

ПРИМЕНЕНИЕ ПРИРОДНОГО ГАЗА В ЭЛЕКТРОДУГОВЫХ ПЕЧАХ МАЛОЙ ЕМКОСТИ*

Введение. Применение природного газа для интенсификации процесса плавления металлошихты в электродуговых печах большой емкости осуществляется уже на протяжении нескольких десятков лет. Вместе с тем в электродуговых печах малой емкости, широко распространенных в литейных цехах, данный элемент технологии практически не используется.

Помимо газогорелочных устройств для интенсификации плавки на дуговых сталеплавильных печах также широко применяется кислород. На большинстве заводов кислород в ванну электропечи вводят через рабочее окно с помощью трубок диаметром $\frac{1}{2}$ –1" или через водоохлаждаемую фурму [1]. Кроме окисления примесей ванны, кислород применяется для ускорения плавления шихты и предотвращения образования мостов. В процессе плавления электроды проплавляют в шихте колодцы, затем в нижней части шихта подплавляется и в печи образуется мост. Если при этом не принять своевременных мер, то происходит самопроизвольное обрушение шихты и куски скрапа касаются электродов.

Эффективным путем предотвращения образования мостов и устранения необходимости сталкивания шихты с откосов является подплавление шихты струей кислорода или газокислородной горелкой. Для этого через рабочее окно в печь вводится нефутерованная металлическая трубка длиной 5–7 м, диаметром $\frac{1}{2}$ – $\frac{3}{4}$ ", по которой кислород подается к месту образования моста, происходит его подплавление параллельно с плавлением шихты дугами. Продувка кислородом через рабочее окно производится через стационарный или переносной щиток, который устанавливают перед рабочим окном на период продувки.

Таким образом, основной целью работы является определение условий, при которых использование природного газа в электродуговых печах малой емкости наиболее оптимально.

Экономические предпосылки применения природного газа в электродуговых печах

Экономический эффект от применения топливных горелок в электродуговых печах можно упрощенно определить используя выражение

$$\mathcal{E} = \Delta Z_3 - Z_T - Z_0 - Z_{a.o} + \Delta Z_{в.м} + \Delta\Pi, \quad (1)$$

где \mathcal{E} – годовой экономический эффект, у.е.; ΔZ_3 – экономия затрат на электрическую энергию при использовании топливных горелок, у.е.; Z_T – затраты на топливо, у.е.; Z_0 – затраты на производство и доставку окислителя топлива, у.е.; $Z_{a.o}$ – затраты на амортизацию газового оборудования, у.е.; $\Delta Z_{в.м}$ – экономия вспомогательных материалов, у.е.; $\Delta\Pi$ – дополнительная прибыль, полученная в результате увеличения производительности агрегата, у.е.

Далее будем оперировать удельными величинами, отнесенными к тонне жидкой стали.

$$\mathcal{E}_1 = \frac{G_{газ} \cdot Q_H^p}{3,6} \cdot \frac{\eta_{газ}}{\eta_{эл}} \cdot C_{эл} - G_{газ} \cdot C_{газ} - G_{ок} \cdot C_{ок} - \frac{\%A \cdot C_o \cdot 1,1}{100 \cdot M} + \sum(m_{Mi} \cdot C_{Mi}) + \frac{\Delta\Pi}{M}, \quad (2)$$

