

УДК 669.162.26

*к.т.н. Диментьев А. О.,
к.т.н. Власенко Д. А.,
Антишин А. С.
(ДонГТИ, г. Алчевск, ЛНР, dimentev@inbox.ru),
к.т.н. Карнов А. В.
(ЛГТУ, г. Липецк, РФ)*

ВЛИЯНИЕ НЕРАВНОМЕРНОСТИ ВЯЗКОСТИ ШЛАКА, НАКОПЛЕННОГО В ГОРНЕ ДОМЕННОЙ ПЕЧИ ОБЪЕМОМ 3000 м³, НА ВЫПУСК ПРОДУКТОВ ПЛАВКИ

Проведено исследование влияния шлака повышенной вязкости, находящегося в секторе горна доменной печи объемом 3000 м³ над чугунной леткой, через которую планируется выпуск, на конфигурацию слоя остающегося расплава в печи в момент закрытия выпускного канала. Установлено, что это может привести к изменению формы образующейся в слое продуктов плавки депрессионной воронки, увеличению продолжительности их выхода из металлургического агрегата и уменьшению средней высоты остаточного расплава по окружности металлургического агрегата.

Ключевые слова: доменная печь, горн, вязкость шлака, депрессионная воронка, выпуск продуктов плавки.

Проблема и её связь с научными и практическими задачами. Начиная с пятидесятых годов двадцатого века на металлургических предприятиях принята концепция увеличения объема доменных печей, которая до сих пор остается основным направлением развития их конструкции.

Диаметр металлоприемника на доменных печах малого размера существенно меньше, чем на металлургических агрегатах объемом 3000 м³ и более, поэтому на технико-экономические показатели последних значительное влияние оказывает работа горна, в которой важную роль играет количество шлака, остающееся в нем в момент закрытия чугунной летки, поскольку от этого зависит процесс накопления и выпуска продуктов плавки.

Уменьшение количества остаточного шлака в горне приводит к повышению производительности металлургического агрегата и снижению расхода кокса за счет увеличения вместимости доменной печи для накопления продуктов плавки и уменьшения количества простоев, связанных с заменой воздушных фурм.

В ряде исследований для уменьшения количества остаточного шлака в горне доменной печи предлагалось: изменять последовательность и периодичность выпуска продуктов плавки на разные чугунные летки, регулировать кинетическую энергию дутья, улучшать порозность коксовой насадки, организовывать технологические действия для борьбы с застойными и малоактивными зонами и т. д. Данные способы позволяют эффективно влиять на объем остаточных расплавов, однако при нормальной работе металлургического агрегата их применение не всегда способствует улучшению технико-экономических показателей доменной плавки [1–4].

Постановка задачи. В связи с этим актуальной задачей для современного доменного производства является разработка технологических приемов, позволяющих уменьшить количество остаточного шлака в горне доменных печей объемом 3000 м³ и более при их стабильной работе.

Методика исследования. Эксперименты проводились на холодной физической модели горна доменной печи (рис. 1), которую

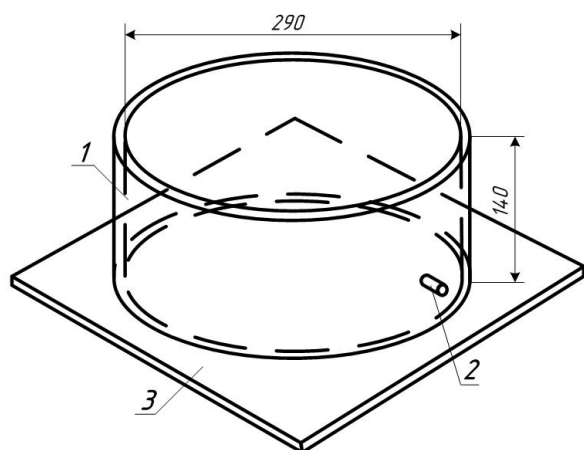
рассматривали в соответствии с печью объемом 3000 м^3 , геометрический линейный масштаб в результате составил 40.

Физическая модель выполнена из прозрачного материала для визуального наблюдения изменения уровня жидкости по ее окружности.

