

Анотація

Кривенко С. В.

Принцип синхронного управління частотою обертання огрудкувача та вологості шихти

Досліджено зміну коефіцієнта кореляції між порозністю шару і коефіцієнтом варіації крупності гранул для синхронного управління вологістю огрудкованої аглошихти і частотою обертання огрудкувача. Встановлено, що максимальна кореляція відповідає способам розрахунку середньологаріфмічному і середньогармонічному, а оптимальний режим роботи огрудкувача – максимальному значенню середньологаріфмічного коефіцієнта кореляції.

Ключові слова

огрудкування, управління, вологість, частота обертання, порозність, коефіцієнт варіації

Summary

Krivenko S.

The principle of simultaneous control of pelletizer rotation frequency and charge moisture

Changing the correlation coefficient between layer fractional void volume and coefficient of variation of size of pellets is investigated for simultaneous control of pelletized sintering mix humidity and pelletizer rotation frequency. It is established, that the maximal correlation corresponds to the average logarithmic and harmonic calculating means. Optimum performance for pelletizer is the crest value of the average logarithmic correlation coefficient.

Keywords

pelletizing, control, humidity, rotation frequency, fractional void volume, coefficient of variation

Поступила 24.05.11

УДК 621.745.5.06./07:536.5

Л. Ф. Жуков, А. Л. Корниенко, Н. Ф. Зубенина

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

Исследование стабильности оптических термометрических характеристик жидкого чугуна

Исследовано влияние технологических параметров, спектральных характеристик и алгоритмов обработки первичной пирометрической информации на стабильность оптических термометрических характеристик жидкого чугуна в инфракрасной и видимой областях спектра. Для сравнения термометрических и расчета метрологических характеристик предложен пирометрический коэффициент K_p , равный произведению излучательной способности и коэффициента пропускания.

Ключевые слова: излучательная способность, пропускание, пирометрический коэффициент, чугун, химический состав, метрологическое обеспечение

Для метрологического обеспечения пирометрии излучения металлических сплавов необходимо знать количественные оценки абсолютных значений и стабильности их термометрических

характеристик, то есть излучательной способности и пропускания промежуточной среды. Изученное ранее [1-3] сильное влияние физико-химических процессов и технологических параметров на частичную

и интегральную излучательную способность (ϵ_λ и ϵ_λ) жидкого чугуна предполагает аналогичное их воздействие на стабильность термометрических характеристик.

Нестабильность излучательных характеристик термометрируемого металлического сплава и пропускания сопутствующей промежуточной среды качественно и количественно одинаково воздействуют на погрешности оптической пирометрии в соответствии с выражением, которое можно получить, используя термодинамические законы теплового излучения, в частности закон Вина

$$\Delta t = S^2 \frac{\lambda_{\text{эф}} \ln \epsilon \tau}{C_2},$$

где Δt – погрешность пирометрии, К; ϵ – излучательная способность термометрируемого металлического сплава; τ – коэффициент пропускания промежуточной среды; $\lambda_{\text{эф}}$ – эффективная длина волны пирометрируемого излучения, м; C_2 – вторая постоянная Планка, К · м; S – яркостная температура металлического сплава, К.

При исследованиях термометрических характеристик металлических расплавов, в том числе чугуна, сложно (а для метрологического обеспечения пирометрии излучения и не обязательно) разделять влияние поверхности и промежуточной среды. Для сравнения термометрических и расчета метрологических характеристик пирометрии излучения предложен пирометрический коэффициент

$$K_n = \epsilon \tau.$$

Абсолютное значение и пределы случайных изменений K_n можно экспериментально определить на термометрируемом металлическом сплаве и затем рассчитать погрешности яркостной, цветовой или

радиационной пирометрии излучения, используя следующие выражения:

$$\Delta t = S^2 \frac{\lambda_{\text{эф}} \ln K_n \pm \Delta K_n}{C_2};$$

$$\Delta t = T_y^2 \frac{\Delta \ln \frac{K'_n \pm \Delta K'_n}{K''_n \pm \Delta K''_n}}{C_2};$$

$$\Delta t = T_R (1 - \sqrt[4]{1 / (K_n \pm \Delta K_n)}).$$

На рис. 1 представлены зависимости ΔK_n от температуры, полученные для чугуна, выплавляемого в электропечи сопротивления.

