



УКРАЇНА

(19) UA (11) 63755 (13) U
(51) МПК (2011.01)
G01J 5/00

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

видається під
відповідальність
власника
патенту

(54) СПОСІБ ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ

1

2

(21) u201101044

(22) 31.01.2011

(24) 25.10.2011

(46) 25.10.2011, Бюл. № 20, 2011 р.

(72) ЖУКОВ ЛЕОНІД ФЕДОРОВИЧ, БОГДАН ОЛЕКСАНДР ВАСИЛЬОВИЧ

(73) ФІЗИКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ІНСТИТУТ МЕТАЛІВ І СПЛАВІВ НАН УКРАЇНИ

(57) Спосіб вимірювання температури, що складається з вимірювання двох умовних (триколірових або більш високих порядків) температур, розрахунку по першому та (або) другому значеннях(ню) виміряних умовних температур характеристичної

температури випромінювання, розрахунку відхилення першої або другої умовної температури від характеристичної та визначення по ньому температурної поправки через попередньо розраховану залежність, який **відрізняється** тим, що довжини налагоджуваних хвиль обираються наближеними до критичної налагоджуваної довжини хвилі, а крайові довжини хвиль для цих двох вимірювань співпадають, при цьому залежність температурної поправки від відхилення розраховують, виходячи з апіорної інформації про випромінювальні властивості світловоду в робочому температурному та спектральному діапазонах.

Корисна модель належить до галузі оптичної термометрії і може бути використана для вимірювання температури об'єктів з температурною динамікою, яка зумовлює появу температурного гістерезису яскравості випромінювання імерсійного світловоду.

Відомий пристрій та спосіб вимірювання температури розплавленого металу [Пат. 6964516 США, МПК G01J5/04. Device and method for measuring temperature in molten metals / Coleman Jr., опубл. 15.11.2005], при якому температура вимірюється за допомогою гнучкого світловоду, захищеного змінною оболонкою, який занурюють у розплавлений метал та визначають температуру по яскравості імерсійного кінця, яка передається на детектор, розташований безпосередньо на вихідному кінці світловоду. Основним недоліком способу є те що він не забезпечує повноцінного безперервного контролю температури розплавів і особливо високотемпературних розплавів, та в наслідок нестійкості захисної оболонки може хімічно засмічувати розплави.

Відомий спосіб вимірювання температури [Патент 54756A Україна, МПК G01J 5/00. Спосіб вимірювання температури, опубл. 17.03.2003, бюл. №3], при якому на апіорно визначених пов'язаних довжинах налагоджуваних хвиль вимірюються дві триколірові (або більш високих порядків) температури випромінювання контрольованої поверхні, одна з яких вища, а інша нижча за температуру

об'єкта, при цьому результат вимірювання розраховують як середнє арифметичне цих двох температур. Основним недоліком способу є те, що пов'язані довжини хвиль обирають із урахуванням необхідності зменшення абсолютних значень еквівалентних довжин хвиль, що на відкритих об'єктах дозволяє знизити методичну похибку. Однак для світловодної термометрії, де вихідне випромінювання імерсійного світловоду наближається до термодинамічно рівноважного - зменшення абсолютного значення еквівалентної довжини хвилі знижує чутливість методу до рівня інструментальної похибки багатоколірного пірометра.

Найбільш близьким до способу, що заявляється, є спосіб вимірювання температури [Патент 63396 А, Україна МПК⁷ G01J 5/00 / Л. Ф. Жуков, О. В. Богдан, опубл. 15.01.2004; бюл. № 1], при якому вимірюються дві умовні температури (триколірові або більш високих порядків), за результатами цих двох вимірювань (наприклад, як середнє арифметичне) розраховують характеристичну температуру об'єкта. Після цього визначають відхилення однієї з виміряних умовних температур від характеристичної температури, по якому визначають температурну поправку, використовуючи попередньо розраховану, шляхом математичного моделювання процесу вимірювання, для даного об'єкта залежність температурної поправки від різниці умовної та характеристичної температур. Основний недолік цього способу полягає у тому, що при

(19) UA (11) 63755 (13) U

його використанні для світловодної термометрії неможливо одержати значне відхилення вимірних умовних температур від поправки на гістерезис, внаслідок подібності випромінювання світловоду до циліндричної моделі абсолютно чорного тіла та досягти необхідної чутливості методу.

