

УДК 669.187.2

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В СОВРЕМЕННОЙ ДУГОВОЙ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОЙ ПЕЧИ ДСП-120

И. В. Глухов^{1,2}, Д. В. Мехряков¹, Г. В. Воронов², К. М. Вдовин³, А. А. Рыбак³, В. В. Таранов³

¹ ОАО «ВНИИМТ» (г. Екатеринбург, Россия), ² ФГАОУ ВО УрФУ (г. Екатеринбург, Россия)

³ ЗАО «НЛМК-Урал» (г. Ревда, Россия)

Существующая конфигурация стеновых и рафинирующих комбинированных газокислородных горелок на дуговых сталеплавильных печах ДСП-120 фирмы VAI-Fuchs на предприятии НЛМК-Урал в г. Ревда оставляет захлаженную зону поверхности ванны вследствие несимметричного расположения рафинирующих горелок. В процессе плавки для равномерного плавления и во избежание переокисления металла в горячей зоне вынуждены отключать одну из комбинированных горелок. С целью устранения захлаженной зоны и равномерного нагрева металлошихты предусматривается замена стеновой панели со стеновой горелкой на стеновую панель с рафинирующей горелкой.

Ключевые слова: современная дуговая сталеплавильная печь, шихта, природный газ, кислород, горелка, фурма, факел, углерод, электрод.

В электросталеплавильном цехе (ЭСЦ) на предприятии АО «НЛМК-Урал» в г. Ревда работают две независимые друг от друга технологические линии производства, конечным продуктом которых является квадратная непрерывнолитая заготовка сечением 125 × 125 мм и длиной от 8000 до 12000 мм из углеродистых и низколегированных сталей. Каждая линия состоит из дуговой сталеплавильной печи (ДСП), установки ковш-печь (УКП) для внепечной обработки стали и машины непрерывного литья заготовок (МНЛЗ). Проектная производительность каждой линии — 1 млн т в год [1]. Технологический процесс производства стали в ДСП осуществляется методом контролируемого окисления компонентов шихты с использованием одношлакового процесса.

Завалку шихтовых материалов в печь осуществляют сверху при помощи загрузочной корзины. Период нагрева и расплавления исходных материалов ведется в автоматическом режиме. Момент подвалки определяют, исходя из израсходованной электроэнергии и визуального наблюдения за проплавлением шихты. Подача шлакообразующих и углеродсодержащих материалов в печь в период плавления осуществляется в соответствии с графиком ведения шлакового режима плавки. Скачивание шлака осуществляется в шлаковую чашу, установленную под печью в специально оборудованном отсеке.

С момента проплавления металлошихты и наведения шлака начинается окислительный период (подача кислорода через рафинирующие комбинированные горелки). Основная задача окислительного периода состоит в удалении вредных примесей из полупродукта стали (P, S, Si, Mn, Cr) до значений, обеспечивающих заданный химический состав расплава с учетом внепечной обработки стали на УКП; в подъеме температуры металла, превышающей температуру ликвидус на 130–150 °С, и получении заданного для каждой конкретной марки стали содержания углерода. Шихтовыми материалами (металлошихтой) для электросталеплавильного производства служит металлолом (табл. 1).

Современная ДСП с точки зрения использования энергоносителей является комбинированным тепловым агрегатом [2 – 5]. Для интенсификации процесса

и подвода дополнительных источников теплоты ДСП номинальной емкостью 120 т оснащена четырьмя стеновыми газокислородными горелками (СГКГ), тремя комбинированными рафинирующими горелками (РКГ) и тремя инжекторами для вдувания углеродсодержащих порошков.

Печь включает футерованную огнеупорным материалом подину с шиберной системой донного выпуска жидкого металла (эркер), водоохлаждаемый стеновой кожух и свод с центральным элементом, футерованным огнеупорным материалом. Электроэнергию для процесса нагрева и плавления подают через три графитовых электрода, установленных в токопроводящих электрододержателях, которые в свою очередь подсоединены кабелями к трансформатору и размещены на поворотном портале.

В печи выплавляют полупродукт с регламентированным содержанием углерода, серы, фосфора и заданной температурой расплава, обусловленной требованиями дальнейшего передела. Доведение химического состава расплава конкретной марки стали осуществляется в сталеразливочном ковше, устанавливаемом в агрегате внепечной обработки стали ковш-печь. Плавка полупродукта ведется с использованием «болота» на твердой металлосодержащей шихте с двумя завалками (завалкой и подвалкой) за плавку.