где $G_{газ}$ – удельный расход природного газа, м³/т; Q_H^p – низшая рабочая теплота сгорания природного газа, МДж/м³; 3,6 – коэффициент перевода МДж в кВт·ч; $\eta_{газ}$ – коэффициент полезного использования газа; $\eta_{эл}$ – коэффициент полезного использования электрической энергии; $C_{эл}$ – стоимость электрической энергии, у.е./(кВт·ч); $C_{газ}$ – стоимость природного газа, у.е./м³; $G_{ок}$ – удельный расход окислителя, м³/т; $C_{ок}$ – стоимость окислителя, у.е./м³; %A – процент амортизации газового оборудования; C_o – стоимость установленного газового оборудования, у.е.; 1,1 – коэффициент, учитывающий затраты на обслуживание газового оборудования; M – годовой выпуск жидкой стали, т; m_{Mi} – масса сэкономленного i -го материала, кг/т; C_{Mi} – стоимость i -го материала, у.е./кг;

$$\eta_{\text{газ}} = \left(1 - \frac{(V_{\text{п.с}} \cdot c_{\text{п.с}} \cdot t_{\text{п.с}} + q_{\text{хим}})}{Q_{\text{н}}^{\text{п}}} \right),$$

где $V_{\text{п.с}}$ – объем продуктов сгорания, $\text{м}^3/\text{м}^3$; $c_{\text{п.с}}$ – теплоемкость продуктов сгорания, $\text{МДж}/(\text{м}^3 \cdot \text{К})$; $t_{\text{п.с}}$ – температура продуктов сгорания, $^{\circ}\text{C}$; $q_{\text{хим}}$ – химический недожог, $\text{МДж}/\text{м}^3$;

Коэффициент полезного использования газа и коэффициент полезного использования электрической энергии содержат только потери индивидуальные для данных источников теплоты. Для сжигаемого газа это потери с продуктами сгорания, а для электрической энергии – потери в короткой сети. Тепловые потери через подину, футеровку, водоохлаждаемые элементы печи, с газами, образующимися в результате окисления элементов металлошихты и т.д. будем относить к тепловому КПД процесса плавки $\eta_{\text{т}}$, который присутствует в обоих случаях, а, следовательно, в формуле (2) сокращается.

Рассмотрим три случая применения природного газа в электродуговых печах: сжигание газа с использованием кислорода, сжигание газа в высокоскоростных горелках с использованием воздуха, сжигание газа с использованием подогретого воздуха. Будем считать, что выбранный коэффициент избытка окислителя обеспечивает полное сгорание, и химический недожог в дальнейшем будем принимать равным нулю.

Для анализа технико-экономических показателей в расчетах использованы следующие данные: стоимость 1 кВт·ч электрической энергии – 0,133 у.е.; стоимость 1 м^3 природного газа – 0,270 у.е.; стоимость 1 м^3 технического кислорода – 0,134 у.е.; затраты на установку горелок, газовой обвязки печи и системы управления принимались в зависимости от емкости печи (например для печи с годовым выпуском 100 тыс. т – 250 тыс. у.е.); температура продуктов сгорания принята на 200 $^{\circ}\text{C}$ выше температуры поверхности металлошихты; коэффициент рекуперации равен 0,65 (т.е. при температуре продуктов сгорания равной 1000 $^{\circ}\text{C}$, температура подогретого воздуха равна 650 $^{\circ}\text{C}$; коэффициент полезного использования электрической энергии $\eta_{\text{эл}} = 0,93$;

На рисунке 1 представлены результаты расчета экономического эффекта при использовании топливных горелок в зависимости от температуры металлошихты.

