

торы известных работ подчеркивают актуальность, но не дают решений этой проблемы. Результаты выполненных во ФТИМС исследований позволили разработать новые процессы миксерования металла и значительно снизить указанные энергозатраты при технологической выдержке расплава, а также в нерабочие смены и дни. Для разработки использованы результаты исследований влияния металлургических и энергетических параметров на энергозатраты термостатирования металла в индукционных тигельных печах. Режимы позиционного и непрерывного термостатирования расплава в печах за счет оптимальных значений массы расплава в тигле, температуры непрерывного термостатирования, ширины зоны нечувствительности позиционного термостатирования, напряжения на индукторе и массы расплава в тигле обеспечивают снижение общих и удельных энергозатрат соответственно на 38; 76% и 65; 54%. Рекомендованный, связанный с заполнением тигля, выбор позиционного или непрерывного термостатирования металла соответственно снижает общие и удельные энергозатраты не менее, чем на 12 и 58%.

Разработанные методы управления способствуют повышению ресурса футеровки за счет изотермической эксплуатации печи и оптимального, связанного с температурой термодинамического равновесия основной металлургической реакции, значения температуры термостатирования, уменьшающего ошлакование и разгар тигля.

УДК 536.521.3

Л.Ф. Жуков, А.Л. Корниенко

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

**ВЛИЯНИЕ ИЗЛУЧАТЕЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕТАЛЛИЧЕСКИХ
СПЛАВОВ НА МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОГРЕШНОСТИ СИММЕТРИЧНО-
ВОЛНОВОЙ ПИРОМЕТРИИ ИЗЛУЧЕНИЯ**

Перспективность симметрично-волновой пирометрии излучения (СВПИ) определяется в том числе значительно более низкими по сравнению с остальными многоцветовыми, и тем более классическими, методами погрешностями измерений. Установлено, что для нецветных металлов и их сплавов домини-

рующие в оптической термометрии методические погрешности СВПИ в 6-8 раз ниже погрешностей известных методов полихроматической пирометрии излучения. Такие высокие метрологические характеристики СВПИ значительно расширяют область ее использования в наиболее сложных термометрических условиях металлургии, которые в основном определяются случайно изменяющимися коэффициентами излучательной способности (ϵ) и пропускания промежуточных сопутствующих и специальных сред. Влияние промежуточных сред, как правило, менее проблематично и исключается с помощью продуваемых фурм или использованием рабочих спектральных диапазонов со стабильным пропусканием. Одним из наиболее простых методов СВПИ является линейная симметрично-волновая пирометрия излучения, методические погрешности которой равны нулю в случае линейных термодинамически равновесных, серых, возрастающих и спадающих спектральных распределений излучательной способности. Реальные распределения излучательной способности металлов и их сплавов в наиболее приемлемых для оптической термометрии спектральных диапазонах отклоняются от указанных линейных. Поэтому для оптимизации оптических характеристик симметрично-волновой пирометрии излучения принципиальным является исследование влияния этих отклонений на погрешности линейной СВПИ и определение допустимых пределов отклонений, при которых обеспечивается требуемая точность измерений температуры. Для количественной оценки излучательных характеристик нами предложен коэффициент нелинейности

$$K_n = \epsilon_{2-} - \epsilon_{2л},$$

где ϵ_{2-} – излучательная способность сплава на длине волны λ_2 ;

$\epsilon_{2л}$ – излучательная способность сплава на длине волны λ_2 для линейно аппроксимированного распределения $\epsilon_{л} = f(\lambda)$.

Термометрические характеристики металлических сплавов количественно определяются также коэффициентом крутизны спектральных распределений излучательной способности K_k и диапазоном излучательной способности $\Delta\epsilon$.

$$K_k = (\epsilon_3 - \epsilon_1) / (\lambda_3 - \lambda_1), \text{ м}^{-1},$$

где ϵ_3 и ϵ_1 – значения излучательной способности сплава соответственно на длинах волн λ_3 и λ_1 .

$\Delta\epsilon$ определяется значениями излучательной способности на граничных длинах волн, т.е. на λ_1 и λ_3 .