Подача шлакообразующих (известь и отсев известняка) и науглероживающих (кокс) материалов, а также при необходимости ферросплавов осуществляется через отверстие в своде печи. После формирования жидкой шлаковой фазы подают коксовую мелочь в ванну струей сжатого воздуха, обеспечивающей вспенивание шлака и коррекцию углерода в металле. Часть углерода коксовой мелочи окисляется до СО, увеличивая поступление дополнительного тепла в локальную зону контакта струи. В настоящее время печи работают с проектной производительностью при условии средней шихтовки плавки, %:

| | |
|--------------------------------------|---------|
| Легковесная металлошихта 2А, 3А, 3АН | 83 – 86 |
| Тяжеловесный скрап | 11 |
| Металлолом 2АТ, 8А, 8А1, 9А | 3 – 6 |

Таблица 1. Состав используемого сырья

| Наименование материала | Марка материала | Нормативно-техническая документация |
|---|---|--|
| Габаритный стальной лом и отходы | 1А, 2А, 3А, 4А 2АК, 2АТ, 2А1, 3АЕ, 3АН, 3А1 | ГОСТ 2787 СТО СМК 55791017-7,4-020 |
| Брикеты из стальной стружки | 6А, 7А | ГОСТ 2787 |
| Пакеты | 8А, 9А, 10А 8А1, 8А2 | ГОСТ 2787 СТО СМК 55791017-7,4-020 |
| Чугунный лом и отходы | 17А, 18А | ГОСТ 2787 |
| Доменный присад (ошлакованный стальной скрап) | 25А, 26А 25А1, 26А1 ШМ1, ШМ2 | ГОСТ 2787 СТО 55791017-009 ТТ 177-02 |
| Чугун передельный | П1, П2 | ГОСТ 805 |
| Лом и отходы динамных и трансформаторных сталей | 8Б62 | ГОСТ 2787 |

Таблица 2. Конструктивные и технико-теплотехнические характеристики сталеплавильных печей

| Наименование единицы оборудования, параметра | Значение |
|--|-----------|
| Емкость печи, т | 135 |
| Проектная масса расплава, т | 120 |
| Масса «болота», т | 15 |
| Объем рабочего пространства печи, м ³ | 133 |
| Объем ванны, м ³ | 19,5 |
| Диаметр кожуха нижний, верхний, мм | 6800/6900 |
| Высота кожуха, мм | 3000 |
| Мощность трансформатора, МВ · А | 100 |
| Напряжение первичное, кВ/вторичное, В | 35/0,98 |
| Максимальная расчетная сила тока, кА | 62 |
| Тепловая мощность горелок, МВт × шт: | |
| стенowych газокислородных | 3,5 × 4 |
| рафинирующих комбинированных | 3,5 × 3 |

Конструктивные и технико-теплотехнические характеристики эксплуатируемых сталеплавильных печей приведены в табл. 2.

Опыт эксплуатации печей показал, что при повышенном расходе доли тяжеловесного лома в завалке увеличивается продолжительность прогрева и расплавления с соответствующим снижением производительности и увеличением удельного расхода энергосистем.

Существующее расположение стеновых и рафинирующих комбинированных газокислородных горелок не обеспечивает равномерного нагрева всех зон поверхности расплава. Напротив стеновой горелки № 4 (рис. 1) отмечается зона поверхности ванны с пониженной температурой. Вследствие несимметричного расположения рафинирующих горелок тепловой поток в этой

Таблица 3. Сравнительные характеристики фактической/проектируемой печи

| Наименование оборудования и параметра | Значение |
|--|-----------------|
| Стеновая газокислородная горелка (СГКГ), шт | 4/3 |
| Расход природного газа на СГКГ, м ³ /ч | 1600/1200 |
| Максимальная тепловая мощность на одну горелку, МВт | 3,5/3,5 |
| Расход природного газа на одну горелку, м ³ /ч | 100-400/100-400 |
| Давление природного газа на одну горелку, бар | 3-5/3-5 |
| Расход кислорода на одну горелку, м ³ /ч | 200-800/200-800 |
| Давление кислорода, бар | 12-16/12-16 |
| Рафинирующая комбинированная газокислородная горелка (РКГ), шт | 3/4 |
| Расход природного газа на РКГ, м ³ /ч | 1050/1450 |
| Максимальная тепловая мощность на одну горелку, МВт | 3,5/3,5 |
| Расход природного газа на одну горелку, м ³ /ч | 75-350/100-350 |
| Давление природного газа, бар | 5-6/5-6 |
| Расход кислорода на горение на одну горелку, м ³ /ч | 200-800/200-800 |
| Давление кислорода на горение на одну горелку, бар | 14/14 |
| Расход кислорода на фришевание на одну горелку, м ³ /ч | 1500/1500 |
| Давление кислорода на фришевание, бар | 14/14 |
| Максимальный расход природного газа на печь, м ³ /ч | 2650/2650 |
| Удельный расход природного газа, м ³ /т | 7/7 |
| Максимальный расход кислорода на печь на горение, м ³ /ч | 5600/5600 |
| Максимальный расход кислорода на печь на фришевание, м ³ /ч | 4500/6000 |
| Суммарный максимальный расход кислорода на печь, м ³ /ч | 10100/11600 |
| Удельный расход электроэнергии, кВт · ч/т | 356,4/353,4 |
| Снижение удельного расхода электроэнергии, кВт · ч/т | 3 |