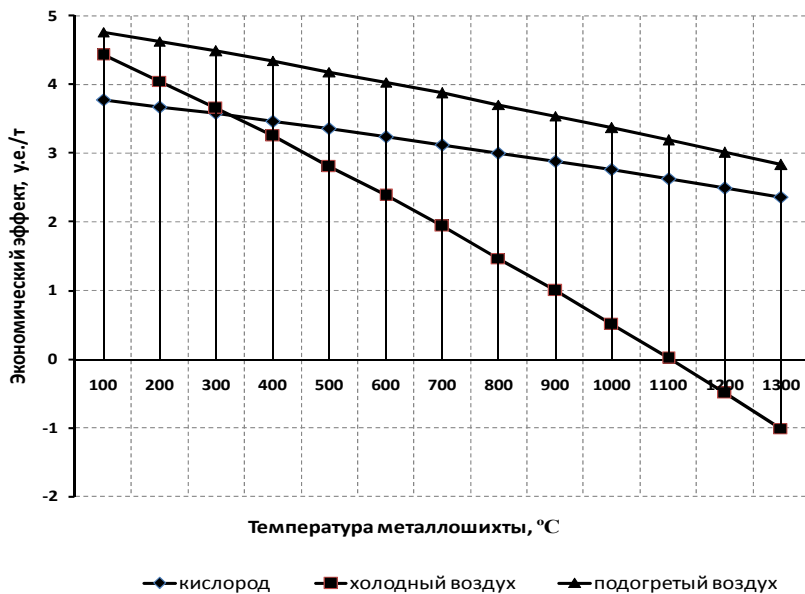


Рисунок 1 – Экономический эффект применения в электродуговой печи природного газа в количестве 5 м³/т применительно к печи производительностью 100 тыс. т в год (емкость 25–50 т)

Так как экономический эффект применения горелочных устройств зависит от емкости печи, то в качестве исходных данных второго варианта была выбрана печь литейного класса емкостью 5 т с годовой производительностью 12 000 т. В этом случае затраты на установку горелок, газовой обвязки печи и системы управления принимались равными 80 тыс. у.е.

Результаты расчета при использовании в качестве окислителя кислорода или воздуха представлены на рисунке 2.

Сравнительный анализ рисунков 1 и 2 свидетельствует о том, что применение горелок на печах литейного класса менее эффективно, чем на металлургических печах большой емкости.

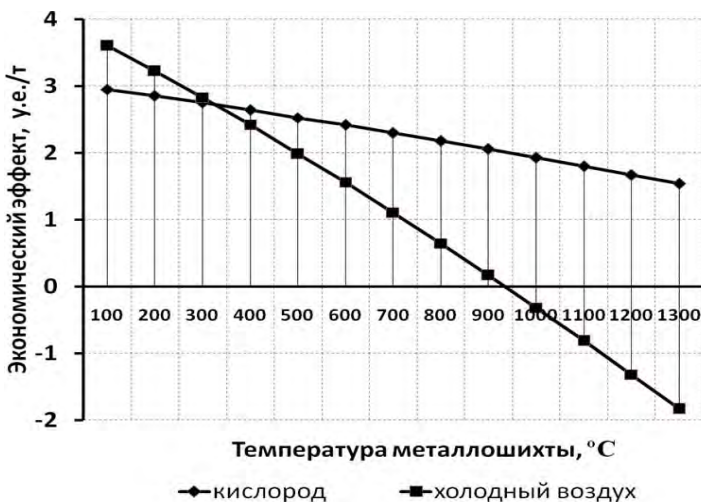


Рисунок 2 – Экономический эффект применения в электродуговой печи природного газа в количестве 5 м³/т применительно к печи производительностью 12 тыс. т в год (емкость печи 5 т)

Для повышения эффективности работы горелочных устройств необходимо стремиться к тому, чтобы температура поверхности кусков металлошихты, участвующих в теплообмене, была близка к среднемассовой температуре завалки.

Поворот горелки в процессе ее работы позволяет устранить локальный перегрев металлошихты и, следовательно, снизить температуру продуктов сгорания, покидающих печь, что в свою очередь позволяет обеспечить большую эффективность работы газовой горелки и получить больший экономический эффект.

Результаты проведенных расчетов свидетельствуют о том, что экономический эффект от простой замены части электрической энергии теплотой топлива составляет небольшую величину, поэтому несмотря на его положительную величину следует в первую очередь прорабатывать мероприятия, связанные с организацией производства, а не реконструкцией печей. Однако в случае стабильной работы печи с полной загрузкой и необходимости повышения производительности использование природного газа, позволяющего обеспечить повышение производительности в определенных пределах, предпочтительно.

