

3. При получении после расплавления заданного марочного содержания углерода можно исключив кип экономить значительное количество марганецсодержащих ферросплавов (около 50 % по сравнению с плавкой с окислением)

4. Исключение окислительного периода из процесса плавки позволяет до 30 % сократить время плавки и соответственно снизить расход электроэнергии на плавку.

Список использованных источников

1. Поволоцкий Д.Я. Выплавка легированной стали в дуговых печах / Д.Я. Поволоцкий, Ю.А. Гудим. – М.: Metallurgy, 1987. – 136 с.
2. Крамаров А.Д. Производство стали в электропечах / А.Д. Крамаров. – М.: ГНТИ ЧИЦМ, 1958. – 439 с.
3. Тодоров Р.П. Дефекты в отливках из черных сплавов / Р.П. Тодоров, П.Ц. Пешев. – М.: Машиностроение, 1984. – 184 с.
4. Сойфер В.М. Дуговые печи в сталелитейном цехе / В.М. Сойфер, Л.Н. Кузнецов. – М.: Metallurgy, 1989. – 176 с.

УДК669.187

Лубяной Д.А.^{1,2}, Переходов В.Г.⁵, Карашкевич Б.Н.¹, Барыльников В.В.², Лубяной Д.Д.², Шевченко С.Ю.³, Лубяная С.В.⁴, Черепанов А.Г.⁵

¹ ООО «Гидромаш», г. Новокузнецк, Россия;

² НФИ ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», г. Новокузнецк, Россия;

³ ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», г. Москва, Россия;

⁴ ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», г. Томск, Россия;

⁵ ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК», г. Новокузнецк, Россия

РЕСУРСО- И ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ РАЗЛИЧНЫХ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ОТХОДОВ В ИНДУКЦИОННЫХ ПЕЧАХ С ДАЛЬНЕЙШЕЙ ВНЕПЕЧНОЙ ОБРАБОТКОЙ

Аннотация

В статье приведен обзор технологий выплавки чугуна в индукционных печах с различной частотой при полном и неполном заполнении тигля. Показаны широкие возможности индукционных печей в получении чугуна из различной шихты с узкими пределами по химическому составу и в проведении термовременной обработки расплава. Индукционная плавка, при неполном заполнении тигля, позволяет значительно интенсифицировать процессы раскисления шлака при его взаимодействии с углеродом металла. При этом значительно снижается содержание кислорода, водорода, азота и серы в чугуне. Оценки коэффициента массопереноса показали, что его величина в индукционных печах средней частоты на порядок выше, чем в печах промышленной частоты. Это позволяет рассматривать индукционную печь средней частоты как универсальный плавильный агрегат для производства отливок высокого качества с минимальными затратами. На ОАО «ЗСМК» широко применяется продувка расплава чугуна методом резонансно-пульсирующего рафинирования. Установлено, что длительная продувка чугуна азотом приводит к образованию в расплаве включений нитридов и карбонитридов титана. Они служат подложками для образования графита. Продувка обеспечивает их равномерное распределение в объеме металла.

© Лубяной Д. А., Переходов В. Г., Карашкевич Б. Н., Барыльников В. В., Лубяной Д. Д., Шевченко С. Ю., Лубяная С. В., Черепанов А. Г., 2018

Ключевые слова: индукционная печь, десульфурация, деазотирование, кислый шлак, продувка азотом, чугуны, включение.

Abstract

The article provides an overview of cast iron smelting technologies with complete or partial filling of crucibles in induction furnaces with different frequencies. Considerable capability of induction furnaces is shown in production of cast iron within narrow limits on the chemical composition and in thermal processing of the melt. If the crucible is partially filled the induction melting allows significant intensifying the slag deoxidation process during its interaction with carbon contained in the metal. This leads to considerable reduction in concentrations of oxygen, hydrogen, nitrogen and sulfur in cast iron. Evaluations of the mass transfer coefficients have revealed that their values are much higher in the medium frequency furnaces in comparison with the commercial frequency ones. This permits us to consider medium frequency induction furnaces as universal melting units for production of high quality castings with minimal costs. The blowing of molten cast iron by resonant-pulsed refining is widely applied at JSC "ZSMK". It was found that prolonged blowing of cast iron by nitrogen leads to the formation inclusions of nitrides and carbonitrides of titanium in the melt. They serve as substrates for graphite formation. Blowing ensures their uniform distribution in volume of the metal.