Значения ΔK_n здесь равны разности между максимальными и минимальными значениями K_n , полученными для задействованных в исследованиях составов чугуна (таблица), то есть

$$\Delta K_n = K_{n\text{max}} - K_{n\text{min}}.$$

| Содержание, % | | |
|---------------|------|------|
| C | Si | Mn |
| 1,85 | 1,07 | 0,77 |
| 3,97 | 1,10 | 0,19 |
| 1,55 | 2,60 | 0,24 |
| 3,52 | 3,55 | 0,57 |
| 1,98 | 2,00 | 0,58 |

Значения ΔK_n возрастают с повышением температуры всех изученных составов и во всех спектральных диапазонах. Объяснить это можно повышением активности углерода, который при нагреве расплавов переводит окислы железа, марганца и кремния из высших нелетучих в низшие летучие и интенсифицирует процесс образования дыма. Кроме того, увеличение ΔK_n обусловливается повышением нестабильности окисной пленки, выделением CO_2 при температурах, равных и превышающих температуру термодинамического равновесия основной окислительно-восстановительной реакции ($t \geq t_p$), интенсификации искрообразования и увеличением волнистости поверхности расплавов. Если основные причины перечислены, то максимальные ΔK_n должны быть у расплавов с более высоким содержанием углерода и марганца и низким – кремния. Экспериментальные результаты подтверждают теоретические предположения. На образцах, содержащих (%) 4,0 – C, 1,0 – Si и 1,2 – Mn были получены максимальные ΔK_n . Дым воздействует на K_n селективно. В диапазоне от 0,69 до 1,53 мкм ΔK_n

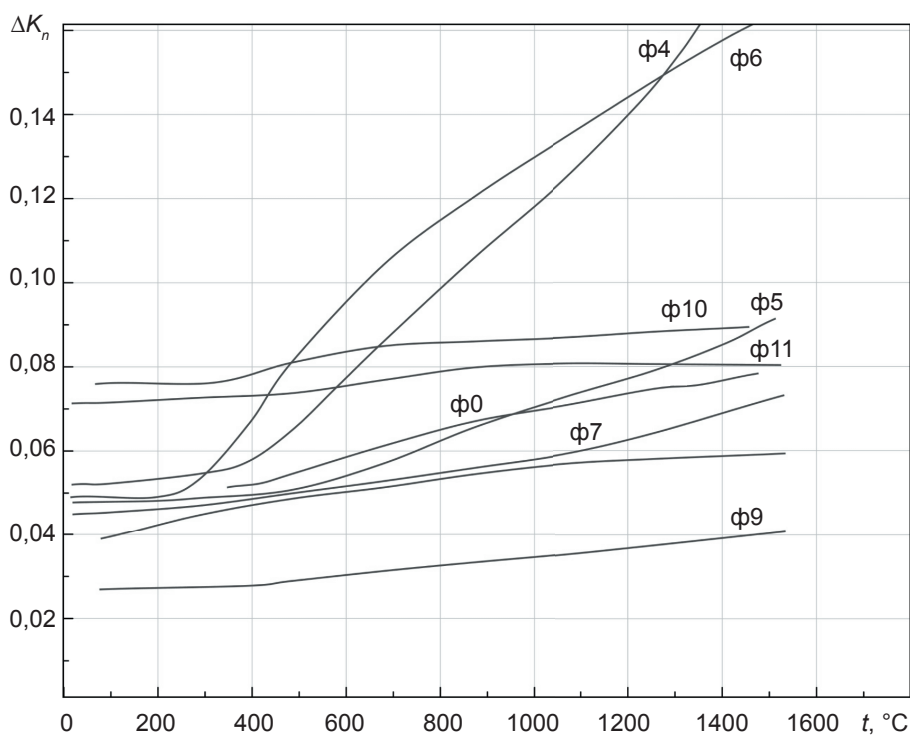


Рис. 1. Изменения ΔK_n от температуры расплавов чугуна в электропечи сопротивления, мкм: ф4 – 0,69-0,96; ф5 – 0,930-1,075; ф6 – 1,10-1,53; ф7 – 1,53-2,25; ф8 – 2,25-2,74; ф9 – 2,74-3,83; ф10 – 3,83-5,00; ф11 – 4,25-8,00; ф0 – 0,12-8,00

