

Доноры БрО9С8Гр7Ж4 и БрО5С20Гр0,5ДМ0,5, способствовавшие улучшению триботехнических характеристик сопряжения, к тому же оказались и наиболее подходящими для плакирования, обеспечивая прочное сцепление покрытия с подложкой.

Выводы. На основании результатов испытаний различных составов доноров для плакирования направляющих скольжения станков были выбраны материалы на основе бронзы, легированной порошками графита, дисульфида молибдена и железа; для стальных направляющих – БрО9С8Гр7Ж4, для чугунных – БрО5С20Гр0,5ДМ0,5.

Литература

1. Белевский, Л.С. Пластическое деформирование поверхностного слоя и формирование покрытия при панесении гибким инструментом /Л.С. Белевский. - Магнитогорск: Магнитогор. лицей РАН, 1996. – 230 с.
2. Ашцупов, В.П. Теория и практика плакирования изделий гибким инструментом / В.П. Ашцупов. – Магнитогорск: МГТУ, 1999. – 242 с.
3. Леванцевич, М.А. Технологические возможности покрытий, нанесенных металлическими щетками / М.А. Леванцевич // Вестн. Полонк. гос. ун-та. – 2003. – № 4. -- С. 53 – 55.

УДК 536/521

ТРЕХСПЕКТРАЛЬНЫЙ МЕТОД ПИРОМЕТРИИ МЕТАЛЛОВ

А.Г. Сеньков

*УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»,
Минск;*

В.А. Фираго

Белорусский государственный университет, Минск

Введение. Непрерывный контроль температуры при обработке металлов на предприятиях машиностроения и металлургии необходим для обеспечения качества и надежности производимых изделий. Метод спектрального отношения, используемый на практике при нестационарном поведении излучательной способности контролируемых объектов, для точного определения термодинамической температуры требует знания величины отношения излучательных способностей используемых пирометром участков спектра. При отсутствии этих сведений погрешность метода спектрального отношения может превышать 5 %. Для уменьшения влияния неопределенности излучательной способности металлов на результаты измерения температуры предлагается пирометрический метод, основанный на измерении интенсивности теплового излучения металла в трех участках спектра.

Определение температуры при линейной зависимости $\varepsilon(\lambda)$. Пирометрические сигналы, формируемые тепловым излучением на выходах фотоприемников, определяются интегральным выражением [1]

$$U_i(T) = K \int_0^{\infty} \varepsilon(\lambda) M^{\text{АЧТ}}(\lambda, T) S_i(\lambda) d\lambda, \quad (1)$$

где K – коэффициент, определяемый параметрами пирометра и схемы измерений; $S_i(\lambda)$ – абсолютная спектральная чувствительность элементов фотоприемника; $M^{\text{АЧТ}}(\lambda, T)$ – спектральная светимость абсолютно черного тела (АЧТ); $\varepsilon(\lambda)$ – спектральная излучательная способность контролируемого металла.

Если в используемом диапазоне спектра зависимость излучательной способности металла от длины волны близка к линейной

$$\varepsilon(\lambda) \approx b_1 + b_2\lambda, \quad (2)$$

выражение (1) можно представить в виде

$$U_i = K \int_0^{\infty} (b_1 + b_2\lambda) M^{\text{АЧТ}}(\lambda, T) S_i(\lambda) d\lambda = K \cdot f_i(T) (b_1 + b_2\lambda_i^{\text{эф}}), \quad (3)$$

где

$$f_i(T) = \int_0^{\infty} M^{\text{АЧТ}} S_i(\lambda) d\lambda, \quad (4)$$

$\lambda_i^{\text{эф}}$ – эффективная длина волны для i -го спектрального участка

$$\lambda_i^{\text{эф}} = \frac{\int_0^{\infty} \lambda \cdot M^{\text{АЧТ}}(\lambda, T) S_i(\lambda) d\lambda}{\int_0^{\infty} M^{\text{АЧТ}}(\lambda, T) S_i(\lambda) d\lambda}, \quad (5)$$

зависящая от спектральной чувствительности фотоприемников и температуры АЧТ.