Key words: induction furnace, desulfurization, denitration, acid slag, nitrogen blowing, cast iron, inclusions.

В настоящее время актуальна переработка металлургических отходов (корольков чугуна и стали шлаковых отвалов, переработка лома поддонов и изложниц, и т.д.) с целью снижения себестоимости продукции и расхода электроэнергии при производстве отливок. Для данных типов отходов характерно повышенное содержание серы, фосфора, нестабильная структура изделий из чугуна, полученного из разнородной шихты, повышенное газосодержание металла, полученного из недостаточно просушенной шихты.

Для получения продукции высокого качества необходимо решить следующие задачи: 1. Оработка комплекса технологий, позволяющих перерабатывать разнородную шихту, оценка влияния компонентов шихты на технико-экономические показатели плавки чугуна. 2. Разработка способа снижения содержания серы в кислых индукционных электропечах и реализация данных технологических приемов в промышленных печах. 3. Разработка технологических приемов увеличения, уменьшения содержания фосфора в чугуне, отработка способа нейтрализации вредного влияния фосфора в сером чугуне. 4. Стабилизация структуры и свойств чугуна индукционной плавки оптимальными режимами термовременной обработки расплава. 5. Стабилизация газосодержания металла перед заливкой изделий.

Вышеперечисленные задачи решались параллельно-последовательно. Первоначально отработывалась технология переработки лома в кислых индукционных печах с режимами термовременной обработки. Была отработана технология выплавки полусинтетического чугуна, включающая переработку как чугуна, так и стального лома. Влияние состава шихтовых материалов на технико-экономические показатели процесса плавки обобщены в работе [1].

Данная технология отличалась пониженными энергетическими затратами и получением отливок со стабильной микроструктурой и механическими свойствами чугуна и эксплуатационными показателями изделий из данного чугуна [2]. Столь высокие показатели изделий обусловлены главным образом применением в этой технологии режимов термовременной обработки расплава (ТВО). Методики определения оптимальных температурных режимов базировались на подходах школы Баума Б.А. [3]. Внедрение данных режимов позволило значительно повысить качество и эксплуатационную стойкость изделий при низкой себестоимости продукции. Отмечено, что индукционная плавка, при неполном заполнении тигля, позволяет значительно интенсифицировать процессы раскисления шлака при его взаимодействии с углеродом металла. При этом значительно снижается содержание кислорода, водорода, азота и серы в чугуне.

Повышение свойств изделий за счет ТВО позволило значительно снизить количество легирующих добавок и перейти на производство изделий из экономнолегированного чугуна, снизив расход ферросилиция с 25,6 кг до 12,9 кг, а ферросиликомарганца с 7,4 кг до 4,27 кг на тонну чугуна на производство продукции [4]. В последнее время актуальным становится получение отливок из высокопрочного чугуна. С известными событиями на Украине поставки низкосернистого чугуна в Россию проблематичны. В г. Новокузнецке разработаны [5,6] и внедрены в производство экстракционные технологии получения низкосернистого чугуна в кислых индукционных электропечах. Данные технологии освоены и внедрены на ИЧТ–10 и ИСТ–1, в индукционной печи средней частоты MFT Ge6.000.

Оценки коэффициента массопереноса показали, что его величина в индукционных печах средней частоты на порядок выше, чем в печах промышленной частоты. Это позволяет рассматривать индукционную печь средней частоты как универсальный плавильный агрегат для производства отливок высокого качества с минимальными затратами.

Эти технологии позволяют снизить содержание серы с исходных 0,070...0,085 %, получаемых при переплаве корольков и скрапин из шлака до уровня 0,015...0,033 % (рис. 1), что вполне приемлемо для внедрения лигатур при получении высокопрочного чугуна. Требуемое содержание фосфора в полупродукте для получения высокопрочного чугуна достигается низкофосфористым стальным ломом.