При использовании кислорода в качестве окислителя (с учетом текущих цен на энергоносители) применение природного газа оправдано до температур плавления металлошихты и даже выше, хотя использование горелок при высокой температуре металлошихты обеспечивает незначительное поглощение теплоты металлом, а, следовательно, и необходимы небольшие расходы газа, при увеличении которых неизбежен рост температуры продуктов сгорания и снижение коэффициента полезного использования природного газа. Таким образом, при использовании горелок необходимо стремиться к тому, чтобы температура продуктов сгорания была близка к температуре металлошихты, т.е. расход природного газа по ходу процесса плавки необходимо уменьшать, вплоть до отключения при расплавлении металлошихты. То же касается использования в качестве окислителя «холодного» воздуха, но в этом случае горелки необходимо отключать до достижения температуры металлошихты равной 800–1000 °С.

Полученные результаты можно распространить на весь диапазон от 5 м³/т до 10 м³/т. При дальнейшем увеличении расхода газа будет несколько снижаться коэффициент его полезного использования, который зависит от теплообмена продуктов сгорания с металлошихтой.

Как было показано выше, применение горелок на печах литейного класса менее эффективно, чем на металлургических печах большой емкости, поэтому следует рассмотреть особенности применения средств интенсификации плавки в печах различной емкости.

Анализ показал, что системы, применяемые для интенсификации процесса плавки, состоят из оборудования, незначительно различающегося в зависимости от мощности печей, на которых их применяют. Однако на эффективность их применения принципиальное значение оказывает относительная стоимость отдельных составляющих, к которым относятся фурмы, горелочные устройства, бункеры, компрессоры, электродвигатели, клапаны и другие элементы, составляющие капитальные затраты и входящие в представленные выше зависимости. Из прайсов, предоставляемых различными производителями газового оборудования, электродвигателей и автоматики, следует, что относительная стоимость комплектующих существенно зависит от их мощности (рисунок 3), что необходимо учитывать при анализе возможности использования систем интенсификации плавки.

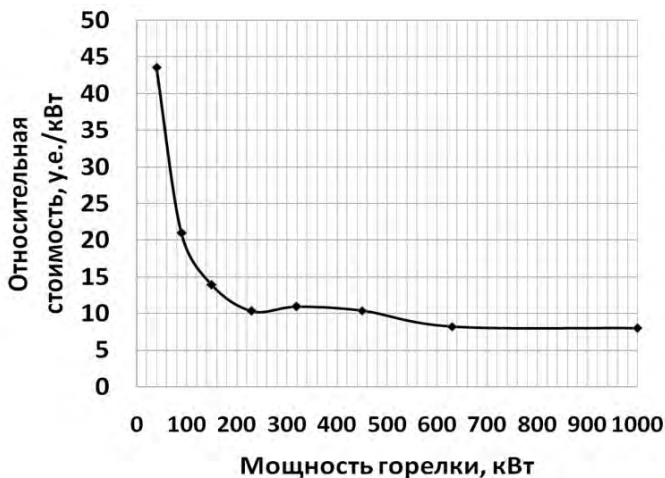


Рисунок 3 – Зависимость относительной стоимости горелочных устройств от их тепловой мощности

Например, 4 горелки суммарной мощностью 200 кВт будут стоить в 3,1 раза дороже чем 1 горелка мощностью 200 кВт.

На рисунке 4 представлен график зависимости относительной стоимости электрического оборудования от его мощности, построенный по данным прайса на оборудование [2].

