаточной термостойкостью, и более высокой тепло- и температуропроводностью (теплопроводность при 400 °С составляет 45,8 Вт/(м·К).

Рабочий спай (скрутка) 7 термоэлектрического термометра 3 удален от торца электроизолирующей трубки 4 на 10-50 диаметров его термоэлектродов. Из теории теплопроводности известно, что распределения температуры по длине установленного в стенке стержня и толщине этой стенки идентичны при следующем соотношении их диаметра и толщины $d_{\text{стержня}} \leq 0,1 d_{\text{стенки}}$.

Поэтому при L , равном 10 диаметрам термоэлектродов, распределение температуры по длине этих термоэлектродов соответствует температуре окружающей среды. В предлагаемом устройстве идентичность распределений температур выдерживается с запасом за счет передачи тепла излучением и конвективной составляющей. В случае L (превышающем 50 диаметров термоэлектродов) выступающий из электроизолирующей трубки рабочий конец термоэлектрического термометра деформируется под воздействием измеряемых температур, его собственного веса, вибраций и т.д., соприкасается с защитным наконечником и взаимодействует с его ма-

териалом. Это совершенно недопустимо, например, в случае платинового термоэлектрического термометра и кварцевого наконечника. При высоких измеряемых температурах платина активно взаимодействует с кварцем с образованием силицидов платины и существенным изменением термоэлектрической характеристики термометра и соответствующим повышением погрешности измерений.

Электроизолирующая трубка 4 выполнена из керамики с низкой тепло- и температуропроводностью. Низкая тепло- и температуропроводность электроизолирующей трубки уменьшает отвод тепла теплопроводностью и, соответственно, термическую инерционность устройства. Наиболее приемлимыми, в порядке убывания тепло- и температуропроводности, являются корунд, муллит, муллитокорунд, муллитокремнезем. Теплопроводность указанных материалов при 800 °С соответственно составляет, Вт/(м·К): 6,7; 4,1; 2,4; 1,4 а при 1600 °С – 6,2; 3,9; 2,3; 1,4.

Термоэлектроды термоэлектрического термометра имеют минимально возможный (с учетом технологии изготовления и термоэлектрической неоднородности) диаметр. Например, для термометра типа ТВР этот диаметр равен 0,1 мм, а для ТПП и ТПР – 0,05 мм. Кроме этого, термоэлектроды изготовлены из материала с минимальной тепло- и температуропроводностью. По этому требованию наиболее предпочтительными здесь, в порядке повышения тепло- и температуропроводности, являются термоэлектрические термометры типа ТХА, ТПП, ТВР, ТПР. Теплопроводность хромеля, платинородия ПР-10, алюмеля, сплава ВР20, платины и сплава ВР5 при 800 °С соответственно составляет 34,3; 40,0; 44,3; 68,0; 81,5; 100,0 Вт/(м·К).

Выступающая из электроизолирующей трубки часть термоэлектрического термометра с неокисляющимися термоэлектродными электродами снабжена покрытием 8 с высокой излучательной способностью и рабочей температурой, равной либо превышающей температуру термометрируемого расплава. Например, термоэлектроды термометров типов ТПП и ТПР с излучательной способностью близкой к 0,4 могут быть покрыты платиновой чернью с излучательной способностью, близкой к единице, в видимой и инфракрасной областях спектра. Таким образом, соответственно повышается поглощение излучения термоэлектродными электродами и скорость их нагрева. В случае окисляющихся термоэлектродов, например, типов ТВР, ТХА, ТХК, они должны быть предварительно окислены, то есть покрыты оксидной пленкой 8. Окисление повышает излучательную способность и поглощение термоэлектродов в 2 и более раз и, соответственно, быстрое действие устройства.

Корпус устройства 6 выполнен из пористой огнеупорной литой массы с волокнистым наполнителем, например, из пористого огнеупорного бетона с корундовым волокном. Использование пористой огнеупорной массы и волокнистого наполнителя значительно снижает теплопроводность и повышает прочность корпуса. Например, теплопроводность пористого 48%- и обычного 18%-ного бетона на основе корунда при 800 °С соответственно составляет

0,69 и 2,95 Вт/(м·К). Использование пористого бетона позволяет снизить теплопроводность и глубину прогрева корпуса практически в 4 раза, уменьшить нагрев соединений штыревых контактов 9 с термоэлектродами термометра 3, повысить изотермичность этих соединений и соответственно снизить время и погрешность измерений температуры. Кроме того, волокнистый наполнитель повышает прочность корпуса, исключает его растрескивание и разрушение в процессе использования устройства и, за счет этого, также повышает точность измерений.

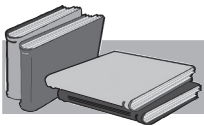
Герметичное, влагостойкое при рабочих температурах клеевое покрытие 10 соединений штыревых контактов с термоэлектродами термометра и клеевое покрытие 15 матриц штыревого разъема 11 с удлинительными (компенсационными) проводами 14 обеспечивают надежный электрический контакт между ними в процессе изготовления корпуса 6 и узла штыревых матриц 13, а также при измерениях температуры за счет обеспечения нормальных условий работы термоэлектрической цепи устройства. Покрытие, например из влагостойких клеев КЛ А35, КЛ А35Р или КМХ-2 с рабочими температурами 1300-1600 °С, исключает составляющие погрешности измерений, обусловленные нарушением электрических контактов термоэлектрической цепи устройства.