В основу даного способу поставлено задачу підвищення точності світловодного температурного контролю об'єктів з температурною динамікою, яка зумовлює появу температурного гістерезису яскравості випромінювання імерсійного світловоду.

Поставлена задача вирішена тим, що у способі вимірювання температури, що складається з вимірювання двох умовних (триколірових або більш високих порядків) температур, розрахунку по першому та (або) другому значеннях(ню) вимірних умовних температур характеристичної температури випромінювання, розрахунку відхилення першої або другої умовної температури від характеристичної та визначення по ньому температурної поправки через попередньо розраховану залежність, відповідно до корисної моделі, довжини налагоджуваних хвиль обираються наближеними до критичної налагоджуваної довжини хвилі, а крайові довжини хвиль для цих двох вимірювань співпадають, при цьому залежність температурної поправки від відхилення розраховують, виходячи з апріорної інформації про випромінювальні властивості світловоду в робочому температурному та спектральному діапазонах.

Спосіб вимірювання температури реалізується таким чином. Обираються довжини робочих (λ_1, λ_2) та налагоджуваної хвилі (λ_n) . При цьому налагоджувані хвилі обираються близькими до критичної довжини налагоджуваної хвилі $(\lambda_{нкр})$ для забезпечення необхідної чутливості методу, за умови $\lambda_1 < \lambda_{нкр} < \lambda_n < \lambda_2$. Оскільки випромінювання імерсійних світловодів близьке до випромінювання циліндричної моделі абсолютно чорного тіла відхилення еквівалентного коефіцієнта випромінювання від одиниці буде незначним і значення кольорових температур різних порядків бу-

дуть близькими між собою, що неприйнятно для даного методу. Далі вимірюються дві температури випромінювання: триколірна $(S_{3к})$ та характеристична (S_x) , які за умови термодинамічно рівноважного стану об'єкта будуть рівні між собою. Але за наявності температурного гістерезису яскравості випромінювання світловоду - явища, що виникає внаслідок різкого змінення температури імерсійного кінця відносно стабілізованого стану - температури $S_{3к}$ та S_x будуть різнитися між собою, внаслідок тимчасового ненормального перерозподілу температур по поверхні світловоду:

$$\Delta_x = S_{3к} - S_x.$$

За значенням цієї різниці можна визначити ширину петлі температурного гістерезису та ввести необхідну поправку (Δ) у результат вимірювання. Значення поправки визначається за попередньо розрахованою, виходячи з апріорної інформації про об'єкт контролю, градуовальною характеристикою $\Delta = f(\Delta_x)$. Цю характеристику обчислюють за допомогою запропонованої математичної моделі яскравості циліндричних світловодів, яка наведена нижче.

Сумарне випромінювання на виході світловоду формується власним та відбитим (у тому числі перевідбитим) випромінюванням нагрітих поверхонь імерсійного кінця та бокових поверхонь. Для умовно заданого розподілу температур по довжині світловоду умовно встановлюються квазіізотермічні зони, в яких температура та яскравість вважаються сталими. Для цих зон визначаються значення ефективних температур випромінювання, виходячи із робочого температурного діапазону об'єкта контролю. Емпірично встановлено, що для моделювання роботи 220 міліметрового світловоду діаметром 2-3,5 мм у контакті із контрольованим середовищем, наприклад металевим розплавом з температурою 1300...1600 К, достатньо визначити від 3 до 5 зон. Сумарна ефективна яскравість на виході світловоду визначатиметься за формулою:

$$b_{\lambda}^e = n'_{\lambda} \cdot \lambda^{-5} \cdot \exp\left(-\frac{c_2}{\lambda \cdot S_{\lambda}^e}\right) = \frac{c_1}{\lambda^5} \left(k_0 \varepsilon_0 \exp\left(-\frac{c_2}{\lambda T_0}\right) + k_1 \varepsilon_1 \exp\left(-\frac{c_2}{\lambda T_1^e}\right) + \dots + k_i \varepsilon_i \exp\left(-\frac{c_2}{\lambda T_i^e}\right) + \dots + k_n \varepsilon_n \exp\left(-\frac{c_2}{\lambda T_n^e}\right) \right) \quad (1)$$

