

отражательной печи за счет меньшего объема металла и интенсивного перемешивания.

Химический состав полученного по предложенному методу рафинирования в ковше металла с солидным запасом соответствует маркам меди М2, М3 и при условии использования меди первой группы может являться альтернативой огневому рафинированию в отражательной печи.

Таким образом, на сегодняшний день на заводе внедрена самая современная технология, позволяющая получить прокат европейского качества за счет рафинирования лома меди в отражательной печи FR-120. А с целью снижения затрат на процесс рафинирования, дополнительно разработана технология рафинирования меди первой группы в ковше.

УДК 669. 162

А. М. Новохатский, канд. техн. наук, доцент, декан факультета металлургии (ДонГТУ)

Особенности работы горна доменной печи при выпуске чугуна и шлака через канал чугунной летки

Развитие доменного производства на предприятиях Украины в настоящее время происходит за счет реконструкции и модернизации доменных печей, вывода из эксплуатации физически и морально устаревших печей малого объема, внедрения новых технологий, новейшего оборудования и повышения уровня автоматизации производственных процессов.

Большие горизонтальные размеры колошника, распара и горна современных печей большого объема при традиционной конструкции засыпного устройства и периферийном подводе дутья в горн создают определенные трудности в распределении шихтовых материалов на колошнике, горячего дутья по фурмам, организации выпусков продуктов плавки. Полезная высота таких печей по расчетам оказалась чрезмерно большой, что потребовало значительного повышения прочности кокса и качества шихтовых материалов.

Нарушение рациональности профиля вызывает трудности в работе горна и в целом всей печи. Проблема особенно проявляется, когда работа доменных печей осуществляется на шихте различных поставщиков, имеющей нестабильное качество и высокое содержание шлакообразующих составляющих.

В последние годы на доменных печах сокращен расход природного газа, технического кислорода, уменьшена температура дутья. Большой расход и невысокое качество кокса уменьшают вместимость горна и при высоком выходе шлака приводят к переполнению горна продуктами плавки, частым загромождениям металлоприемника, большой окружной неравномерности работы низа печи, что сказывается на технико-экономических показателях плавки и качестве чугуна. На ряде предприятий запланировано внедрение технологии вдувания пылеугольного топлива, что еще более усложнит работу нижней части доменной печи.

Учитывая важность процессов, происходящих в горне, их влияние на показатели работы доменных печей, этой проблеме постоянно уделялось большое внимание.

Рассмотрены процессы, протекающие в горне доменной печи в период выпуска чугуна и шлака через канал чугунной летки. В течение от 8 до 12 мин, в отсчете от начала вскрытия летки, в слое чугуна образуется воронка, в которую увлекается шлак. Разработана математическая модель времени образования воронки и ее профиля. После закрытия летки в печи остается шлак, имеющий форму депрессионной воронки. Под действием гидростатических сил давления шлака поверхность чугуна искривляется. Полученные данные могут использоваться для совершенствования технологии доменной плавки и чтения лекций студентам по специальности «Металлургия черных, цветных металлов и специальных сплавов»

Наиболее трудной задачей является организация хорошей работы горна, регулирование его вместимости, вертикальной и горизонтальной дренирующей способности, которая позволит без затруднений и простоев вести плавку высокой интенсивности и выплавлять качественный чугун [1].

Нестационарность доменной плавки заключается в том, что чугун и шлак выпускают из горна в течение суток несколько раз, причем на некоторых печах истечение продуктов плавки через каналы чугунных леток ведут непрерывно.

При вскрытии канала чугунной летки в начале обычно вытекает чугун, но иногда, при нарушении процессов в горне, первым появляется шлак.

При нормальном режиме работы печи после выпуска от 30 до 80 т чугуна из летки появляется шлак и в дальнейшем их истечение из горна происходит совместно.

В течение от 8 до 12 мин, в отсчете от начала вскрытия летки, в слое чугуна образуется воронка, в которую увлекается шлак. Слой шлака при этом выполняет роль затвора, предотвращающего прорыв горновых газов, имеющих от 200 до 300 кПа избыточного давления. В случае, если бы в печи отсутствовал слой шлака, скопившийся чугун нельзя было бы полностью выпустить из металлоприемника из-за прорыва горновых газов. Для полной выдачи чугуна необходимо было бы сокращать расход дутья, а это приводит к осадке столба шихтовых материалов и потере производительности, что является отрицательным действием при ведении доменной печи.

