

ХЛАПОНИН Н.С., ЯРОШЕВСКИЙ С.Л., КУЗИН А.В. (ДОННТУ), КУЗНЕЦОВ А.М., ПАДАЛКА В.П. (ОАО «ЕМЗ»)

ВЛИЯНИЕ ПЕРЕПАДА ДАВЛЕНИЯ ГАЗА В ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ ДОМЕННОЙ ПЕЧИ НА РАСХОД КОКСА

Оценено возможное изменение удельного расхода кокса (0,23%) по изменению общего перепада давления газа в слое материалов в верхней части доменной печи на 1%. Показано, что при подаче в доменную печь смеси агломерата и коксового орешка крупностью 10–40 мм в количестве 5–30% удельный расход кокса снижается на 1,61–4,21% только за счет улучшения газопроницаемости слоя.

В доменном производстве за последние годы внедрены эффективные технологические мероприятия, обеспечивающие снижение перепада давления в верхней части шахты доменной печи.

К таким мероприятиям относятся: улучшение фракционного состава железорудной части шихты; использование загрузочного устройства шихты с вращающимся лотком; применение коксового орешка (10–40 мм) в смеси с железорудной шихтой и др.

С другой стороны, в процессе эксплуатации доменных печей возникают периоды, когда перепад давлений в верхней части шахты доменной печи увеличивается из-за каких-либо очевидных или неявных факторов или расстройств хода печи.

Перепад давлений в верхней части шахты доменной печи относится к постоянно и надежно контролируемым параметрам технологии доменной плавки. Однако, до настоящего времени отсутствует методика оценки влияния изменения перепада давления в верхней части шахты доменной печи на удельный расход кокса и производительность доменной печи.

За основу такой методики принята общепризнанная и объективно оцениваемая зависимость удельного расхода кокса на выплавку чугуна от гранулометрического состава рудной части доменной шихты.

Изменение массовой доли мелкой фракции (–5 мм) в рудной части доменной шихты приводит к изменению ее порозности и перепада давления в верхней части шахты печи. В связи с этим, имеются все данные для того, чтобы указанную известную зависимость «содержание мелочи –5 мм в рудной части шихты — удельный расход кокса на выплавку чугуна» пересчитать на новую, более универсальную зависимость «перепад давления в верхней части шахты доменной печи — удельный расход кокса на выплавку чугуна».

Методика расчетов рассмотрена на примере доменной плавки шихты, состоящей из 100% агломерата.

В таблице 1 приведен гранулометрический состав базового агломерата (№ 1), основностью $CaO/SiO_2=1,3$, при его загрузке в доменную печь.

Табл. 1. Фракционный состав агломератов с различным содержанием мелочи 5–0 мм

Агломераты	Массовая доля (%) классов крупности, мм						$D_{ср}$, мм	ε , %
	+ 80	80–40	40–20	20–10	10–5	-5		
1	5,0	8,0	12,0	30,0	20,0	25,0	19,53	46,9
2	5,26	8,42	12,63	31,59	21,05	21,05	20,45	47,5
3	5,56	8,89	13,33	33,33	22,22	16,67	21,42	48,1
4	5,88	9,41	14,12	35,30	23,53	11,76	22,53	48,7
5	6,25	10,0	15,0	37,5	25,0	6,25	23,78	49,3

По гранулометрическому составу (содержание мелочи менее 5 мм принято равным 25%) этот агломерат имеет невысокое качество, однако в практических условиях ряда предприятий этот состав характерен либо постоянно, либо в периоды ухудшения технологии агломерации или доставки агломерата. Гранулометрические составы других агломератов (от № 2 до № 5) определены по данным агломерата № 1 при условии исключения из него фракции 5-0 мм ступенчато по 50 кг/т агломерата до остаточного содержания фракции 5-0 мм в агломерате № 5 в количестве 6,25%. Гранулометрический состав агломерата № 5 характерен для агломерата фабрики НКГОК-2, который подается на доменную печь № 9 ($V_n=5000 \text{ м}^3$) комбината «Криворожсталь».

В таблице 1 приведен средний диаметр (D_{cp}) кусков агломератов при различном содержании в них мелочи 5-0 мм (от 25 до 6,25%). Усреднение размера кусков указанных полидисперсных агломератов произведено по способу расчета среднемассового диаметра [1]:

$$D_{cp} = \frac{\sum g_i \cdot d_i}{\sum g_i}, \text{ мм.} \quad (1)$$

где g_i — массовая доля (%) кусков различной крупности (мм) в полидисперсном слое; d_i — диаметр кусков, мм.

