

го шлака, а также лабораторные испытания технологии легирования позволяют наметить пути его утилизации, которые включают:

- 1) предварительный размол материала и разделение на металлическую и дисперсную части;
- 2) использование металлической части шлака в качестве шихтовой составляющей при выплавке бронзы;
- 3) экономное легирование высокоуглеродистых сплавов железа медью с использованием дисперсной части по различным вариантам.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Задиранов, А. Н.* Исследование и оптимизация процессов утилизации металла из медьсодержащих шлаков, образующихся в плавильно-литейных цехах металлургических предприятий: автореф. ... канд. техн. наук / А. Н. Задиранов. – М., 1993.
2. *Слуцкий, А. Г.* Исследование особенностей легирования гильзового чугуна медьсодержащими отходами / А. Г. Слуцкий, Р. Э. Трубицкий, В. А. Сметкин // *Литье и металлургия.* – 2005. – С. 113–116.
3. *Казачков, Е. Л.* Расчеты по теории металлургических процессов / Е. Л. Казачков. – М.: Металлургия, 1988. – 288 с.
4. Экономное легирование железоуглеродистых сплавов / С. Н. Леках [и др.]. – М.: Наука и техника, 1996. – 173 с.

УДК 621.783

Н. Л. МАНДЕЛЬ, канд. техн. наук,
П. Э. РАТНИКОВ, канд. техн. наук,
Р. Б. ВАЙС, канд. техн. наук,
Н. Г. МАЛЬКЕВИЧ, канд. техн. наук (БНТУ)

ВЫБОР ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ СОВРЕМЕННЫХ ГОРЕЛОЧНЫХ УСТРОЙСТВ СТРУЙНОГО ТИПА, ТРЕБУЮЩИХ УЧЕТА ПРИ СОЗДАНИИ ИНЖЕНЕРНЫХ МЕТОДИК НАГРЕВА МЕТАЛЛА

В последнее время ведущими фирмами в области строительства металлургических печей исследуются и находят практическое применение различные способы интенсификации тепловой работы печей путем повышения конвективной составляющей теплообмена (в частности, за счет организации струйного конвективного теплообмена). В связи с этим актуальны теоретические и эксперименталь-

ные исследования, посвященные разработке конструкций газогорелочных устройств струйного нагрева, конструированию печных агрегатов и созданию теплотехнологий струйного нагрева.

Скоростные горелки с металлическими воздухоохлаждаемыми камерами горения типа ГВ, СВП, ПИВС доказали свою надежную работоспособность на печных установках различного назначения [1].

Основными узлами скоростных горелок являются смесительное устройство для подготовки газозвушной смеси и камера сгорания для сжигания горючей смеси. Эти узлы – главные объекты при проведении конструкторских расчетов.

В разработанной ВНИИпромгазом скоростной горелке СВП [2] газовые струи вытекают из центрального сопла под углом к периферийному потоку воздуха, образование горючей газозвушной смеси происходит в тыльной части камеры сгорания. Горелка предназначена для работы на холодном и подогретом воздухе. Предусмотрена возможность установки газовых сопел разной конструкции.

Найдены исходные параметры для расчета распределения струй, при которых температура стенки камеры сгорания, изготовленной из стали марки Х23Н18, не превышает 950 °С (соответствует пределу длительной прочности) при температуре подаваемого в горелку воздуха 350 °С, а химическая неполнота сгорания на срез сопла составляет не более 10 %, что позволяет достичь полного сжигания газа на сравнительно небольшом расстоянии от горелки.

При этом основное влияние на процесс теплообмена оказывают следующие параметры [3]:

- отношение динамических напоров воздушного потока и газовых струй, которого рекомендуется придерживаться в пределах (верхние значения при работе на подогретом воздухе)

$$\frac{1}{q} = \frac{\rho_{\text{в}} v_{\text{в}}^2}{\rho_{\text{г}} v_{\text{г}}^2} = 0,015 - 0,025,$$

где $\rho_{\text{в}}$, $\rho_{\text{г}}$ – соответственно плотность воздуха и газа, кг/м³; $v_{\text{в}}$, $v_{\text{г}}$ – соответственно скорость потока воздуха и газовых струй, м/с;

- отношение суммы площадей наклонных и центральных газовых отверстий $\frac{\sum F_6}{\sum F_{ц}}$. При этом при работе на холодном воздухе это соотношение должно быть около 5, на подогретом – порядка 2,5;

- параметр заполнения объема K (характеризует интенсивность смешения по суммарной поверхности смешения)

$$K = \frac{(D_6^2 n + D_{ц}^2)}{4r'^2},$$

где $D_6 = 0,75h$ – диаметр боковых наклонных струй, принявших направление сносящего потока, м; h – глубина проникновения газовых наклонных струй, м; n – число наклонных отверстий; $r' = r + h + \frac{D_6}{2}$ – радиус максимальной глубины проникновения газовых наклонных струй, м; r – радиус, на котором расположены центры наклонных отверстий, м;