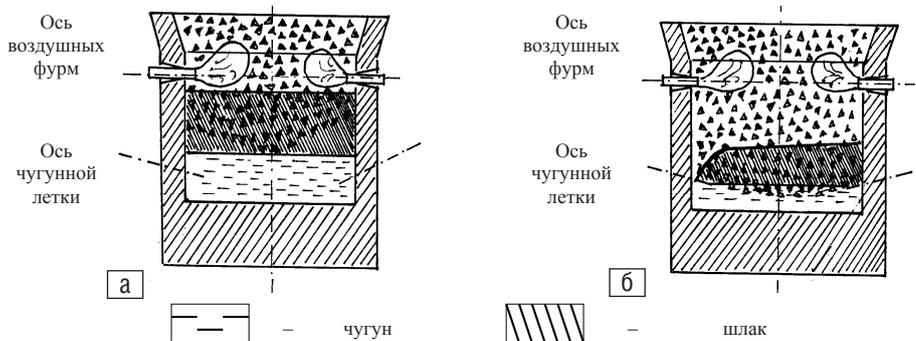


Рис. 1. Ход столба кокса в горне доменной печи при выпуске

Поэтому слой шлака в горне выполняет положительную роль: позволяет выпустить чугун в полном объеме, стабилизировать тепловой уровень нижней части печи и осуществить десульфурацию чугуна.

При интенсивном ходе доменной печи с расходом дутья от 2 до 2,2 м³/мин на 1 м³ полезного объема, столб кокса не достигает слоя чугуна, а находится в слое шлака. Свидетельством этому является то, что при снижении расхода дутья столб кокса опускается в слой чугуна и куски кокса выходят совместно с продуктами плавки, при этом они часто перекрывают канал летки и выпуск самопроизвольно останавливается, для его продления кислородными трубками очищают летку. При полной остановке хода доменной печи столб кокса при неглубоком мертвом слое, вероятно, садится на него (рис. 1, а).

При форсированной работе печи кокс поступает в очаг горения сверху и от центра по конической направляющей угла его естественного откоса [2]. Нижняя часть столба кокса имеет форму обратного конуса, поскольку у стен куски топлива всплывают в результате накопления чугуна и шлака после закрытия летки и газифицируются очагами горения (рис. 1, б). Поэтому насадка в горне все время восстанавливается за счет движения кокса от центра по нижнему конусу к бокам. Обновление насадки в горне обеспечивает активную его работу и удовлетворительные дренажные условия

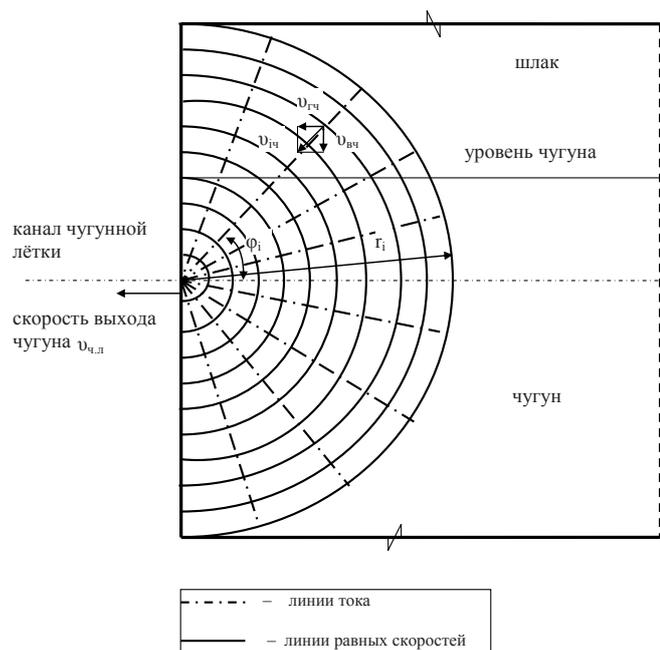


Рис. 2. Линии равных скоростей и линии тока при выпуске чугуна через канал лётки

совместно с правильным режимом выпусков продуктов плавки. При этом печь обеспечивает интенсивный ход и максимальную производительность чугуна в тех или иных шихтовых условиях.