По величине D_{cp} рассчитана порозность слоя (ϵ) для указанных агломератов по формуле [2]:

$$\epsilon = 0,222 \cdot D_{cp}^{0,252}, \text{ м}^3/\text{м}^3. \quad (2)$$

На основе значений D_{cp} и ϵ определены изменения перепадов давления (ΔP) в слое агломерата в верхней части печи при уменьшении в нем содержания мелочи с использованием формулы:

$$\Delta P = \Psi \cdot \frac{H \cdot (1 - \epsilon) \cdot W^2 \cdot \rho}{D_{cp} \cdot \epsilon^3 \cdot g}, \quad (3)$$

где Ψ — коэффициент сопротивления прохода газа в зернистом слое; H — высота столба зернистого слоя, м; ρ — действительная плотность газа, $\text{кг}/\text{м}^3$; W — действительная скорость газа, м/с; g — ускорение силы тяжести, $\text{м}/\text{с}^2$.

При изменении (уменьшении или увеличении) содержания мелочи 5-0 мм в агломерате, т.е. при изменении его порозности, изменение перепада давления в слое можно оценить (в долях единицы) как отношение значений потери напора газа в печи для рассматриваемых слоев:

$$\alpha_i = \frac{\Delta P_i}{\Delta P} \cdot 100, \%. \quad (4)$$

где α_i — коэффициент сравнения потери напора газов в печи для базового и нового гранулометрического состава агломератов, %; ΔP — потеря напора газа в печи при исходном (базовом) гранулометрическом составе агломерата; ΔP_i — потеря напора газа в печи при новом гранулометрическом составе агломерата.

Для рассматриваемых условий приближенно принято, что значения Ψ , H , W , ρ и g в формуле (3) изменяются незначительно при изменении гранулометрического состава агломерата в изучаемом диапазоне (см. таблицу 1). Тогда, при определении величины α_i можно абсолютные значения ΔP_i и ΔP не вычислять, а определить их отношение по формуле:

$$\alpha_i = \frac{(1 - \epsilon_i)}{D_{i \text{ cp}} \cdot \epsilon_i^3} \Big/ \frac{(1 - \epsilon)}{D_{cp} \cdot \epsilon^3} \cdot 100, \%. \quad (5)$$

где ε и ε_i — порозность в слое базового и нового агломерата, $\text{м}^3/\text{м}^3$; D_{cp} и $D_{i\,cp}$ — средний диаметр кусков слое базового и нового агломерата, мм.

Объемную долю каждого материала можно определить по формуле:

$$V_M = \frac{Q_1/\rho_1}{Q_1/\rho_1 + Q_2/\rho_2 + \dots + Q_n/\rho_n} \cdot 100, \% \quad (6)$$

где Q_1, Q_2, Q_n — расход материалов в доменную печь, кг/т чугуна; ρ_1, ρ_2, ρ_n — насыпная плотность материала, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Приняв, что доменная плавка ведется только на агломерате ($Q_{A2л} = 1800$ кг/т чугуна; $\rho_{A2л} = 1800$ $\text{кг}/\text{м}^3$) и коксе ($Q_K = 600$ кг/т чугуна; $\rho_K = 500$ $\text{кг}/\text{м}^3$), объемная доля агломерата и кокса составит соответственно 45,45 и 54,55%.

Для учета влияния различных материалов на перепад давления в слое их смеси в шахте печи принимаем следующие значения сравнительного коэффициента сопротивления проходу газа (k_M) в сравнении с агломератом [3]: агломерат $k_{A2л} = 1$; окатыши $k_{Окат} = 0,75$; кокс $k_K = 0,15$; известняк $k_{Изв} = 0,5$.

Для рассматриваемого варианта плавки (100% агломерата + кокс) учет сравнительного коэффициента сопротивления проходу газа (K_M) позволяет получить долевую величину сопротивления каждого материала по формуле:

$$K_M = V_M \cdot k_M, \% \quad (7)$$

После подстановки значения сравнительный коэффициент сопротивления проходу газа для агломерата составит $K_{A2л} = 45,45\%$, для кокса — $K_K = 8,18\%$, что составляет 84,7 и 15,3% (относ.). Поэтому, значения перепада давления в слое агломерата при подсчете общего перепада в верхней части печи (агломерат + кокс) необходимо учесть с помощью коэффициента $\lambda_{A2л} = 0,847$. Тогда уменьшение общего перепада давления газа в слое материалов в верхней части печи можно рассчитать по формуле, %

$$\Delta P_{\text{сух. зоны}} = (a - a_i) \cdot \lambda_{A2л}, \% \quad (8)$$

Выполненные расчеты по формулам (5)–(8) показывают, что уменьшение массовой доли мелочи 5–0 мм в агломерате от 25 до 6,25% (увеличение порозности слоя от 46,9 до 49,3%, т.е. почти в 1,05 раза) обеспечивает уменьшение перепада давления в слое агломерата в верхней части шахты доменной печи на 31,9% (таблица 2).