В нижней части боковой стенки модели расположен один выпускной канал для выпуска жидкости, имитирующий чугунную летку, угол наклона которой в доменной печи колеблется от 12 до 17 градусов. Ввиду отсутствия избыточного давления газа в физической модели при проведении экспериментов выпускной канал выполнен горизонтально.

В течение выпуска продуктов плавки из доменной печи чугунная летка разгорается, то есть диаметр канала увеличивается. Однако на физической модели учесть этот фактор невозможно, поэтому было принято, что разгар канала не происходит.

Для имитации коксовой насадки использовался мелкодисперсный пластик со средним диаметром частиц около 3 мм. Его средняя порозность свободно насыпанного слоя составляет 0,378, а уплотненного слоя — 0,327, что соответствует порозности кокса в горне доменной печи.



1 — боковая стенка, 2 — выпускной канал,
3 — дно модели

Рисунок 1 Физическая модель горна доменной печи

Жидкость (вода с растворенным в ней крахмалом), выбранная для проведения экспериментов, соответствовала по вязкости шлаковому расплаву в горне доменной печи. Угол смачивания, плотность и сила поверхностного натяжения не учитывались.

Моделирование движения продуктов плавки на физической модели горна доменной печи требует соблюдения законов подобия гидравлики. При этом движение жидкости в модели будет подобно движению расплава в печи, если все размеры агрегатов геометрически подобны, а также соблюдается подобие кинематических и динамических характеристик для всех сходных точек потока.

Для подтверждения кинематического и динамического подобия обычно используются критерии Эйлера, Рейнольдса и Фруда. Однако часто при моделировании процессов движения жидкости соблюдение одного или двух критериев подобия делают это невозможным для остальных. На движение продуктов плавки в горне доменной печи в период открытого канала чугунной летки оказывает влияние давление горных газов, вязкость расплава, сила тяжести, порозность коксовой насадки и т. д. Поэтому моделирование данного процесса имеет сложности в соблюдении всех этих критериев подобия. В связи с этим для анализа движения шлака в горне использовалось ориентировочное подобие с соблюдением условий автомодельности явлений путем экспериментального подбора параметров исследуемого процесса [5, 6].

Изложение материала и его результаты. В период выпуска продуктов плавки движение чугуна и шлака в горне доменной печи подчиняется законам гидродинамики, что подтверждается образованием депрессионной воронки в слое расплавов [7].

При этом изменение уровней чугуна и шлака по окружности горна в период выпуска продуктов плавки существенно отличается из-за более высокой вязкости последнего и расположенной в этой части доменной печи коксовой насадки, в которую

погружен данный расплав, что отражается на форме и размерах образующейся депрессионной воронки в чугуна и в шлаке.

В результате в момент закрытия выпуска продуктов плавки выше уровня чугунной летки в горне остается большое количество шлака, а жидкий чугун в этой части металлургического агрегата практически отсутствует, поэтому именно остаточный объем первого расплава оказывает влияние на процессы последующего накопления и выпуска продуктов плавки и на работу печи в целом.

Значительное влияние на количество остаточного шлака оказывают образовавшиеся в соответствующей части горна доменной печи центральная и периферийные малоактивные зоны (рис. 2), которые представляют собой очень вязкий шлак в слое кокса и поэтому приводят к изменению траектории движения шлака к чугунной летке в период выпуска. В результате растет уровень остаточного расплава и, как следствие, снижается накопительная способность горна для продуктов плавки [1, 8].

Современные технологии позволяют фиксировать уровень слоя жидкого шлака по окружности горна, благодаря чему технологический персонал доменной печи

может оперативно обнаруживать эти зоны. Однако для борьбы с ними требуется большое количество энергоресурсов, поэтому образование малоактивных зон в печах крайне нежелательно [9].

В секторе горна над чугунной леткой, которую регулярно открывают, образование малоактивных зон невозможно, так как в этой части печи уровень шлака снижается до оси выпускного канала и после закрытия выпуска заполняется более нагретыми продуктами плавки, чем с противоположной стороны металлургического агрегата.