В начальный период выпуска формирование воронки в чугуне в районе канала чугунной летки происходит в свободном пространстве без присутствия коксовой насадки. Расчет воронки выполнен в условиях форсированной работы печи, когда активный вес столба шихты составляет не более 8-10 % от всей массы.

Для расчета времени образования воронки и ее профиля необходимо знать линейную скорость выхода чугуна через канал летки и площадь канала чугунной летки $S_{ч.л.}$. Линии тока чугуна с начала выпуска направлены в сторону канала, а линии равных скоростей расположены по полусферам (рис. 2). Зная площадь полусфер $S_{п.и}$, по их соотношению с площадью канала летки можно рассчитать вертикальную и горизонтальную скорость в любой точке, находящейся в районе с радиусом l м.

Для упрощения методики расчета пренебрегаем кривизной окружности горна и будем считать, что истечение чугуна происходит через канал летки, расположенной в прямой стенке. Допускаемая при этом ошибка может быть определена следующим образом (рис. 3).

При радиусе горна, допустим, $r_r = AO = 5,6$ м, и хорде (прямая стенка) $AC = 1$ м:

$$DC = DO - \sqrt{AO^2 - AC^2} = 5,6 - \sqrt{5,6^2 - 1^2} = 0,091 \text{ м.}$$

Ошибка в исчислении площади полусфер линий равных скоростей в слое чугуна при принятых упрощениях математической модели составит:

$$\sigma = \frac{DC}{AO} 100\% = \frac{0,091}{5,6} 100\% \approx 1,63\%,$$

то есть не более 2 %, что приемлемо для металлургических расчетов процессов, протекающих в горне печи.

Для определения времени образования чугунной воронки и ее формы необходимо знать уровень чугуна перед началом выпуска.

$$h_{ч.г} = \frac{\theta_{ч} - q_{ч} \tau_{г}}{\rho_{ч} S_{г}},$$

где $h_{ч.г}$ – уровень чугуна в горне перед выпуском, м; $\theta_{ч}$ – количество чугуна, выданного за выпуск, т; $q_{ч}$ – приход чугуна в горн, т/мин; $\tau_{г}$ – время выпуска чугуна, мин; $\rho_{ч}$ – плотность чугуна, т/м³; $S_{г}$ – площадь горна, м².

Используя сетку (рис.2) линий равных скоростей и линий тока, можно рассчитать площадь любой полусферы по формуле:

$$S_{п.сф} = 2\pi r_i^2,$$

где r_i – радиус полусферы в отсчете от чугунной летки, м.

Имея площадь канала летки и площадь полусфер, можно вычислить коэффициент пропорциональности линейной скорости чугуна в горне.

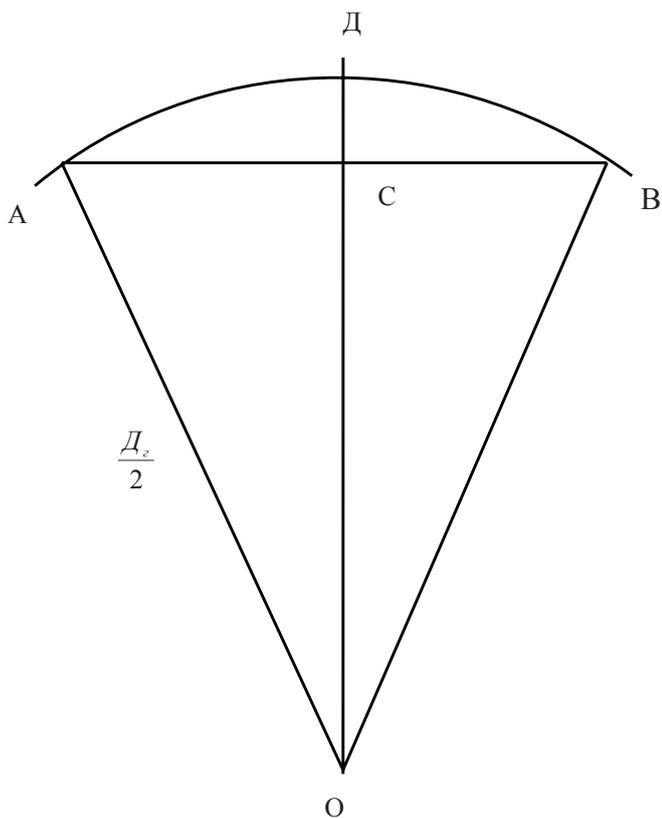


Рис. 3. Схема определения ошибки в вычислении площади полусфер

При диаметре летки 60 мм в таблице приведены коэффициенты пропорциональности скорости движения чугуна в любой точке горна K_{np} (полусферы с шагом радиуса по 100 мм).

$$K_{npi} = \frac{2\pi r^2}{S_{n.cф}}$$

где r – радиус летки, м.