Табл. 2. Данные об уменьшении перепада давления (потерь напора газа) в слое агломерата в верхней части шахты доменной печи при улучшении гранулометрического состава агломерата

Агломерат (по табл. 1)	Массовая доля мелочи 5-0 мм в агломерате, %	Порозность слоя, %	Перепад давления газа в слое агломерата по сравнению с базовым, α_i , %	Уменьшение общего перепада давления газа в слое материалов в верхней части печи, %
1	25,0	46,9	$\alpha_1 = 100,0$	0,0
2	21,05	47,5	$\alpha_{1-2} = 91,6$	7,1
3	16,67	48,1	$\alpha_{1-3} = 83,3$	14,1
4	11,76	48,7	$\alpha_{1-4} = 75,4$	20,8
5	6,25	49,3	$\alpha_{1-5} = 68,1$	27,0

Рассматриваемому уменьшению содержания мелочи 5–0 мм в агломерате от 25 до 6,25% (таблица 2) соответствует уменьшение общего перепада давления газа в слое материалов в верхней части печи от 0 до 27% и уменьшение расхода кокса в пределах 0,2–

0,5% на каждый процент (абс.) уменьшения массовой доли мелочи 5–0 мм в агломерате [4, 5]. С учетом указанных данных принимаем, что уменьшение на 1% (абс.) содержания мелочи 5–0 мм в агломерате (и соответствующее уменьшение общего перепада газа в слое материалов в верхней части печи) в нижеуказанных диапазонах обеспечивают экономии кокса в следующем количестве, % от базового значения (таблица 3).

По расчетным данным для доменной шихты из агломерата и окатышей при их соотношении 42:58% (долевое участие агломерата в общем сопротивлении шихтовых материалов подачи составит 37,5%) подача фракций коксового орешка крупностью 10–20, 15–25, 20–30, 25–35 и 30–40 мм в смеси с агломератом приводит к сокращению общего перепада давления газа в верхней части шахты [6].

Табл.3. Диапазоны уменьшения массовой доли мелочи (5–0) мм в слое агломерата и общего перепада давления в слое материалов и соответствующие им значения сокращения удельного расхода кокса при выплавке чугуна

Диапазоны уменьшения массовой доли мелочи (5–0) мм в агломерате, %	Диапазоны уменьшения общего перепада давления газа в слое материалов в верхней части печи, %	Уменьшение расхода кокса, %	
		На 1% уменьшения доли мелочи	на 1% уменьшения общего перепада давления
25,0 – 21,05	0 – 7,1	0,5	0,28
21,06 – 16,67	7,11 – 14,1	0,4	0,25
16,68 – 11,76	14,11 – 20,8	0,3	0,22
11,77 – 6,25	20,81 – 27,0	0,2	0,18
Среднее значение			0,23

На основе этих приведенных в таблице 3 данных и среднего значения сокращения удельного расхода кокса на выплавку чугуна (0,23%) при уменьшении перепада давления газа в слое на 1%, определено возможное снижение удельного расхода кокса за счет только улучшения газопроницаемости слоя шихты при загрузке в доменную печь середину линзы агломерата коксового орешка крупностью 10–40 мм:

Доля коксового орешка, заменяющего кокс, %	5	10	15	20	25	30
Снижение общего перепада давления газа [6], %	7,0	11,4	13,6	15,5	17,0	18,3
Уменьшение удельного расхода кокса, %	1,61	2,62	3,13	3,57	3,91	4,21

Таким образом, оценено снижение удельного расхода кокса при загрузке в доменную печь смеси агломерата и коксового орешка, крупностью 10–40 мм. Данную методику можно применять для оценки возможного изменения удельного расхода кокса при изменении перепада давления газа в слое верхней части доменной печи при улучшении гранулометрического состава шихты, оптимизации её загрузки (бесконусный засыпной аппарат), применении коксового орешка в смеси с железорудной шихтой и др.