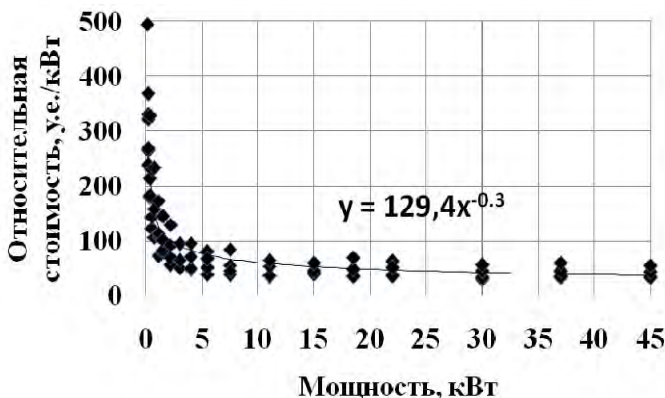


Рисунок 4 – Зависимость относительной стоимости общепромышленных электродвигателей типа АИР от их мощности

Приведенные зависимости показывают, что установка оборудования небольшой мощности менее эффективна, поэтому применение систем интенсификации плавки на крупных металлургических агрегатах получило значительно большее распространение чем на небольших печах.

Технические решения по применению средств интенсификации плавки в электродуговых печах малой емкости

Для поиска наиболее эффективного способа применения природного газа в электродуговых печах малой емкости было проанализировано оборудование для его подачи в печь. Учитывая представленные выше выводы, расположение горелочных устройств в стенах печи для электродуговых печей малой емкости следует признать нерациональным. Поэтому далее рассматривались конструкции с вводом фурм или горелочных устройств в рабочее пространство печи через технологическое окно. Например, известно устройство для кислородной продувки стали в дуговой печи [3], содержащее водоохлаждаемую фурму, кронштейн, опорно-поворотный узел, на валу которого установлено тормозное устройство. Известно также устройство для установки газокислородной горелки в рабочее окно электропечи, содержащее щит с горелкой, поворотный кронштейн, выполненный из двух рычагов, один из которых шарнирно закреплен на стационарной колонне, а на другом установлена газокислородная горелка [3]. Недостатком всех рассмотренных способов и оборудования является то, что указанные устройства требуют большого количества кислорода и применяют их на высокомошных печах, относящихся к металлургическому производству, где кислород получают на крупных газокислородных станциях.

Однако при отсутствии достаточного количества технического кислорода эффект от интенсификации процесса плавки можно получить, используя в качестве окислителя для горения природного газа воздух. Общим недостатком использования в качестве окислителя воздуха является существенное снижение эффективности использования топлива при высоких температурах металлошихты, вследствие уноса большей части энергии с продуктами горения.

Целью предлагаемого способа интенсификации плавки является повышение эффективности и надежности работы горелочных устройств в электродуговых печах малой емкости, которое достигается

за счет оперативного разрушения мостов, образующихся при сваривании металлошихты, и обеспечение отсутствия отражения факела от металлошихты за счет обогащения воздуха кислородом на время прожигания, а также согласование расхода природного газа и положения факела в рабочем пространстве печи со временем, прошедшим от начала плавки. Поставленная цель достигается тем, что конструкция горелочного устройства обеспечивает дополнительный подвод кислорода, а также имеет возможность перемещения сопла в вертикальной и горизонтальной плоскости для максимального охвата рабочего пространства печи.

Для лучшего восприятия предлагаемого способа и конструкции она поясняется рисунками 5–7.