В связи с этим, если изменить конфигурацию депрессионной воронки путем создания зоны вязкого шлакового расплава в секторе горна над чугунной леткой, которую планируют открыть, то можно снизить средний уровень остаточных продуктов плавки и, соответственно, их количество, в результате чего улучшить технико-экономические показатели работы металлургического агрегата.

Для оценки влияния зоны вязкого шлака на количество остаточного расплава в металлургическом агрегате были проведены эксперименты на холодной физической модели горна доменной печи.

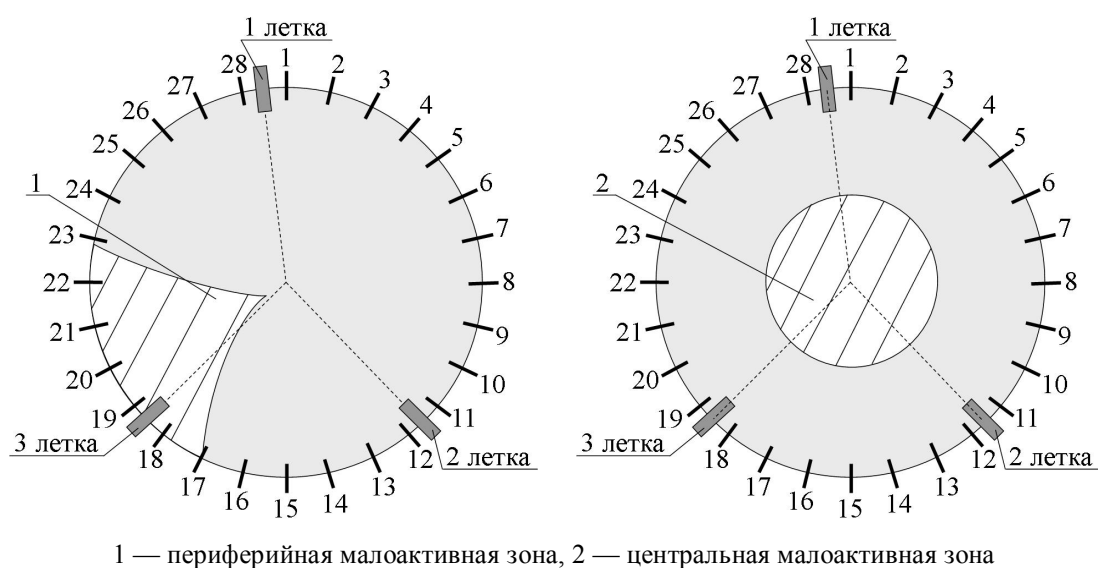


Рисунок 2 Схематичный пример горизонтального расположения периферийной и центральной малоактивных зон в горне доменной печи объемом 3000 м^3

В результате проведенных экспериментов были получены уровни остаточной жидкости в момент закрытия выпускного канала при наличии зоны вязкого шлака над чугунной леткой и без нее, как показано на рисунке 3. Определено, что предложенная искусственно созданная неравномерность вязкости шлакового расплава приводит к изменению формы депрессионной воронки в слое жидкости, при этом средний объем выпущенной жидкости в первой и во второй сериях опытов соответственно составил 840 г и 971 г, а средняя продолжительность выпуска — 119 с и 138 с. В связи с этим был сделан вывод, что создание зоны вязкого шлака в горне доменной печи объемом 3000 м^3 может привести к увеличению объема выпущенных продуктов плавки на 13,4 % и продолжительности их выпуска на 13,8 %.

На основании данных о работе доменной печи № 1 Филиала № 12 ЗАО «Внешторгсервис» (Алчевский металлургический комбинат) объемом 3000 м^3 в период с 1 декабря 2010 по 31 января 2011 года были рассчитаны

средние объемы продуктов плавки, поступающих в горн и выпускаемых из печи, которые составили $1,26 \text{ м}^3/\text{мин}$ и $1,72 \text{ м}^3/\text{мин}$ соответственно.

Средняя длительность выпуска на доменной печи № 1 Алчевского металлургического комбината при создании зоны вязкого шлака, согласно результатам экспериментов на холодной физической модели, может увеличиться на 8 минут, а объем выпущенных продуктов плавки — на $3,82 \text{ м}^3$.