Рис. 1. Заливка чушек низкосернистого чугуна

Термостойкость отливок из фосфористого чугуна достигается образованием термостойких фосфидов титана и ванадия [7–9], при этом титан и ванадий попадает в чугун из ванадийсодержащих руд. При этой обработке установлено, что эксплуатационная стойкость изделий не только не снижается, а даже увеличивается. На качество изделий и плотность отливок сказывается и газосодержание. Задача снижения газосодержания в чугуне при производстве чугуна из отходов решается с применением методов термовременной и внепечной обработок чугуна. Для эффективного модифицирования чугуна применяются нанопорошки [10]. Технология изготовления этих порошков очень сложна и энергоемка, требует наличия планетарных мельниц. Однако образование подложек для модифицирования можно произвести и другими методами, в частности за счет образования нитридов титана, образующимися при продувке чугуна азотом, впервые рассмотренными в работе [2]. Было установлено, что при длительной продувке в расплаве методом резонансно-пульсирующего рафинирования генерируются в достаточном количестве неметаллические включения – нитриды и карбонитриды титана. Они служат подложками для образования графита (рис. 2).

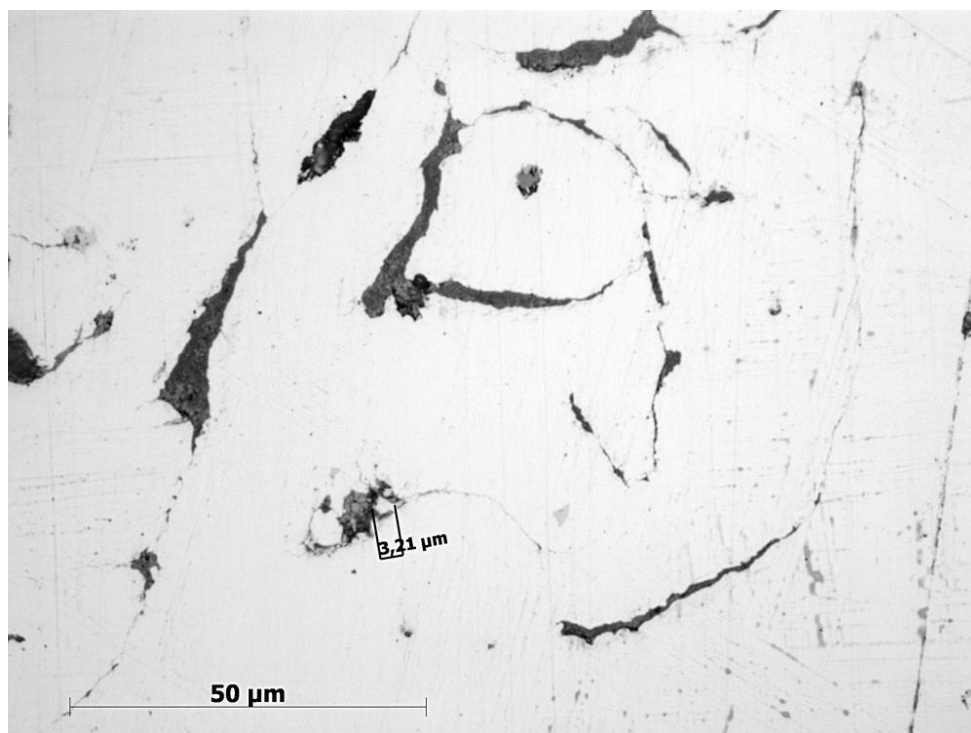


Рис. 2. Подложка карбонитридов инициирует образование графита

Оценочные измерения показали, что размер включений составляет 200...400 нм. Для равномерного распределения частиц в объеме ковша в цехе изложниц обработку чугуна азотом совмещают с низко- и высокочастотной обработкой расплава специальными фурмами (рис. 3).