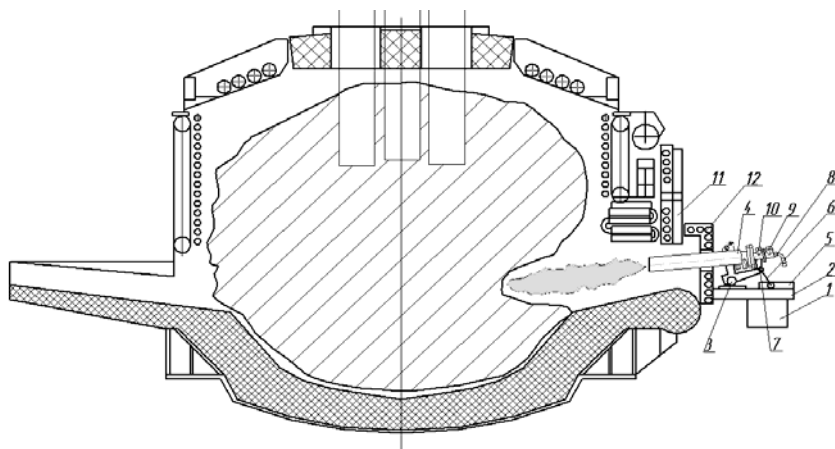


Рисунок 5 – Расположение оборудования, вид сбоку

Устройство для установки газокислородной горелки содержит манипулятор 1, на котором устанавливается портал 2, к которому через шарнир 3 крепится горелка 4. Для обеспечения поворота горелки в вертикальной и горизонтальной плоскости на портале 2 установлены две электромеханические рейки 5, соединенные тягами 6 с рычагами 7, закрепленными на горелке. На горелке имеется подвод топлива (природного газа) 8, подвод воздуха для горения 9, а также подвод кислорода 10 для прожигания металла и повышения

температуры горения. Также горелка имеет подвод и отвод охлаждающей воды. Рабочее окно печи имеет водоохлаждаемую заслонку 11. Для защиты от брызг металла, искр и газов имеется водоохлаждаемый либо футерованный волокнистыми высокоогнеупорными материалами щиток 12.