Температурные зависимости $f_1(T)$, $f_2(T)$, $f_3(T)$, $\lambda_1^{\text{эф}}(T)$, $\lambda_2^{\text{эф}}(T)$, $\lambda_3^{\text{эф}}(T)$ должны быть определены заранее при градуировке пирометра по модели АЧТ. Тогда при определении температуры, измерив U_1 , U_2 , U_3 , можно составить систему уравнений с тремя неизвестными T , b_1 и b_2

$$\begin{cases} U_1 = K \cdot f_1(T) (b_1 + b_2\lambda_1^{\text{эф}}(T)) \\ U_2 = K \cdot f_2(T) (b_1 + b_2\lambda_2^{\text{эф}}(T)) \\ U_3 = K \cdot f_3(T) (b_1 + b_2\lambda_3^{\text{эф}}(T)) \end{cases}, \quad (6)$$

которая сводится к уравнению относительно температуры

$$\left(\frac{U_1 f_2(T)}{U_2 f_1(T)} - 1\right)(\lambda_2^{\text{эф}}(T) - \lambda_3^{\text{эф}}(T)) + \left(\frac{U_3 f_2(T)}{U_2 f_3(T)} - 1\right)(\lambda_1^{\text{эф}}(T) - \lambda_2^{\text{эф}}(T)) = 0. \quad (7)$$

Это уравнение достаточно просто решается численными методами.

При градуировке пирометра сначала определяются зависимости $f_1(T)$, $f_2(T)$, $f_3(T)$ сигналов на выходе фотоприемников от температуры модели АЧТ, затем – эффективные длины волн $\lambda_1^{\text{эф}}(T)$, $\lambda_2^{\text{эф}}(T)$, $\lambda_3^{\text{эф}}(T)$, которые могут быть найдены по формуле

$$\lambda_i^{\text{эф}}(T) = \frac{1}{f_i(T)} \int_0^T \frac{c_2}{\Theta^2} f_i(\Theta) d\Theta \approx \frac{c_2}{T^2} \frac{f_i'(T_{\min})}{f_i(T)} + \frac{1}{f_i(T)} \int_{T_{\min}}^T \frac{c_2}{\Theta^2} f_i(\Theta) d\Theta, \quad (8)$$

где T_{\min} – минимальное значение температуры модели АЧТ при градуировке, c_2 – вторая постоянная излучения. В качестве примера на рис. 1, а представлены моделируемые спектральные чувствительности трехспектрального фотоприемника на основе InGaAs, а на рис. 1, б – соответствующие температурные зависимости эффективных длин волн.

Предлагаемый метод позволяет точно определять температуру тела в случае, если его излучательная способность $\varepsilon(\lambda)$ линейно зависит от длины волны. Методическая погрешность определения температуры обусловлена отклонением $\varepsilon(\lambda)$ контролируемого металла от линейной аппроксимации (2). Для сравнения на рис. 2, а показана $\varepsilon(\lambda)$ железа для различных значений температуры, а на рис. 2, б – рассчитанная численно методическая погрешность определения температуры железа предлагаемым методом (кривая 1) и методом спектрального отношения по величине отношения U_1/U_2 (кривая 2) и U_2/U_3 (кривая 3).

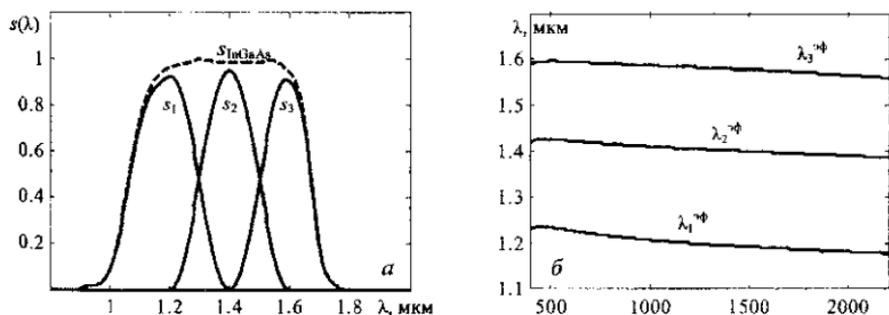


Рис. 1. Относительные спектральные чувствительности фотоприемника на основе InGaAs (штриховая линия), моделируемого трехцветного фотоприемника (сплошные линии) (а) и соответствующие температурные зависимости эффективных длин волн (б)

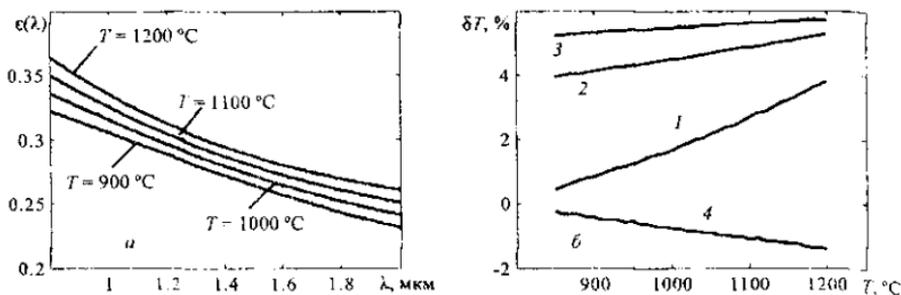


Рис. 2. Излучательная способность чистого железа (а) и методические погрешности определения температуры для моделируемых спектральных чувствительностей фотоприемников на основе InGaAs (б):