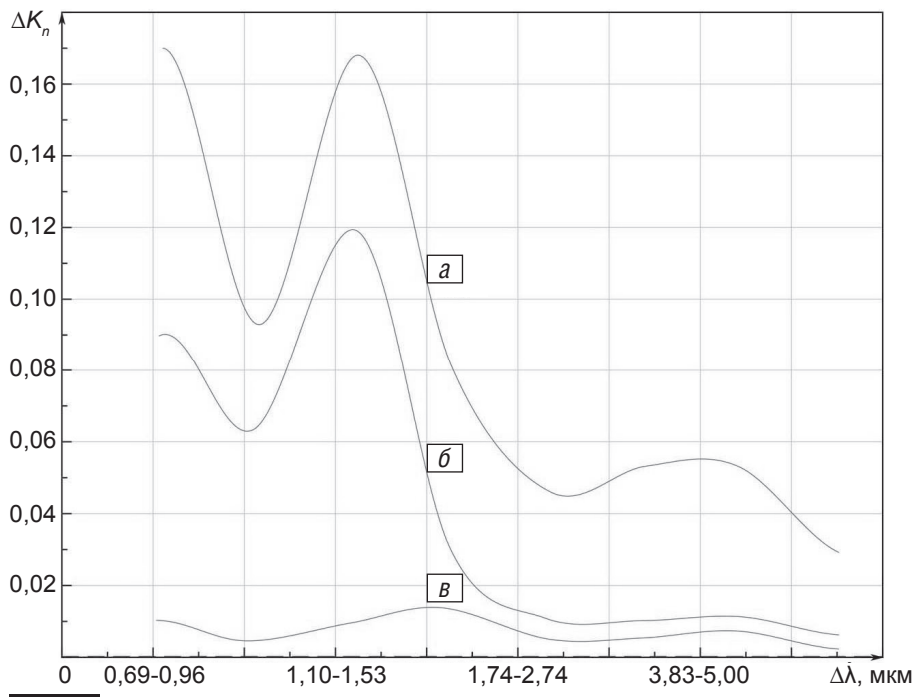


Рис. 2. Спектральные зависимости ΔK_n для расплавов чугуна

достигает 0,19, а в длинноволновой части спектра 1,53-8,00 мкм, где влияние дыма практически нет, ΔK_n не превышает 0,1.

В спектральном диапазоне от 0,69 до 1,53 мкм значения ΔK_n максимальны, особенно на длинах волн 0,69-0,96 и 1,10-1,53 мкм, где воздействие дыма складывается с влиянием нестабильности пленки. На длинах волн 0,930-1,075 мкм влияние пленки уменьшается, поэтому здесь ΔK_n меньше, чем в указанных двух соседних диапазонах.

Распределение ΔK_n по спектральным диапазонам до температур 1420-1440 °С в основном определяется нестабильностью окисной пленки, влияние которой максимально для Ф10 и минимально для Ф8. При нагреве чугуна выше этих температур ΔK_n определяет нестабильность пленки, на которую накладывается воздействие дыма, CO_2 , искрообразования и волнистости. Полученное распределение ΔK_n для всех спектральных диапазонов (с учетом селективного воздействия дыма, CO_2 и пленообразования) соответствует исходным теоретическим предположениям.

Изучение зависимостей ΔK_n от температуры показывает, что в зоне равновесных температур основной окислительно-восстановительной реакции действительно наблюдается повышение ΔK_n . Причем, это повышение особенно выражено в спектральных диапазонах 2,25-2,74; 2,74-3,83; 3,83-5,00; 4,25-8,00 мкм, которые перекрывают полосы интенсивного поглощения CO_2 .