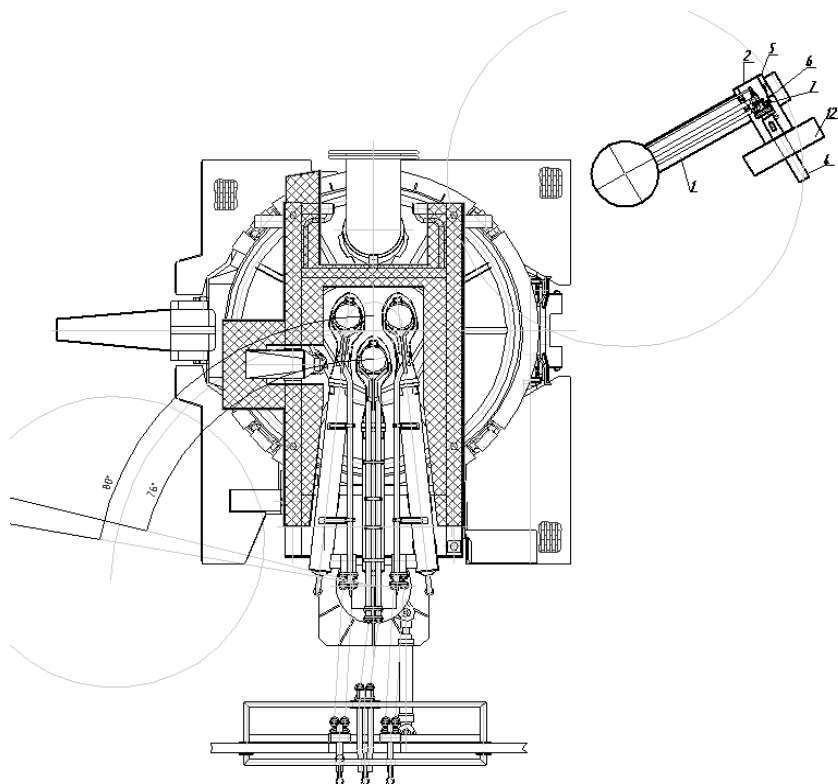


Рисунок 6 – Расположение оборудования в исходной позиции, вид сверху

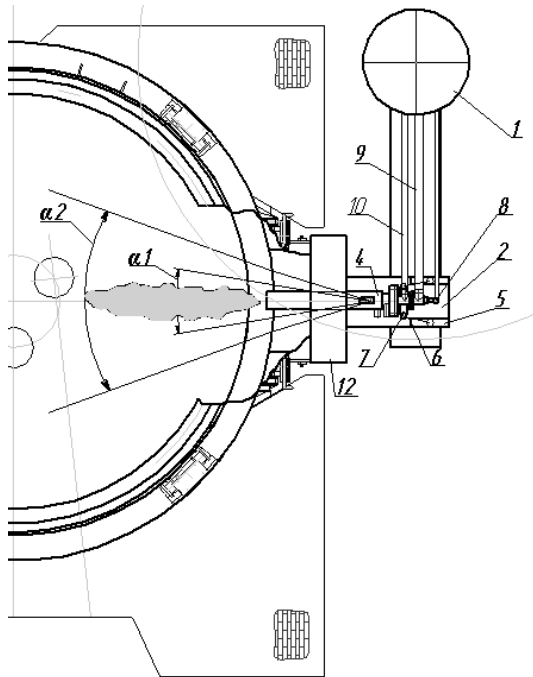


Рисунок 7 – Расположение оборудования в рабочей позиции, вид сверху

Устройство работает следующим образом: после загрузки печи металлошхтой поворотный манипулятор 1 занимает рабочее положение, закрывая щитком 12 проем рабочего окна. Включается подача природного газа и воздуха и запускается процесс горения. Горелка выполняется поворотной с распределением времени по периодам работы в следующем соотношении: $\frac{1}{4}$ времени работы горелка располагается в центре рабочего окна печи, совершает качающиеся движения на небольшой угол около 10° в каждую сторону; расход газа при этом максимальный, ток в печи выключен. При необходимости происходит использование кислорода для прожигания необходимой зоны возле рабочего окна или прожигания металлошхты, от которой отражается факел; $\frac{2}{4}$ времени горелка совершает движения на максимальный угол для прогрева максимальной площади металлошхты с расходом 80 % от максимального с

постепенным уменьшением по ходу плавки до 40 % от максимального одновременно с плавкой электрическими дугами; заключительные $\frac{1}{4}$ времени горелка работает с минимальным расходом газа и максимальным обогащением дутья кислородом, а далее отключается, убирается из проема рабочего окна, которое закрывается заплонкой.

Таким образом, использование предлагаемого способа и конструкции позволит интенсифицировать процесс плавки и использовать природный газ с высокой эффективностью.

Технический эффект при использовании данного способа заключается в обеспечении условий наибольшей эффективности передачи теплоты от продуктов сгорания природного газа к металлошихте. Указанные преимущества достигаются за счет повышения коэффициента использования топлива, так как обеспечивается минимальная температура продуктов сгорания, покидающих печь при одновременно высокой скорости нагрева металлошихты.

Заключение. В работе представлен анализ причин, сдерживающих внедрение средств интенсификации плавки в виде оборудования сжигания топлива в электродуговых печах малой емкости. Проанализированы условия, при обеспечении которых достигается максимальный эффект от применения природного газа. Предложены конструктивные решения, позволяющие максимально эффективно использовать топливо и кислород для интенсификации плавки стали в электродуговых печах малой емкости.

Литература

1. **Азиков, Б.А.** Механизация работ в электросталеплавильных цехах / Б.А. Азиков, И.Ю. Зинуров. – М.: Металлургия, 1982. – 66 с.

2. [**Электронный ресурс**]. URL: Режим доступа : <http://www.agregat-nasos.spb.ru/price.shtml>. – Дата доступа : 05.09.2013.

3. **Устройство** для установки газокислородной горелки в рабочее окно электропечи : пат. РФ на изобретение № 2050523, МПК F27B (F27B3/08, F27B3/22) / Я.Ф. Конозов, В.М. Свекров, В.Н. Ардашев ; патентообладатель: Акционерное общество «Кузнецкий металлургический комбинат»; заявл. 02.03.92 ; опубл. 20.12.95.