1, 4 – предлагаемым трехспектральным методом при линейной и экспоненциальной зависимостях $\varepsilon(\lambda)$, соответственно; 2 – методом спектрального отношения по величине отношения пирометрических сигналов U_1/U_2 ; 3 – методом спектрального отношения по величине отношения U_2/U_3

Определение температуры при нелинейной зависимости $\varepsilon(\lambda)$. Как видно из рис. 2, а излучательная способность железа (а также стали и чугуна) заметно отклоняется от линейной зависимости. Для приближенного описания $\varepsilon(\lambda)$ черных металлов часто используют экспоненциальную функцию [2]

$$\varepsilon(\lambda) \approx \exp(a_1 + a_2\lambda), \quad (9)$$

В этом случае для определения температуры предлагаемым методом можно использовать кусочно-линейную аппроксимацию функции (9), т.е. в пределах каждого из рабочих спектральных участков пирометра аппроксимировать функцию (9) линейным выражением

$$\varepsilon(\lambda) \approx \varepsilon(\lambda_i) + \varepsilon'_{\lambda=\lambda_i} (\lambda - \lambda_i) = \exp(a_1 + a_2\lambda_i) (1 + a_2(\lambda - \lambda_i)), \quad (10)$$

где λ_i – длина волны, соответствующая максимуму спектральной чувствительности фотоприемника в i -м рабочем спектральном участке.

Тогда система уравнений для определения температуры принимает вид

$$\begin{aligned} \frac{U_1}{U_2} - \exp(a_2(\lambda_1 - \lambda_2)) \frac{(1 + a_2(\lambda_1^{\text{сп}}(T) - \lambda_1)) f_1(T)}{(1 + a_2(\lambda_2^{\text{сп}}(T) - \lambda_2)) f_2(T)} &= 0 \\ \frac{U_2}{U_3} - \exp(a_2(\lambda_2 - \lambda_3)) \frac{(1 + a_2(\lambda_2^{\text{сп}}(T) - \lambda_2)) f_2(T)}{(1 + a_2(\lambda_3^{\text{сп}}(T) - \lambda_3)) f_3(T)} &= 0. \end{aligned} \quad (11)$$

Возникающая при таком подходе температурная зависимость методической погрешности определения термодинамической температуры железа показана на рис. 2, б (кривая 4).

Выводы. Предложенный трехспектральный пирометрический метод позволяет уменьшить методическую погрешность определения температуры металлов при отсутствии данных об их излучательной способности или ее изменении в процессе нагрева и обработки. Регистрация теплового излучения в широких спектральных участках обеспечивает снижение инструментальной погрешности определения температуры. Предложенная методика градуировки пирометра позволяет учесть влияние ширины используемых спектральных участков на результаты определения температуры и не требует определения спектральных чувствительностей фотоприемников.

Литература

1. Снопко, В.Н. Основы методов пирометрии по спектру теплового излучения / В.Н. Снопко. – Минск, 1999.
2. Излучательные свойства твердых материалов: справ. / под общ. ред. А.Е. Шейндлина. – М., 1974.

УДК 669.65.018.24

ИССЛЕДОВАНИЕ НОВОГО МОДИФИЦИРОВАННОГО БАББИТОВОГО МАТЕРИАЛА С ПОВЫШЕННОЙ ИЗНОСОСТОЙКОСТЬЮ С ЦЕЛЬЮ ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ ВКЛАДЫШЕЙ ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ

А.В. Алифанов, В.Н. Алехнович, А.А. Лях

ГНУ «Физико-технический институт НАН Беларуси», Минск

Необходимость выполнения данной работы была обусловлена желанием РНУ «Белгазэнергоремонт» ОАО «Белтрансгаз» при ремонте подшипников скольжения газоперекачивающего агрегата ГПА СТД-4000 (путем восстановления несущей поверхности) использовать современные материалы, обладающие лучшими триботехническими свойствами, чем стандартные, в частности, баббит Б-83, ГОСТ 1320-74. Для достижения этой цели может быть использован новый модифицированный баббитовый материал 04Е (далее МБМ).