зоне на 300-400 кВт/м² ниже, чем в остальных зонах, что приводит к увеличению продолжительности нагрева металла на 3 мин на каждые 100 °С. В процессе эксплуатации печи в рассматриваемой зоне образуется настель на футеровке сталеплавильной ванны. В работе [6] представлен расчет температурных полей, подтверждающий полученные результаты. Стеновые газокислородные горелки включаются для ускорения нагрева и «осадки» твердой шихты, расположенной в рабочем пространстве печи между стеной и электродами [7 – 9].

Рафинирующие газокислородные горелки после расплавления шихты переключают на работу в режиме фришевания, обеспечивая десульфурацию, дефосфорацию и обезуглероживание металла путем вдувания в расплав высокоскоростной струи кислорода. Сжигание природ-

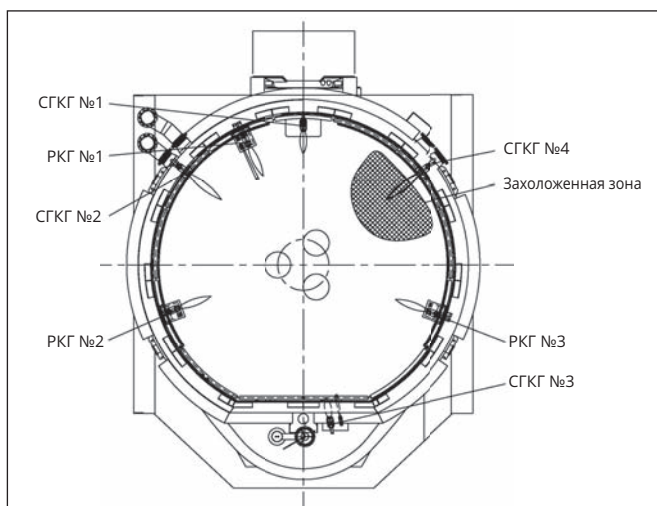


Рис. 1. Схема существующего расположения стеновых и рафинирующих комбинированных газокислородных горелок

ного газа с помощью рафинировочных горелок с расходом от 100 до 350 м³/ч обеспечивает поступление тепла от 0,73 до 3,5 МВт на горелку. Дополнительное поступление тепла обеспечивается за счет экзотермических реакций окисления кислородом серы, фосфора, железа, хрома, марганца, кремния и углерода в металле. Высокоскоростная струя кислорода активизирует перемешивание металла в объеме ванны, прилегающей к рафинирующей горелке [10, 11].

С целью устранения захоложенной зоны предусмотрена замена стеновой панели с горелкой СГКГ № 4 на стеновую панель с рафинирующей горелкой РКГ № 4 (рис. 2). Сравнительные характеристики фактической и проектируемой печи приведены в табл. 3.

ВЫВОДЫ

1. Снижение расхода электроэнергии за счет уменьшения продолжительности подачи напряжения на электроды в период доводки составляет 335500 кВт · ч/год.

2. Замена стеновой панели с горелкой СГКГ № 4 на стеновую панель с рафинирующей горелкой РКГ № 4 при сохранении общего количества горелок устраняет «захоложенную» зону при использовании в завалке повышенной доли тяжеловесного скрапа и исключает образование настыля на футеровке сталеплавильной ванны.

3. Установка рафинирующей горелки обеспечивает равномерность распределения температуры и химического состава расплава, что создает предпосылки для повышения итоговой производительности ДСП+УКП и качества стали при некотором сокращении расхода огнеупоров на ремонт подины.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. НЛМК-Урал: [Электронный ресурс]. URL: <https://ural.nlmk.com/ru/our-business/production/innovations/> (Дата обращения: 20.02.2020).
2. Белковский А. Г., Кац Я. Л., Краснянский М. В. Современное состояние и тенденции развития технологии производства стали в ДСП и их конструкции // Черная металлургия : Бюл. НТИ. 2013. № 3. С. 72 – 78.