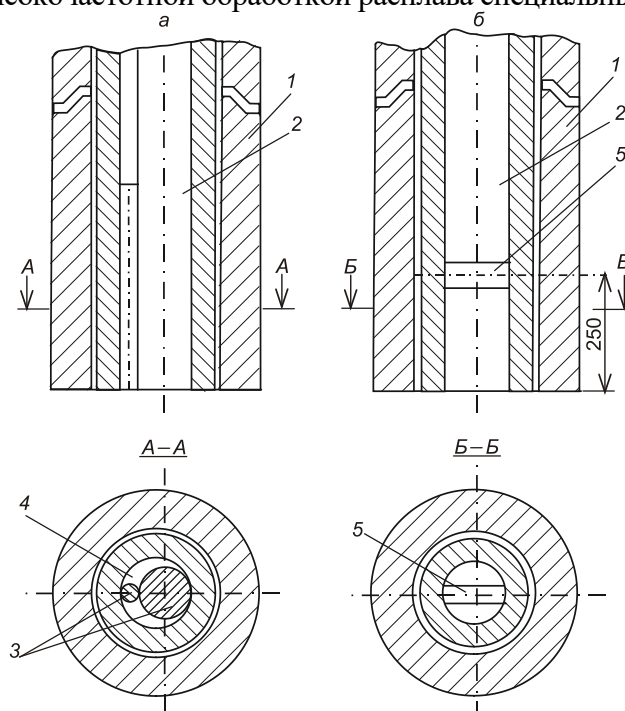


Рис. 3. Схема фурм с серповидным соплом (а) и соплом с цилиндрическим пульсатором (б): 1 – огнеупорная труба; 2 – стальная труба для подачи газа; 3 – фурменный наконечник со стержнем; 4 – серповидная щель; 5 – цилиндрический пульсатор

В практике удалось совместить положительное влияние продувки аргоном и наложение колебаний на жидкий металл. Это совмещение успешно реализовано в технологии резонансно-пульсирующего рафинирования металла (РПР) [7, 8]. Данная технология включает в себя продувку азотом через фурму (полая труба) с пульсатором, футерованная с

наружи огнеупорными изделиями ШСП–32 /5/250 по ГОСТ 5500–2001. Температура начала размягчения изделий не ниже 1320 °С. Температура обработки расплава чугуна находится в интервале 1270–1190 °С, т.е. значительно ниже температуры размягчения огнеупоров. Данная конструкция и используемые огнеупоры оптимальны в соотношении цена – качество. Стойкость огнеупоров позволяет обрабатывать 20–24 плавки в 60 тонных ковшах с чугуном данным способом. Данная технология успешно реализована на чугуне доменной и индукционной плавки металла (рис. 3, б).

Как свидетельствуют результаты экспериментов, чем больше удаляется титана в процессе продувки, тем больше образуется неметаллических включений и тем равномернее (при прочих равных условиях) распределение графита и основы в структуре чугуна. Продувка чугуна азотом в заданных режимах, как показали исследования, значительно измельчает размер нитридов титана, ведет к уменьшению их размера, более равномерно распределяет их в объеме основы и в фосфидной эвтектике. Оценка микроструктуры показала, что после продувки чугуна техническим азотом, при которой удаляется порядка 0,03...0,06 % титана, образуется значительное количество нитридов и карбонитридов титана, которое обеспечивает равномерное распределение графита в структуре чугуна. При недостаточном количестве подложек для образования (при продувке недостаточной продолжительности) образуются крупные графитовые включения, нитриды распределены менее равномерно, как в основе, так и в фосфидной эвтектике, что способствуют образованию крупных трещин и разрушению изложниц и шлаковых чаш. Наличие достаточного количества подложек для образования графита обеспечивает получение благоприятной микроструктуры чугуна с равномерно распределенным графитом среднего размера и матрицы без дендритной структуры. Таким образом, образование большого количества неметаллических включений при продувке, как было отмечено и ранее [11] благоприятно сказывается на микроструктуре чугуна и на эксплуатационной стойкости изложниц и шлаковых чаш [12–15].

Измерения показали, что содержание азота после продувки находится на уровне, превышающем 0,002...0,003 % и свидетельствует о том, что нитриды будут образовываться. Подтверждением данных является тот факт, что содержание титана, с одной стороны, при продувке постоянно снижается и образующиеся нитриды удаляются в шлак, а с другой стороны часть нитридов, которые не успели всплыть в шлак, остаются в чугуне, скапливаются в фосфидной эвтектике и основе чугуна, что и подтверждается металлографическими исследованиями. Эксплуатационный расход изложниц на ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК» за период 2007–2016 г. был на самом низком в СНГ уровне (11,98–12,05 кг на тонну стали) и был на уровне Японии перед переходом этой страны на непрерывную разливку стали. Отметим то, что столь низкий показатель был достигнут в Японии несколькими ремонтами, применением для отливки части изложниц высокопрочного чугуна, а на ОАО «ЗСМК» только повышением качества серого чугуна [1–6]. Отметим, что и в последние годы доля специальных сталей, разливаемых в слитки в Японии не только не снизилась, но и увеличилась [16], потому что не все изделия (валы для турбин, корпуса реакторов и др.) можно получать из непрерывно-литой заготовки [17].