Линейная скорость в горне на любой линии равных

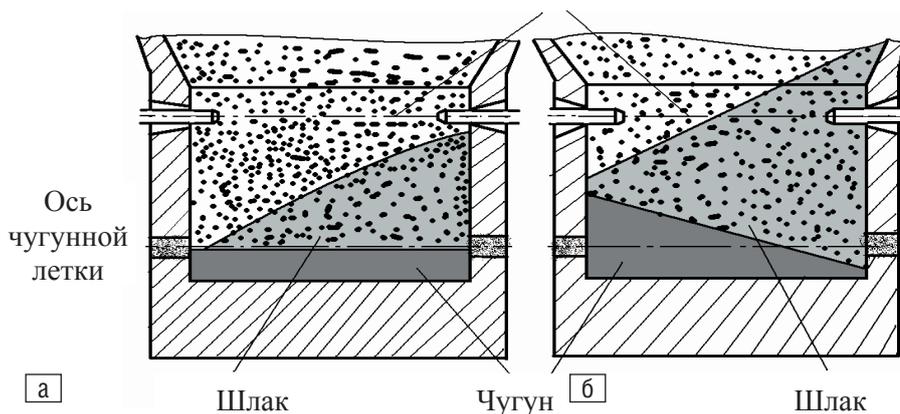


Рис. 4. Влияние депрессионной воронки шлака на изменение уровня жидкого чугуна в горне

Таблица
Коэффициенты пропорциональности скорости движения чугуна в горне

№ _{пн} полусферы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
радиус r_i , м	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
площадь полусферы $S_{n.cф}$, м ²	0,063	0,251	0,565	1,005	1,571	2,262	3,079	4,021	5,089	6,283
$K_{np} \cdot 10^{-2}$	4,44	1,12	0,5	0,28	0,18	0,12	0,09	0,07	0,06	0,04

скоростей в направлении к каналу чугунной летки будет иметь вид

$$V_{ич} = V_{чл} K_{np}$$

Зная линейную скорость в слое чугуна в горне печи, можно определить вертикальную скорость в любой фиксированной точке объема горна.

$$V_{iвс} = V_{ич} \sin \varphi_i,$$

где φ_i – угол наклона вектора линейной скорости V_i в направлении к каналу летки.

Для определения динамики изменения размеров чугунной воронки в период выпуска продуктов плавки необходимо по высоте слоя чугуна определить среднюю линейную вертикальную скорость уменьшения уровня чугуна в любом секторе образующейся воронки.

Вертикальные линейные скорости аппроксимируются выражением

$$K_{iвч} = a H_0^{-\epsilon}$$

Поскольку функция убывающая, определяем модули среднего коэффициента пропорциональности, используя теорему о среднем для определенного интеграла

$$K_{iвч} = \frac{a}{(H_2 - H_1)(\epsilon + 1)} (H_2^{\epsilon+1} - H_1^{\epsilon+1}).$$

Время образования воронки в слое чугуна определяется выражением

$$\tau_{\epsilon} = \frac{h_q}{V_{чл} K_{iвч}}$$

где h_q – уровень чугуна в горне, м; $V_{чл}$ – скорость выхода чугуна, м/мин; $K_{iвч}$ – модуль среднего коэффициента пропорциональности.

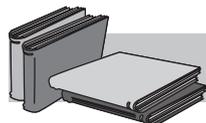
Чугун под слоем шлака практически вытекает почти до горизонтальной поверхности. За выпуск в шлаке образуется депрессионная воронка [3], и при прорыве газов через канал летки выпуск закрывают.

В горне остается шлак с наибольшим уровнем с противоположной от летки стороны (рис. 4, а).