де b_{λ}^e - ефективна яскравість на виході світловоду, Вт/м²·ср; c_1 - 1-ша стала Планка $3,7413 \cdot 10^{-16}$, Вт·м²; c_2 - 2-га стала Планка $0,014388$ м·К; S_{λ}^e - ефективна одноколірна температура випромінювання, К; ε_i - коефіцієнт випромінювання в межах квазіізотермічної зони; k_i - коефіцієнт, що враховує видиму площу квазіізотермічної зони та перевідбиття випромінювання по

довжині світловоду; T_0 - температура імерсійного кінця світловоду, К; T_i^e - ефективна температура поверхні квазіізотермічної зони світловоду, К.

Безрозмірний коефіцієнт k_i визначається для кожної зони як добуток відношень видимої площі квазіізотермічної зони (S_i) до видимої площі випромінювальної порожнини світловоду (S_{Σ}) та частки яскравості власного випромінювання зони (b_i) до сумарної яскравості випромінювання (b_{Σ}) :

$$k_i = \frac{S_i}{S_\Sigma} \cdot \frac{b_i}{b_\Sigma} \quad (2)$$

Значення цього коефіцієнта знаходяться в межах від 0,05 до 0,85, при цьому найбільше має

імерсійний кінець, а найменше - найближча до вихідного кінця квазіізотермічна зона.

Ефективна одноколірна температура випромінювання на будь-якій довжині хвилі λ , виходячи з (1) обчислюється як:

$$S_\lambda^e = \frac{-n'_2}{\lambda \cdot \ln \left[\varepsilon_0 k_0 \exp\left(-\frac{C_2}{\lambda T_0}\right) + \varepsilon_1 k_1 \exp\left(-\frac{C_2}{\lambda T_1^e}\right) + \dots + \varepsilon_i k_i \exp\left(-\frac{C_2}{\lambda T_i^e}\right) + \dots + \varepsilon_n k_n \exp\left(-\frac{C_2}{\lambda T_n^e}\right) \right]} \quad (3)$$

За значеннями одноколірних температур випромінювання, обчислених для λ_1, λ_2 та λ_n , розраховуються триколірна та характеристична температури випромінювання:

$$S_x = \frac{\lambda_1^{-1} \cdot \lambda_2^{-1}}{(\lambda_1 \cdot S_{\lambda_1}^e)^{-1} - (\lambda_2 \cdot S_{\lambda_2}^e)^{-1}}, \quad (4)$$

$$S_{3k} = \frac{\lambda_1^{-1} - 2 \cdot \lambda_n^{-1} + \lambda_2^{-1}}{(\lambda_1 \cdot S_{\lambda_1}^e)^{-1} - 2 \cdot (\lambda_n \cdot S_{\lambda_n}^e)^{-1} + (\lambda_2 \cdot S_{\lambda_2}^e)^{-1}}. \quad (5)$$

Температури S_{3k}, S_x та їх різниця Δ_x обчислюються, для декількох можливих станів об'єкта: термодинамічна рівновага, різке підвищення температури та різке зниження температури імерсійного кінця світловоду. Значення поправки Δ обчислюється для кожного з цих станів, як різниця між T_0 та S_x :

$$\Delta = T_0 - S_x. \quad (6)$$

Таким чином, за допомогою виразів (1)-(5) по заданому робочому температурному діапазону та діапазону можливих раптових змін температури

контрольованого середовища попередньо розраховується характеристика $\Delta = f(\Delta_x)$, необхідна для визначення поправок, що компенсують вплив температурного гістерезису яскравості імерсійних світловодів.

Використання запропонованої корисної моделі дозволяє підвищити точність світловодної термометрії об'єктів із високою температурною динамікою контрольованого середовища, яка створює умови виникнення температурного гістерезису яскравості імерсійних світловодів, за рахунок динамічного визначення та введення поправок у результат вимірювань.