Столь успешное применение данной технологии позволяет рекомендовать данный способ для рафинирования не только черных, но и цветных сплавов. Была разработана программа для расчета параметров продувки ковшей различной емкости для различных сплавов. Сама конструкция фурм выбирается с помощью математической модели, реализованной в Excel [18]. Зная геометрические параметры ковша, программа выдает оптимальные параметры продувки (расход инертного газа, обеспечивающего наибольший эффект рафинирования металла, параметры фурмы и пульсатора в фурме). Применение данной сравнительно простой технологии, как показал многолетний опыт ее практического использования, позволяет значительно повысить качество литья, снизить расход аргона или азота, повысить усвоение ферросплавов при внепечной обработке.

Выводы: данные ресурсо- и энергосберегающие технологии переработки отходов обеспечивают получение чугунных изделий высокого качества.

Список использованных источников

1. Повышение стойкости поддонов из чугуна индукционной плавки / Б.А. Кустов, В.И. Чичков, Д.А. Лубяной [и др.] // Сталь. 1989. №6. С. 28–30.
2. Повышение эффективности производства сталеразливочного оборудования из чугуна / Д.А. Лубяной, А.Н. Дробышев, Ю.Н. Самсонов [и др.] // Сталь. 1994. №6. С. 40–41.
3. Термовременная обработка расплава чугуна / В.С. Цепелев, И.Ф. Селянин, Д.А. Лубяной, Б.А. Баум [и др.] // Сталь. 1995. №5. С. 42–45.
4. Разработка и внедрение экономнолегированных чугунов доменной и индукционной плавки для термостойких отливок / Д.А. Лубяной, В.В. Требинская, С.В. Лубяная, В.Я. Чинокалов [и др.] // Бюллетень научно-технической и экономической информации. 2014. № 6. С. 59–63.
5. Лубяной Д.А. Анализ механизма и кинетики десульфурации чугуна в кислых индукционных печах промышленной и средней частоты // Литейщик России. 2006. № 12. С. 22–25.
6. Лубяной Д.А. Анализ металлургических возможностей индукционных печей промышленной и средней частоты / Д.А. Лубяной, С.В. Лубяная // Проблемы черной металлургии и материаловедения. 2013. № 4. С. 36–39.
7. Технология нейтрализации вредного влияния фосфора в чугуне термостойких отливок / Д.А. Лубяной, А.Ф. Софрошенков, И.А. Синявский [и др.] // Изв. вузов. Черная металлургия. 1999. № 10. С. 47–50.
8. Механизм нейтрализации вредного влияния фосфора в термостойких чугунных отливках / Д.А. Лубяной, А.Ф. Софрошенков, И.А. Синявский [и др.] // Изв. вузов. Черная металлургия. 2000. №12. С. 29–31.
9. Фосфористые чугуны для термостойких отливок / Д.А. Лубяной, В.В. Горкавенко, Э.С. Макаров [и др.] // Металловедение и термическая обработка металлов. 2002. № 10. С. 37–38.
10. Совершенствование технологии производства термостойких чугунных отливок / Д.А. Лубяной, А.А. Попов, Э.С. Макаров [и др.]. // Сталь. 2004. №5. С. 30–32.
11. Разработка химического состава экономно легированного чугуна / Д.А. Лубяной, В.И. Чичков, Ю.Н. Самсонов [и др.] // Литейщик России. 2004. № 7. С. 19–20.
12. Упрочнение металлических, полимерных и эластомерных материалов ультрадисперсными порошками плазмохимического синтеза / М.Ф. Жуков, И.Н. Черский, А.Н. Черепанов [и др.]. – Новосибирск: Наука. Сибирская издательская фирма РАН, 1999. – 312 с.
13. Тен Э.Б., Воробьев А.П. Влияние продувки азотом на первичную кристаллизацию чугуна // Изв. вузов. Черная металлургия. – 1994. – № 7. – С. 54–58.
14. Леви Л.И. Азот в чугуне для отливок. – М.: Машиностроение, 1964. – 227 с.
15. Влияние внепечной обработки на микроструктуру и свойства доменного чугуна, применяемого для литья изложниц и шлаковых чаш / Д.А. Лубяной, В.В. Требинская, В.Л. Чубейко [и др.] // Литейщик России. 2006. № 6. С. 25–29.
16. Софрошенков А.Ф. Внедрение ресурсосберегающих технологий производства термостойкого чугуна / А.Ф. Софрошенков, Д.А. Лубяной, И.А. Синявский // Изв. вузов. Черная металлургия. 2005. № 6. С. 45–47.
17. Лубяной Д.А. Влияние технологии выплавки и внепечной обработки чугуна на эксплуатационную стойкость изложниц для кузнечных слитков / Д.А. Лубяной, В.В. Требинская, В.В. Андреев // Заготовительные производства в машиностроении. 2005. № 8. С. 3–5.
18. Развитие производства и технологий в черной металлургии Японии в 2015 г. ОАО «Черметинформация» Новости черной металлургии за рубежом. №1. 2017. С. 50–57.
19. Шаповалов В.А., Цыкуленко К.А. Качество крупнотоннажных слитков, отливаемых в изложницы (Аналитический обзор) // Современная электрометаллургия. 2013. № 1. С. 58–65.