Здесь следует отметить, что минимальные значения ΔK_n получены в спектральном диапазоне 2,25-2,74 мкм (0,028-0,044); средние, без влияния дыма, – в диапазоне 3,83-5,00 мкм (0,080-0,095); максимальные, под воздействием дыма, – в коротковолновом диапазоне от 1,10 до 1,53 мкм (0,052 до 0,185).

Зависимости $\Delta K_n = f(t)$, снятые для чугуна

(%, С – 4,0; Si – 1,0; Mn – 0,5) в индукционной печи типа ИЧТ-10 при температурах 1330-1500 °С, подтвердили полученные увеличения ΔK_n с повышением температуры и относительное распределение ΔK_n по спектральным диапазонам. В отличие от представленных выше результатов, относительные повышения ΔK_n здесь значительно меньше за счет дыма в спектральных диапазонах 0,69-0,96; 0,93-1,075 и 1,10-1,53 мкм, и для первого и третьего диапазонов даже не выходят за верхние пределы, ограничиваемые ΔK_n для длин волн 3,83-5,00 мкм. Это объясняется меньшим содержанием марганца, равным 0,5 %. Основное отличие заключается в более высоких значениях K_n . Например, для диапазона 2,25-2,74 мкм (Ф8, это минимальные ΔK_n) значения ΔK_n в температурном интервале от 1330 до 1500 °С изменяются от 0,43 до 0,51. Максимальные значения K_n , полученные для диапазона 3,83-5,00 мкм (Ф10), изменяются в этом случае от 0,60 до 0,75.

Для подтверждения полученной температурной зависимости использовались данные о влиянии химического состава на ΔK_n . На рис. 2. приведены зависимости ΔK_n от спектрального диапазона для различных составов чугуна при температурах 1390-1530 °С, выплавляемых в электропечи сопротивления. Интерпретация полученных зависимостей показывает, что значения ΔK_n (кривая а) по указанным выше причинам максимальны в коротковолновой части спектра (0,69-2,25 мкм) и резко уменьшаются с переходом в длинноволновую его часть ($\lambda > 2,25$ мкм). Высокие значения ΔK_n в коротковолновой части спектра обусловлены в основном влиянием дыма и в меньшей степени – нестабильностью прозрачной окисной пленки, при которой состояние поверхности может изменяться от чисто металлического до полностью покрытого окислами различной толщины ($\Delta \epsilon = \epsilon_{\text{ок}} - \epsilon_{\text{ч.м}}$). Значения $\Delta \epsilon$ для спектрального диапазона 0,930-1,075 мкм меньше, чем для диапазонов 0,69-0,96 и 1,10-1,53 мкм [3], значит и влияние пленки на ΔK_n меньше. Поэтому на зависимостях $\Delta K_n = f(\Delta \lambda)$ в указанном диапазоне ΔK_n меньше.

Основным компонентом дыма являются летучие оксиды марганца, которые образуются при повышении температуры чугуна. Поэтому естественно предположить, что большие значения ΔK_n в коротковолновой части спектра будут у высокоуглеродистых низкокремнистых чугунов с высоким содержанием марганца. Для высококремнистых чугунов с низким содержанием Mn увеличение ΔK_n на коротких волнах должно отсутствовать. Экспериментальные кривые б (% С – 4,0; Si – 1,0; Mn – 1,2) и в (% С – 4,0; Si – 3,0; Mn – 0,2), снятые для наиболее и наименее стабильных составов, подтверждают это