В результате снижение средней высоты остаточного расплава в горне может составить

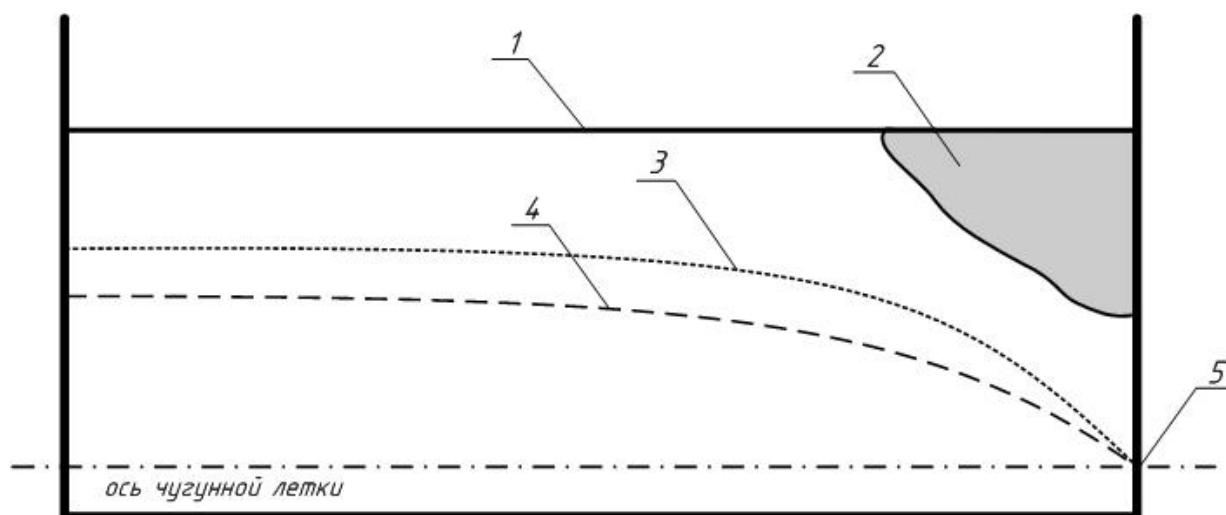
$$\Delta H_p = \frac{\Delta V}{S_2 \cdot \varepsilon} = \frac{3,82}{98,47 \cdot 0,33} = 0,12 \text{ м},$$

где ΔH_p — среднее изменение высоты слоя остаточных продуктов плавки, м;

ΔV — разница между объемами выпущенных продуктов плавки при наличии зоны вязкого шлака и при ее отсутствии, м^3 ;

S_2 — площадь горна доменной печи 3000 м^3 , м^2 ;

ε — порозность коксовой насадки.



1 — начальный уровень шлака, 2 — искусственно созданная малоактивная зона, 3 — уровень остаточного шлака в момент закрытия выпуска, 4 — уровень остаточного шлака при наличии искусственно созданной малоактивной зоны, 5 — чугунная летка

Рисунок 3 Уровень шлака в горне в момент закрытия чугунной летки при наличии и отсутствии искусственно созданной малоактивной зоны

В период наполнения доменной печи № 1 Алчевского металлургического комбината слой шлака в горне не должен превышать горизонт 3,4 м от уровня чугунной летки (уровень оси воздушных фурм находится на высоте 3,9 м), что позволит сохранить нормальное газораспределение по сечению печи и не допустить аварийных ситуаций.

На основании этого предложенное создание зоны вязкого шлака может привести к снижению средней высоты остаточных продуктов плавки на 3,5 % при условии, что перед открытием чугунной летки горн будет максимально заполнен.

Выводы и направление дальнейших исследований:

1. Создание зоны вязкого шлака в секторе горна над чугунной леткой в доменной печи объемом 3000 м³ приведет к из-

менению формы депрессионной воронки в слое расплавов и, как следствие, согласно результатам проведенных экспериментов, увеличению количества выпущенных продуктов плавки на 13,4 % и продолжительности выпуска на 13,8 %.

2. Согласно производственным данным работы доменной печи № 1 Алчевского металлургического комбината объемом 3000 м³, создание зоны вязкого шлака может позволить снизить среднюю высоту слоя остаточных продуктов плавки в горне на 0,12 м, что соответствует 3,5 % при максимальном наполнении горна расплавами, без негативного влияния на показатели доменной плавки.