20. Об оптимальной конструкции фурм и стойкости огнеупорных изделий для них при продувке доменного чугуна / Д.А. Лубяной, В.Г. Переходов, А.Г. Черепанов, Ю.А. Арканова [и др.] // Новые огнеупоры. 2017. № 3. С. 71–72.

УДК 669:536

В. И. Матюхин¹, Ю. Г. Ярошенко¹, А. В. Матюхина¹, В. А. Дудко¹, С.Е. Пуненков²

¹ ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет

имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия;

² ОАО «Ураласбест», г. Екатеринбург, Россия

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ВЫПЛАВКИ ЧУГУНА В ШАХТНЫХ ПЕЧАХ ВАГРАНОЧНОГО ТИПА

Аннотация

С целью сокращения расхода кокса в шахтной печи ваграночного типа с открытым или закрытым колошником дополнительно используют природный газ. Его сжигание с помощью горелочных устройств обычно осуществляют в выносных топках, установленных по периметру кожуха печи. В зависимости от конструкции, горелки обеспечивают частичное или полное предварительное перемешивание газа и воздуха при коэффициенте расхода воздуха 1,2–1,5. Далее продукты горения газа подают непосредственно в слой шихты. При реализации этого способа расход кокса составил 8–9% к металлозавалке, а расход газообразного топлива 30–40 м³/т расплава. Для этих условий было отмечено незначительное повышение температуры расплава (на 10–20 °С), рост производительности на 15–20% при снижении объема газообразных вредных выбросов на 20–25% (в основном СО). В работе вагранки наблюдали периодические нарушения газодинамического режима с подвисанием слоя шихтовых материалов, похолодание получаемого расплава, увеличение химического недожога и ухудшение условий службы футеровочных материалов.

При использовании слоевого способа сжигания газозвоздушной смеси ее подают в разогретый слой кусковых материалов с коэффициентом расхода воздуха не ниже 2,5–3,0 с формированием высокотемпературной зоны при температуре 1350–1380 °С, шириной 60–70 мм, способной перемещаться по слою со скоростью 15–20 мм/мин. Для его реализации в плотном продуваемом слое необходимо обеспечить равномерное перемешивание газа и воздуха, требуемые газодинамические условия и создание заданного соотношения «газ-воздух» при коэффициенте расхода воздуха более 2,5–3,0.

При подаче холодной газозвоздушной смеси в слой шахтных печей через фурмы зона горения делит весь слой на две ступени: первоначальную и конечную. Высокий температурный уровень зоны горения обеспечивает значительную скорость охлаждения материалов на стадии зажигания газозвоздушной смеси, что предотвращает ее воспламенение в свободном надслоевом пространстве. Отсутствие прямого контакта зоны высоких температур с рабочим пространством агрегата повышают надежность и экономичность использования этого процесса (отсутствуют тепловые потери).

Применение слоевого способа сжигания природного газа для отопления чугунолитейной вагранки обеспечивает повышение производительности плавильного агрегата с 10 до 13,6 т/ч или на 36 % при сокращении удельного расхода кокса на 80 кг/т или на 33,3 %, уменьшении общего расхода теплоты на процесс на 25 кВт или 18,78 % и потерь тепла с отходящими газами на 25,32 кВт или 16,2 %. При этом общий тепловой КПД агрегата увеличился с 35,58 до 42,26 % или на 15,81 %.

Ключевые слова: шахтная печь, выносные топки, коксогозовое отопление, условия сжигания газо-воздушной смеси, зоны горения твердого и газообразного видов топлива, расход кокса, производительность.