После закрытия летки наклонная поверхность шлака сохраняется. Выравниванию поверхности шлака препятствует его сравнительно высокая вязкость и недостаточная дренажная способность коксовой насадки. Под действием гидростатических сил давления шлака поверхность чугуна искривляется. Уровень чугуна поднимается со стороны летки, через которую осуществляли выпуск (рис. 4, б). При нормальной дренажной способности коксовой насадки в горне депрессионная воронка

выравнивается до начала следующего выпуска, и поверхность чугуна и шлака становится горизонтальной. При низкой прочности и дренажной способности кокса шлак медленно перетекает из зоны с более высоким уровнем в зону с низким уровнем поверхности. Депрессионная воронка не успевает выровняться до следующего выпуска. По мере накопления расплава в горне уровень шлака со стороны, противоположной летке, достигает оси воздушных фурм. Шлак отбрасывается потоком воздуха из периферийной зоны горна с высокими температурами в его центральную часть, где температуры ниже. В результате охлаждения вязкость шлака повышается и загромождение горна усугубляется. Уровень чугуна со стороны летки, через которую производился выпуск,

поднимается быстрее, чем в других зонах, и может достичь воздушных фурм. Касание чугуном фурмы приводит к ее немедленному прогару. Этим объясняются достаточные частые прогары фурм над леткой. Спаренный выпуск позволяет удалить скопившийся с противоположной стороны шлак и вернуть горизонтальную поверхность чугуна и шлака. При этом снижается вероятность прогара воздушных фурм над леткой и прекращается переброска шлака в центральную непрогретую часть горна. По сути, вторая чугунная летка при спаренном выпуске выполняет функции шлаковой летки. При спаренном выпуске следует ожидать преимущественного выхода шлака через вторую летку.



ЛИТЕРАТУРА

1. Новохатский А. М. Проблемы доменного производства Украины // Сборник научных трудов Донбасского горно-металлургического института. – Алчевск, 2001. – Вып. 13. – С. 156-158.
2. Маханек Н. Г., Онорин О. П., Коновалов К. Д. О соотношении сил, действующих на столб шихтовых материалов в доменной печи // Изв. ВУЗов. Чер. металлургия. – 1966. – № 10. – С. 8-10.
3. А. М. Новохатский. Аналитический метод определения изменения размеров шлаковой депрессионной воронки в период выпуска продуктов плавки из горна доменной печи // Металл и литье Украины. – 2008. – № 5. – С. 47-50.

УДК 621:658.58

Ю. Н. Белобров, В. С. Плугатарь, С. В. Матвейков, В. М. Пильгаев, Ю. В. Бурлачка (ЗАО «НКМЗ»)

Создание АО «НКМЗ» новых высокоэффективных металлургических агрегатов

Черная металлургия относится к базовым отраслям промышленности Украины, обеспечивая около половины валютных поступлений от экспорта продукции. Выживание и стабильная работа предприятий в условиях современной экономики немислима без модернизации энергоемкого металлургического производства с целью снижения затрат и увеличения выхода готовой продукции.

Завод работает с 1934 г., площадь - 339 га, численность трудящихся 15 тыс.

В последнее время на АО «НКМЗ» остро стал вопрос о модернизации мартеновского производства с целью увеличения выплавки высококачественного металла. Данный проект также актуален и для страны в целом из-за постоянно растущих цен на природный газ.

В области создания ДСП АО «НКМЗ» обладает следующими работками:

На основании выполненных исследований в области производства стали ЗАО «НКМЗ» созданы отечественные ДСП, УКП, установки вакуумирования стали и МНЛЗ для получения сортовой и слябовой продукции

Таблица 1
Основные параметры ДСП-50

Наименование параметров	Показатели
Емкость печи по жидкой стали	56 т
Средний вес плавки	50 т
Продолжительность плавки	55 мин
Температура выпуска металла	1610 °С
Выход годного стали	89 %
Насыпная плотность металошихты	0,6-0,8 т/м ³
Установленная мощность печного трансформатора	40 МВА
Переключение ступеней напряжения	под нагрузкой
Токоограничивающий реактор	встроенный
Количество бадей на плавку	2-3 шт
Производительность печи	545 т/час
Система выпуска	эксцентричный донный (ЕВТ)
Диаметр электродов	508 мм
Диаметр распада электродов	1050 мм