предположение. В процессе подготовки образцов расплава чугуна (таблица) при температуре 1480 °С дополнительно изучено влияние на ΔK_n углерода, кремния и марганца, вводимых в железо, и установлена следующая общая для всех составов закономерность: при увеличении содержания углерода в железе ΔK_n незначительно повышается. Введение в расплав Fe-C кремния примерно в 2 раза снижает ΔK_n , а марганца в расплав Fe-C-Si – в 3 раза повышает нестабильность K_n . Выполненные в технологическом температурном диапазоне исследования ΔK_n показывают, что основными селективными дестабилизирующими K_n факторами являются связанные с температурой расплава процессы планообразования, насыщения промежуточной среды низшими летучими окислами марганца и углерода, искрообразование и волнистость поверхности. Безусловный практический интерес представляет изучение ΔK_n в различных конкретных условиях промышленной пирометрии излучения. Для этого были исследованы спектральные распределения ΔK_n для чугуна с температурой 1360 °С в индукционных тигельных печах типа ИЧТ-10 и вагранках с выпуском металла через стационарный копильник, а также через открытый и оборудованный сифоном желоб. Полученные данные показали, что значения ΔK_n в исследованных спектральных диапазонах для индукционного чугуна (0,38-0,53) в среднем в 2 раза выше, чем для ваграночного (0,1-0,3). В случае вагранок, минимальные значения ΔK_n получили для чугуна в струе у летки вагранки и затем в порядке возрастания для металла в струе у летки копильника, в конце струи из вагранки и в потоке у сифона.

При бесконтактной термометрии из-за нестабильности $K_n(\epsilon)$ выходной сигнал изменяется в соответствующих значениям ΔK_n пределах. Для интерпретации пирометрической информации выходной сигнал интегрируется или запоминается его максимальное значение. В этом заключаются известные алгоритмы обработки первичной пирометрической информации. В представляемой работе предложены и исследованы еще три алгоритма обработки первичной пирометрической информации, заключающиеся в запоминании повторяющихся на одном уровне минимальных значений пирометрического сигнала в заданном временном интервале и минимального значения за определенный промежуток времени, а также вычислении среднего арифметического для максимального и минимального значений сигнала за определенный промежуток времени.

Сравнительная оценка значений ΔK_n определяет оптимальность перечисленных алгоритмов обработки пирометрической информации. Для такой оценки были исследованы спектральные распределения ΔK_n для указанных пяти алгоритмов при температуре чугуна 1360 °С на индукционных печах типа ИЧТ-10 и вагранках с выпуском через стационарный копильник и открытый, оборудованный сифоном, желоб. Универсальный пирометрический преобразователь визировался на начало и конец струи у летки вагранки, начало струи летки копильника и начало потока расплава у сифона. Полученные данные показали,

что спектральные распределения K_n и ϵ [3] по форме идентичны. Объясняется это тем, что процессы планообразования в экспериментальных условиях являлись основным фактором, определяющим значения ϵ , K_n и ΔK_n . Насыщение промежуточной среды летучими окислами марганца и углерода, искрообразование и волнистость, как уже отмечалось, при исследуемых составах и температурах чугуна влияют незначительно. Появление окисной пленки повышает ϵ (K_n) и в то же время нестабильность этой пленки увеличивает ΔK_n . Для всех алгоритмов ΔK_n в 2-4 раза больше на индукционных печах, чем на вагранках. На всех печах максимальные ΔK_n получены для запоминания максимальных значений, а минимальные – повторяющихся на одном уровне минимальных значений или минимального значения. ΔK_n для оставшихся двух алгоритмов расположены в середине зоны между указанными минимальными и максимальными ΔK_n . Указанная зона имеет максимальную ширину для индукционного чугуна (~ 0,25), при которой $\Delta K_{n \min} \approx 0,15$ в 2,0-2,5 раза меньше $\Delta K_{n \max} \approx 0,4$. Ширина зоны значений ΔK_n исследованных пяти алгоритмов для ваграночного чугуна не превышает 0,1 при $\Delta K_{n \min} \approx 0,02-0,10$ в струе и $\Delta K_{n \max} \approx 0,12-0,20$ в потоке. Объясняется это тем, что в ламинарной струе или потоке ваграночного чугуна процессы планообразования более стабильны, чем на поверхности перемешиваемого в индукционной печи металла с более волнистой поверхностью. В комплексе, в случае вагранок, это понижает уровни $\Delta K_{n \min}$ и $\Delta K_{n \max}$ в 2,5-4,0 раза; по сравнению с индукционным чугуном – уменьшает ширину зоны, то есть разброс значений K_n для изученных алгоритмов.