Штыревые контакты 9 и матрицы штыревого разъема 11 выполнены из металлического сплава с высокой электропроводностью и пределом упругости, например, из латуни. После одинаковой механической и температурной обработки латунь имеет минимум в 2 раза более высокий, чем у меди, предел упругости, который обеспечивает требуемое надежное механическое соединение пакета с разъемом при приемлемом электрическом сопротивлении термоэлектрической цепи.

емом при приемлемом электрическом сопротивлении термоэлектрической цепи.

В результате лабораторных и промышленных испытаний, а также использования в производственных условиях установлено, что преобразователь типа ТСП-Ш обеспечивает измерение температуры цветных и железоуглеродистых расплавов в диапазоне от 600 до 1650 °С. Доказано, что на сталях Гадфильда количество погружений на глубину 73...75 мм, при длительности измерений 7...10 с достигает 15...20. При этом стоимость преобразователя не превышает стоимость известного ТСП типа ПТВР-2.

Таким образом, предложенные конструкции и материалы сменного термоэлектрического преобразователя существенно уменьшают время установления термодинамического равновесия между рабочим спаем (скруткой) и термометрируемым расплавом и, следовательно, продолжительность каждого измерения температуры. За счет этого увеличивается количество измерений одним преобразователем и снижается их стоимость. При этом, за счет ускорения установления термодинамического равновесия, исключения проникновения воздуха в полость защитного наконечника, повышения изотермичности соединений термоэлектродов термоэлектрического термометра со штыревыми контактами и матриц штыревого разъема с удлинительными (компенсационными) проводами, а также обеспечения герметичности и влагостойкости этих соединений снижается погрешность измерений температуры. Кроме этого, конструкция и материалы преобразователя уменьшают длительность паузы между очередными измерениями и обеспечивают надежность его использования в условиях металлургического производства.



ЛИТЕРАТУРА

1. Жуков Л. Ф. Исследование и разработка методов и средств температурного контроля и ресурсосберегающих технологических процессов получения жидкого чугуна в литейном производстве: Дис. д-ра техн. наук: 05.11.04, 05.16.04 / Л. Ф. Жуков. – К., 1992. – 505 с.
2. Жуков. Л. Ф., Петренко Д. А., Корниенко А. Л. История, состояние и перспективы развития температурных измерений в металлургии // Металл и литье Украины. – 2012. – № 7. – С. 27- 34.
3. Каталог продукции НПО «Термоприбор» по состоянию на 2014 год. [Электронный ресурс] Режим доступа: www.thermo.lviv.ua/ukr/catalog/
4. Патент 14740 А Украина, МПК G01K13/12, G01K7/02. Устройство для измерения температуры расплавов / Л. Ф. Жуков, И. А. Коновалов, М. И. Смирнов. – Оpubл. 04.02.1997, Бюл. № 3.

Анотація

Жуков Л. Ф., Петренко Д. О., Гончаров А. Л., Корнієнко А. Л.

Термоелектричний змінний перетворювач занурювання для періодичних вимірювань температури металічних розплавів

Виконано огляд термоелектричних змінних перетворювачів для періодичних вимірювань температури розплавів металів методом занурення, які виготовляються в Україні. Виявлено недоліки відомих технічних рішень, що суттєво знижують якість температурних вимірювань. Запропоновано конструкцію термоперетворювача типу ТСП-Ш, яка дозволяє підвищити точність вимірювань температури, скоротити час вимірювання й підвищити кількість вимірювань одним термоперетворювачем.

Ключові слова

періодичний термоконтроль, металургія, термоелектричний змінний перетворювач занурювання, час вимірювання, кількість вимірювань, похибка вимірювання

Summary

Zhukov L., Petrenko D., Goncharov A., Kornienko A.

Thermoelectrical replaceable transducer for periodical measurements of liquid metal's temperature using immersion method

Review of thermoelectrical replaceable transducers for periodical measurements of liquid metal's temperature using immersion method, which are produced in Ukraine, is performed. Limitation of known decisions, which sufficiently decreases quality of measurements, are shown. There proposed trasducer's construction, oriented on increasing precision of temperature measurements, reducing time of measurement and increasing number of measurement times, when the same transducer can be used.

Keywords

periodical thermocontrol, metallurgy, thermoelectrical replaceable transducer for immersion method, measurement time, number of measurement, measurement error

Поступила 01.10.14

**Продолжается подписка на журналы
«Металл и литьё Украины»
и «Процессы литья»
на 2015 год.**

Для того, чтобы подписаться на журналы через редакцию,
необходимо направить письмо-запрос по адресу:

03680, Україна, м. Київ-142, МСП,

бул. Вернадського, 34/1,

Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України
или факсом (044) 424-35-15.

Счёт-фактура согласно запросу высылается письмом или по факсу.

Редакция готова предоставить электронную версию журнала
на компакт-диске.

Стоимость одного журнала – 40 грн.

Годовая подписка – 480 грн. (для Украины).

Годовая подписка для зарубежных стран – 100 \$.