3. В дальнейшем планируется провести исследования по определению необходимых размеров искусственно созданной зоны вязкого шлака.

Библиографический список

1. Анализ влияния режима выпусков на дренажные условия в горне доменной печи [Текст] / А. М. Новохатский, А. О. Диментьев, Г. Д. Михайлюк, А. В. Карпов // Сборник научных трудов ДонГТУ. — Алчевск, 2013. — Вып. 41. — С. 86–93.
2. Металлургия чугуна [Текст] / [Е. Ф. Вегман, Б. Н. Жеребин, А. Н. Похвиснев и др.] ; под ред. Ю. С. Юсфина. — [3-е изд.]. — М. : ИКЦ «Академкнига», 2004. — С. 275–383.
3. Порозность коксовой насадки в слое чугуна [Текст] / А. О. Диментьев, А. М. Новохатский, В. Н. Дорофеев, А. В. Карпов // Сборник научных трудов ДонГТУ. — Алчевск, 2012. — Вып. 38. — С. 133–139.
4. Новохатский, А. М. Математическая оценка движения жидких продуктов плавки при наличии малоактивной зоны в центре горна доменной печи [Текст] / А. М. Новохатский, А. О. Диментьев // Металл и литье Украины. — Киев, 2013. — № 8. — С. 13–15.
5. Физико-химические методы исследования металлургических процессов [Текст] / [П. П. Арсентьев, В. В. Яковлев, М. Г. Крашенинников, Л. А. Пронин, Е. С. Филиппов] ; под ред. П. П. Арсентьева. — М. : Металлургия, 1988. — 503 с.
6. Новохатский, А. М. Влияние тотермана на процесс движения шлака в горне доменной печи / А. М. Новохатский, А. О. Диментьев, Г. Д. Михайлюк // Металл и литье Украины. — Киев, 2013. — № 2. — С. 6–9.
7. Новохатский, А. М. Аналитический метод определения изменения размеров шлаковой депрессионной воронки в период выпуска продуктов плавки из горна доменной печи [Текст] / А. М. Новохатский // Металл и литье Украины. — 2008. — № 5. — С. 45–50.
8. Потеря полезного объема горна доменной печи [Текст] / А. М. Новохатский, А. О. Диментьев, А. В. Карпов, Г. Д. Михайлюк // Вісник Приазовського державного технічного університету : зб. наук. праць. — Мариуполь, 2012. — Вып. 25. — С. 47–50.
9. Новохатский, А. М. Система контроля состояния горна доменной печи [Текст] / А. М. Новохатский, Г. Д. Михайлюк // Черные металлы. — 2012. — № 8. — С. 13–17.

© Диментьев А. О., Власенко Д. А., Антишин А. С.

© Карпов А. В.

*Рекомендована к печати к.т.н., доц. каф. МЧМ ДонГТИ Должиковым В. В.,
зам. нач. ЦЛК Филиала № 12 ЗАО «Внеэторгсервис» Тарасовым В. Н.*

Статья поступила в редакцию 15.03.2021.

PhD in Engineering Dimentiev A. O., PhD in Engineering Vlasenko D. A., Antishin A. S. (DonSTI, Alchevsk, LPR), PhD in Engineering Karpov A. V. (LSTU, Lipetsk, the Russian Federation)

EFFECT OF UNEVEN VISCOSITY OF ACCUMULATED SLAG IN BLAST FURNACE HEARTH WITH A VOLUME OF 3000 m³ ON SMELTING PRODUCTS OUTPUT

There has been studied the effect of the increased viscosity slag located in the hearth area of blast furnace with a volume of 3000 m³ above the iron tap-hole through which the output is planned, on bed shape of the remaining melt in furnace at the moment of closing the outlet channel. It has been found that this may lead to a change in the shape of cone of depression formed in the smelting products layer, an increase in the duration of their outlet from metallurgical unit and a decrease in the average height of the residual melt around the circumference of metallurgical unit.

Key words: *blast furnace, hearth, slag viscosity, cone of depression, smelting products output.*