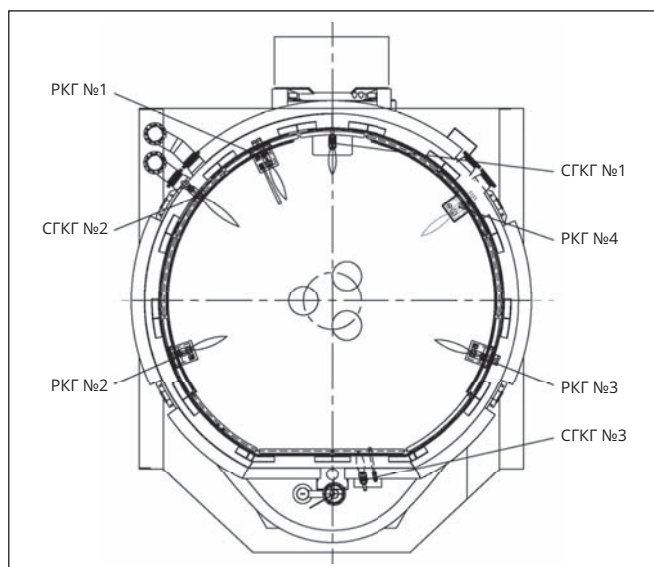


Рис. 2. Схема предполагаемого расположения стеновых и рафинирующих комбинированных газокислородных горелок

3. Лузгин В. П., Косырев К. Л., Комолова О. А. Энергетика применения альтернативных энергоносителей при плавке в дуговых сталеплавильных печах // Черные металлы. 2010. № 10. С. 8 – 12.
4. Белковский А. Г., Кац Я. Л. Моделирование процесса выплавки полупродукта в ДСП // Черная металлургия. 2011. № 12. С. 42 – 50.
5. Alam M., Naser J., Brooks G., Fontana A. Computational fluid dynamics modeling of supersonic coherent jets for electric arc furnace steelmaking process // Metallurgical and materials transactions b. 2010. Vol. 41B. P. 1354 – 1367.
6. Воронов Г. В., Гольцев В. А., Глухов И. В. Аэродинамика и тепловое состояние современной дуговой сталеплавильной печи // Проблемы черной металлургии и материаловедения. 2016. № 1. С. 28 – 34.
7. Шишимиров М. В., Сосонкин О. М. Ресурсосбережение и резервы повышения эффективности выплавки стали в ДСП // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». 2015. Т. 15. № 3. С. 70 – 79.
8. Гудим Ю. А., Зинуров И. Ю., Киселёв А. Д. Производство стали в дуговых печах. Конструкции, технология, материалы : монография. — Новосибирск : НГТУ, 2010. — 547 с.
9. Плесакин И. В., Воронов Г. В., Глухов И. В. Рекомендации по загрузке шихты и расположению топливосжигающих устройств в дуговой сталеплавильной печи ДСП-120 // Теплотехника и информатика в образовании, науке и производстве : сборник докладов VI Всерос. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых (ТИМ'2017) с международным участием (Екатеринбург, 11 – 12 мая 2017 г.). — Екатеринбург : УрФУ, 2017. С. 98 – 102.
10. Воронов Г. В., Гушин С. Н., Кокарев Н. И. и др. Особенности гидродинамических процессов на поверхности жидкой ванны // Совершенствование технологии и автоматизации сталеплавильных процессов : межвуз. сб. науч. тр. — Свердловск : УПИ, 1984. С. 25 – 32.
11. Воронов Г. В., Гушин С. Н., Кокарев Н. И. и др. Исследование взаимодействия струй компрессорного воздуха с поверхностью жидкой ванны // Теплотехника процесса выплавки стали и сплавов : межвуз. сб. науч. тр. — Свердловск : УПИ, 1980. С. 3 – 11.

Статья поступила 23.03.2020

Контактная информация

Данная статья опубликована в журнале Сталь № 5, 2020 г., посвященном 90 летнему юбилею научно-исследовательского института металлургической теплотехники ОАО «ВНИИМТ». Институт ВНИИМТ предлагает эффективные технологии переработки металлургического сырья и энергоэффективные печные агрегаты, горелочные устройства для металлургии и машиностроения.

Если Вас заинтересовала информация, представленная в данной статье, Вы можете обратиться по следующим координатам.

ОАО «Научно-исследовательский институт металлургической теплотехники»
(ОАО «ВНИИМТ»).

620137, Российская Федерация, г. Екатеринбург, ул. Студенческая, д. 16

Генеральный директор

Зайнуллин Лик Анварович

Тел. +7 (343) 374-03-80

Факс.: +7 (343) 374-29-23

Email: aup@vniimt.ru

www.vniimt.ru