Выводы

Таким образом, исследована стабильность термометрических характеристик жидкого чугуна в возможных условиях бесконтактной пирометрии его излучения, то есть в ванне, струе и потоке на желобе. Для интерпретации результатов таких исследований и пирометрических расчетов предложен пирометрический коэффициент K_n , равный произведению излучательной способности термометрируемого расплава на коэффициент пропускания промежуточной среды. Систематическая составляющая погрешности пирометрии излучения определяется с помощью термодинамических законов теплового излучения по абсолютному среднему значению K_n , а случайная – по пределу случайных изменений K_n , то есть

$$\Delta K_n = \Delta K_{n \max} - \Delta K_{n \min}.$$

Установлено, что с повышением температуры ΔK_n жидкого чугуна увеличивается за счет насыщения промежуточной среды летучими окислами марганца и углерода, дестабилизации процессов планообразования, повышения волнистости поверхности и интенсификации искрообразования. Влияние первых трех факторов имеет ярко выраженный селективный характер. Влияние летучих окислов марганца проявляется в основном в спектральных

диапазонах 0,69-0,96; 0,930-1,075; 1,10-1,53; и 1,53-2,25 мкм в порядке убывания степени воздействия. Процессы пленообразования сильно влияют на ΔK_n в спектральных диапазонах 3,83-5,00; 4,25-8,00; 1,10-1,53; 0,69-0,96; 0,930-1,075; 1,53-2,25 и 2,25-2,74 мкм в порядке убывания воздействия и минимально – на волнах 2,74-3,83 мкм.

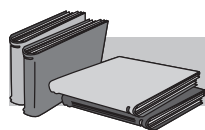
CO_2 , выделяющийся при $t > t_p$, селективно воздействует на K_n и заметно повышает ΔK_n в диапазонах 2,25-2,74; 2,74-3,83; 3,83-5,00; 4,25-8,00 мкм.

Влияние волнистости поверхности и процессов искрообразования неселективно по спектру и определяется температурой чугуна.

Установлено сильное влияние химического состава чугуна на стабильность K_n . Основным дестабилизирующим K_n элементом является марганец, высшие нелетучие окислы которого при нагреве чугуна переходят в низшие летучие, селективно по спектру воздействующие на K_n . Кремний образует стабильные температуроустойчивые пленки и в рассматриваемом аспекте является стабилизирующим K_n элементом. Углерод, являющийся раскислителем, уменьшает стабильность K_n . Поэтому, минимальные значения ΔK_n (до 0,01) имеют низкомарганцовистые высококремнистые чугуны с малым содержанием углерода. У высокомарганцовистых низкокремнистых чугунов с высоким содержанием углерода самые нестабильные K_n (ΔK_n до 0,17).

Технологический процесс получения жидкого чугуна является доминирующим, определяющим нестабильность K_n фактором. Например, при температуре 1360 °С ΔK_n для расплава в индукционной тигельной печи типа ИЧТ-10 в среднем в 2 раза выше ($\Delta K_{n \min} \approx 0,38$; $\Delta K_{n \max} \approx 0,53$), чем для ваграночного чугуна ($\Delta K_{n \min} \approx 0,1$; $\Delta K_{n \max} \approx 0,3$). Причем, ΔK_n в указанных для ваграночного чугуна пределах изменяется почти в 2 раза (в зависимости от схемы выпуска металла).

Алгоритм обработки пирометрической информации сильно влияет на значения ΔK_n . Для исследованных пяти алгоритмов, в том числе трех предложенных, ΔK_n в 2-4 раза выше для чугуна в ванне индукционных печей ($\Delta K_{n \min} \approx 0,15$; $\Delta K_{n \max} \approx 0,4$), чем в струе ($\Delta K_{n \min} \approx 0,02$; $\Delta K_{n \max} \approx 0,12$) или потоке на выпуске из вагранок ($\Delta K_{n \min} \approx 0,1$; $\Delta K_{n \max} \approx 0,2$). При этом максимальные значения ΔK_n для чугунов в ванне, струе и потоке получены для известного алгоритма запоминания максимального значения пирометрического сигнала, а минимальные – для предложенного запоминания повторяющихся на одном уровне минимальных значений. Значения ΔK_n для остальных алгоритмов находятся между значениями ΔK_n указанных двух алгоритмов.