- диаметр центральной струи в месте разворота наклонных струй, м:

$$D_{ц} = 0,44 \left\{ d \left[\frac{1}{q} \left(\frac{r'}{d} \right)^{2,55} + \left(\frac{r'}{d} \right) \left(1 + \frac{2,5}{q} \right) \operatorname{ctg} \gamma \right] - l_{отв} \right\} + d_{ц},$$

где $d, d_{ц}$ – соответственно диаметр наклонных и центральных отверстий, м; γ – угол атаки наклонных струй; $l_{отв}$ – смещение центрального отверстия относительно наклонных, м;

- отношение длины камеры сгорания к диаметру L_K/D_K , оптимальным значением по практическим данным [3] считается величина 3–3,5 и отношение радиусов $\frac{r'}{r_0}$ с оптимумом около 0,5, где r_0 – радиус камеры сгорания.

Для горелки с данным газораспределением в выходном сечении камеры сгорания образуется струя с относительно равномерным

полем концентраций и температур. На выходе из горелки наблюдается короткий жесткий факел. Полное выгорание горючих компонентов при $L_{\text{к}}/D_{\text{к}} = 3,5$ происходит на расстоянии 5–7 калибров от среза сопла в зависимости от температуры воздуха; при этом энергетические параметры струи сохраняются на уровне, обеспечивающем высокий коэффициент теплоотдачи нагреваемому материалу. Максимум температуры продуктов сгорания находится на срезе сопла. Уменьшение $L_{\text{к}}/D_{\text{к}}$ до 2,5 приводит, с одной стороны, к увеличению температуры продуктов сгорания на расстоянии 3–4 калибров, но, с другой стороны, не достигается полное выгорание газа в указанных сечениях. Подогрев воздуха на 300 °С дает повышение температуры продуктов сгорания на 150–180 °С.

Фактическое теплонапряжение объема камеры сгорания на номинальном расходе (с учетом потерь) составило 70–80 МВт/(м³·ч), что является достаточно большим значением для камеры, работающей без предварительной подготовки газозвоздушной смеси. Получен расширенный диапазон регулирования по коэффициенту расхода воздуха ($\alpha = 0,8–1,5$) при устойчивом горении, что необходимо при автоматическом регулировании.

Было установлено [4], что для равномерности нагрева заготовок (в печах циклонно-вихревого типа) целесообразно создавать равномерно распределенную подачу греющих газов по длине рабочей камеры печи, что делает предпочтительным ввод греющих газов через щелевые сопла вдоль образующих камеры. Однако стойкость щелевых сопел в скоростных горелках намного меньше, чем в цилиндрических, поэтому ввод газов должен производиться через достаточно большое число круглых отверстий. Установлено также, что соотношения таких геометрических размеров, как диаметр камеры $D_{\text{к}}$, диаметр выходного отверстия (перезжима) $D_{\text{п}}$, диаметр заготовки d , суммарная площадь ввода (сопел горелок) $\sum f_{\text{вх}}$, соотношение длины и высоты выходного сопла оказывают наибольшее влияние на тангенциальную (вращательную) скорость вихревого потока $w_{\text{ф}}$ у поверхности заготовки.

Осевые скорости потока у поверхности заготовки в среднем на порядок меньше тангенциальных скоростей, поэтому в практических расчетах конвективной теплоотдачей от газов к заготовке за счет осевой составляющей скорости потока можно пренебречь.

Таким образом, на основании изучения конструктивных и технологических особенностей газогорелочных устройств струйного типа были выделены параметры, оказывающие основное влияние и требующие учета при разработке инженерных моделей теплообмена в печном пространстве печей струйного нагрева металла.

Основными задаваемыми параметрами для расчета печи являются: диаметр заготовки d ; угол атаки струи φ ; производительность печи G ; начальная и конечная температуры нагрева металла t'_m, t''_m ; удельная продолжительность нагрева Z ; расстояние от среза сопла до заготовки L_k ; динамический напор струи или скорость истечения газов; диаметр камеры D_k ; диаметр выходного отверстия (пережима) D_n ; суммарная площадь ввода (сопел горелок) $\sum f_{вх}$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тимошпольский, В. И. Возможности применения струйного нагрева металла перед прокаткой / В. И. Тимошпольский, И. А. Трусова, П. Э. Ратников // *Литье и металлургия*. – 2007. – № 2. – С. 63–66.
2. Скоростные горелки: разработка и эксплуатация / А. Л. Бергауз [и др.] // *Газовая промышленность*. – 1980. – № 3. – С. 55–57.
3. Бергауз, А. Л. Скоростная воздухоохлаждаемая горелка / А. Л. Бергауз, И. Н. Власова // *Теория и практика сжигания газа*. – М., 1981. – С. 84–88.
4. Бергауз, А. Л. Газовые печи скоростного конвективного нагрева / А. Л. Бергауз, М. А. Ротенберг // *Использование газа в народном хозяйстве*. – М.: ВНИИГазпром, 1978. – 60 с.