Здесь авторы приводят результаты исследований влияния на методические погрешности линейной СВПИ основной количественной характеристики K_n , а также K_k и $\Delta\lambda$, при различных значениях остальных оптических характеристик систем пирометрии излучения, в том числе:

- спектрального диапазона $\lambda_3 - \lambda_1$, задающего $\Delta\lambda = (\lambda_3 - \lambda_1) / 2$, мкм;
- длины средней волны λ_2 , мкм.

Исследования выполнены для указанных линейных и возможных на различных участках спектра нелинейных распределениях излучательной способности, в том числе:

- спадающих выпуклых (СВП);
- возрастающих выпуклых (ВВП);
- спадающих вогнутых (СВГ);
- возрастающих вогнутых (ВВГ).

Для исследований в качестве базового СВП–распределения выбрано наиболее изученное в термометрии, оптике металлов и светотехнике, а также детально представленное в литературе экспериментальное распределение излучательной способности вольфрама. Для СВГ-, ВВП- и ВВГ–распределений использовали соответствующие зеркальные отображения СВП-распределения.

В результате исследований установлено доминирующее воздействие спектральных распределений излучательной способности и их нелинейности на погрешности многоцветовой линейной симметрично-волновой пирометрии излучения металлических сплавов. Погрешности характерных для нецветных и цветных металлов и их сплавов спадающих выпуклых распределений излучательной способности соответственно в видимой и ближней инфракрасной, а также видимой областях спектра минимальны и не превышают 0,5 %. В исследованных условиях погрешности известных многоцветовых и классических методов превышают это значение в несколько раз. Для возрастающих вогнутых распределений погрешности максимальны и при тех же нелинейностях достигают 1,3 %. В случаях линейных или близких к ним распределений погрешности равны или приближаются к нулю. Прямое воздействие коэффициента крутизны спектральных распределений излучательной способности отсутствует. Однако при этом установлено косвенное влияние этой характеристики через относительную линейность и излучательную способность, встречное воздействие которых вызывает незначительные, до 0,14 %, погрешности. С повышением излучательной способности в исследованном диапазоне ее значений погрешности

трехволновой СВПИ на $\square_1 = 0,5$; $\square_2 = 0,8$ и $\square_3 = 1,1$ мкм уменьшаются от 0,6 до 0,3% при 0,5% для СВП-распределения. Для аналогичных значений излучательной способности от 0,26 до 0,87, ее распределения и спектрального диапазона погрешности методов классической энергетической одноцветовой и спектрального отношения двухцветовой пирометрии излучения находятся соответственно в пределах 4 – 11 и 1,3 – 3,4 %. Погрешности известных методов многоцветовой пирометрии излучения в случае СВПw-распределения составляют 1,4 – 1,9%. Доказана перспективность линейной симметрично-волновой пирометрии излучения для термоконтроля металлов и их сплавов, а также в большинстве случаев для оксидов, карбидов, боридов, нитридов, силицидов и других материалов имеющих спадающие выпуклые распределения излучательной способности.

УДК 536.521.3

Л. Ф. Жуков, А. Л. Корниенко

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

ИССЛЕДОВАНИЕ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ ПОГРЕШНОСТЕЙ СИММЕТРИЧНО-ВОЛНОВОЙ ТЕРМОМЕТРИИ МЕТАЛЛОВ И ИХ СПЛАВОВ

Известно, что погрешности измерений температуры классическими энергетическими и спектрального отношения методами пирометрии излучения в основном определяются методическими составляющими. По уровню инструментальных метрологических характеристик современная классическая оптическая термометрия не уступает, например, термоэлектрическим измерениям температуры, а во многих случаях даже значительно превосходит их и поэтому используется для эталонных измерений и построения температурных шкал. Переход от классической к многоцветовой пирометрии излучения позволяет существенно уменьшить методические погрешности и в этом основной смысл такого перехода. Однако, обычно снижение методических погрешностей многоцветовой пирометрии излучения достигается при явном ухудшении ее инструментальных составляющих. Это, как правило, предъявляет высокие требования к метрологическим характеристикам получения первичной пирометрической