Список литературы

1. Братчиков С.Г. Теплотехника окискования железорудного сырья. — М.: Metallургия, 1970. — 344 с.
2. Доменное производство: Справочник / Под ред. Е.Ф. Вегмана. — Т. 1. — М.: Metallургия, 1989. — 419 с.
3. Щукин П.А. Исследование свойств металлургического кокса. — М.: Metallургия, 1971. — 84 с.
4. Вегман Е.Ф. Краткий справочник доменщика. — М.: Metallургия, 1981. — 240 с.
5. Волков Ю.П., Шпарберг Л.Я., Гусаров А.К. Технолог-доменщик: Справочник. — М.: Metallургия, 1986. — 263 с.

6. Эффективность применения коксового орешка в доменной плавке / С.Л. Ярошевский, В.А. Ноздрачев, А.М. Кузнецов и др. // *Металл и литье Украины*, 2000. — № 5–6. — С. 9–13.

© Хлапонин Н.С., Ярошевский С.Л., Кузин А.В.,
Кузнецов А.М., Падалка В.П., 2004

СМИРНОВ А.Н., ЕРОНЬКО С.П. (ДОННТУ), ЦУПРУН А.Ю. (НПО «ДОНИКС»),
ОРЛОВ И.А., ЯКОВЛЕВ Д.А. (ДОННТУ)

ПОВЫШЕНИЕ СТАБИЛЬНОСТИ РАБОТЫ СИСТЕМЫ ПРИВОДА СТОПОРА ПРОКОВШЕЙ МНЛЗ

Рассмотрены особенности условий работы стопорных систем для дозированного перелива жидкой стали из промежуточных ковшей МНЛЗ, проанализированы основные направления их дальнейшего совершенствования с целью повышения надежности и эффективности применения.

Одним из главных направлений повышения эффективности непрерывной разливки стали является увеличение ее серийности, что обеспечивает значительный энерго- и ресурсосберегающий эффект. Между тем, разливка металла на МНЛЗ длинными сериями может быть реализована лишь при высокой надежности функциональных элементов проковша, в том числе — системы привода стопора, обеспечивающей дозированную подачу стали в кристаллизатор или полное перекрытие канала стакана-дозатора в случае технологической необходимости.

Устойчивая работа системы привода стопора проковша в течение промежутка времени, затрачиваемого на разливку стали 15–20 плавов, достигается только при высокой надежности всех элементов, входящих в ее состав. Стопорная система включает стопор, выполненный в виде стального стержня, защищенного огнеупорными пробкой и катушками, либо монокристаллической формы огнеупорный элемент (монокристалл); литую или кованую вилку, фиксирующую стопор от раскачивания; направляющую трубу с размещенным внутри ползуном, верхний конец которого посредством резьбового соединения жестко связан с вилкой; рычажную систему или реечную передачу для ручного управления положением стопора относительно входного отверстия выпускного канала промежуточного ковша (рис.1).

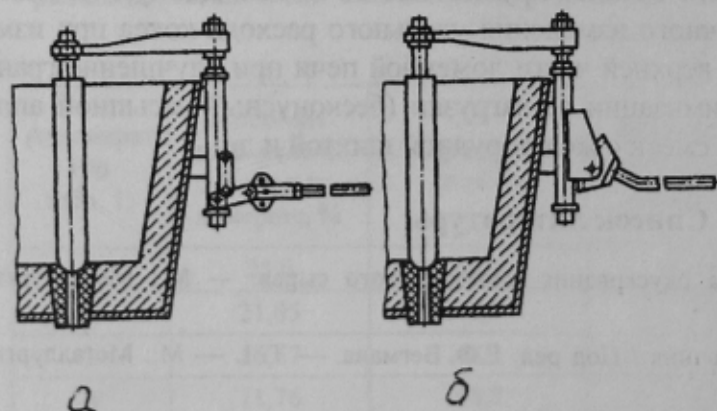


Рис.1. Схемы стопорных механизмов промежуточных ковшей МНЛЗ: *а* — с рычажной системой; *б* — с реечной передачей

Цель настоящей работы — определение условий повышения надежности системы привода стопора проковшей применительно к условиям разливки стали длинными сериями на отечественных металлургических предприятиях.

Выполненное авторами в условиях ряда металлургических предприятий Украины и России промышленное тестирование работы разливочных систем проковшей, снабженных стопорами-монокристаллами различного конструктивного исполнения, поставляемых известными зарубежными фирмами,

показало, что все они не отвечают в полной мере требованиям технологии разливки