ЛИТЕРАТУРА

1. Жуков Л. Ф. Исследование влияния времени выдержки и технологии плавки на интенсивность и спектральное распределение теплового излучения железоуглеродистых расплавов // Процессы литья. – 1996. – № 3. – С. 56-64.
2. Жуков Л. Ф. Исследование температурных закономерностей теплового излучения железоуглеродистых расплавов // Там же. – 1996. – № 4. – С. 9-19.
3. Жуков Л. Ф. Исследование спектрального распределения теплового излучения железоуглеродистых расплавов // Там же. – 1998. – № 3-4. – С. 154-157.

Анотація

Жуков Л. Ф., Корнієнко А. Л., Зубеніна Н. Ф.

Дослідження стабільності оптичних термометричних характеристик рідкого чавуну

Досліджено вплив технологічних параметрів, спектральних характеристик та алгоритмів обробки первинної пирометричної інформації на стабільність оптичних термометричних характеристик рідкого чавуну у видимій та інфрачервоній областях спектру. Для порівняння термометричних і розрахунку метрологічних характеристик запропоновано пирометричний коефіцієнт K_n , що дорівнює добутку випромінювальної здатності та коефіцієнта пропускання.

Ключові слова

випромінювальна здатність, пропускання, пирометричний коефіцієнт, чавун, хімічний склад, метрологічне забезпечення

Summary

Zhukov L., Korniyenko A., Zubenina N.

Investigation of the stability of the optical thermometric characteristics of the liquid cast iron

The influence of the technological parameters, spectral characteristics and algorithms for processing of primary pyrometric information on the stability of optical thermometric characteristics of liquid cast iron in the visible and infrared spectrum ranges is investigated. For comparison of thermometric and calculation of metrological characteristics is proposed the pyrometric coefficient K_p , that is equal to the product of the emissivity and the transmissivity coefficient.

Keywords

emissivity, transmissivity, pyrometric coefficient, cast iron, chemical composition, metrological ensuring

Поступила 31.05.11

УДК 621.746.2:66.028

Н. А. Слажнев

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

Система коррекции расходных характеристик магнитовесовой установки при переменном уровне расплава в тигле*

Представлена система автоматической коррекции расходных характеристик при разливке алюминиевого расплава из магнитовесовой установки, обеспечивающей независимость напора и расхода от его уровня в тигле. Приведен теоретический анализ, алгоритм и способ реализации метода коррекции расходных характеристик посредством регулирования напряжения, подаваемого на электромагнит, в зависимости от количества расплава, находящегося в тигле магнитовесовой установки, реализуемой за счет обратной связи весоизмерительного устройства и системы управления питания электромагнитом.

Ключевые слова: магнитовесовая установка, уровень расплава, тигель, реактор, микроконтроллер, электромагнит, алюминиевый расплав, дозирование, коррекция, напор, расход

Введение. Актуальной проблемой, связанной с эксплуатацией магнитодинамических установок (МДУ) для алюминиевых расплавов в условиях современного литейного производства, является недостаточный уровень оснащения таких агрегатов системами автоматического регулирования расходных характеристик и обеспечения их постоянства в процессе электромагнитной разливки.

К числу таких задач относится необходимость обеспечения ручной или полуавтоматической коррекции расходных характеристик при изменении уровня расплава в тигле МДУ.

Особенностью такого процесса является то, что при понижении уровня металла в тигле МДУ в

процессе электромагнитной разливки в литейную форму происходит постепенное снижение массового расхода. Это оказывает существенное негативное влияние на процесс дозирования расплава, обуславливающее высокую погрешность и нарушение стабильности технологических режимов разливки.

В ранее проведенных работах [1] рассматривалось много способов исключения зависимости расходных характеристик МДУ от уровня расплава в тигле. Некоторые из них предусматривали осуществление многократной ручной или полуавтоматической коррекции параметров работы электромагнита МГД-установки при снижении уровня расплава. В других предполагалось использовать принцип

* Работа выполнена при участии К. С. Богдана, А. А. Санкина, С. В. Горюка