

*д.т.н. Новохатский А. М.,  
Блинов А. М.  
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина)*

## **АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕСУЛЬФУРАЦИИ ЧУГУНА ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ФОРМЫ СЛОЯ ШЛАКА В ГОРНЕ ДОМЕННОЙ ПЕЧИ**

*Проанализировано поведение серы в доменной печи, а также рассмотрены проблемы ее удаления из чугуна. Проведено исследование изменения содержания химических элементов в чугуне в течении выпуска продуктов плавки через канал чугунной летки. Теоретически обоснованы процессы удаления серы из чугуна в зависимости от изменения высоты слоя и формы поверхности шлака находящегося в горне при выпуске и наборе продуктов плавки.*

***Ключевые слова:** доменная печь, горн, чугун, шлак, сера, десульфурация, выпуск продуктов плавки, депрессионная воронка.*

### **Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.**

Увеличение потребности в малосернистой стали (менее 0,005 % S) обуславливает обеспечение конвертерного производства в жидком чугуне с низким ( $\leq 0,006$  %) и супернизким ( $\leq 0,001-0,002$  %) содержанием серы. Опыт работы в современных конвертерных цехах показал, что требования сталеплавильщиков очень жесткие [1]. Поэтому существует необходимость улучшение эффективности процесса удаления серы в доменном производстве.

Эффективность десульфурации чугуна, в доменном процессе зависит от температурного режима, основности и количества шлака. Удаление серы происходит при протекании капель сернистого чугуна, через слой шлака. Известно, что во время выпуска продуктов плавки слой шлака по окружности горна изменяется не одинаково. По окончании шлак образует депрессионную воронку [2].

Увеличение температуры для улучшения процесса десульфурации неизбежно приводит к повышению содержания кремния в чугуне, но сталеплавильщики выдвигают ограничения также и по его количеству в расплаве, что не позволяет использовать данный способ. Повышение основности приводит к наращиванию количества шлака образующегося в печи, что отрицательно сказывается на технико-

экономических показателях плавки. Поэтому перед доменщиками возникла проблема повышения эффективности процесса десульфурации чугуна, не прибегая к традиционным методам.

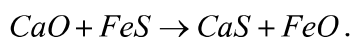
**Постановка задачи.** Привести теоретическое обоснование способа улучшения эффективности удаления серы за счет повышения десульфурующей способности работы горна.

**Изложение материала и его результаты.** В доменную печь 70-90% серы вносится коксом. В коксе сера находится в виде трех модификаций: органической, сульфидной и сульфатной, причем первые две являются основными компонентами серы кокса.

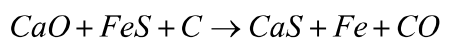
В рудных материалах сера находится в виде сульфидов железа (пирит  $\text{FeS}_2$ , пирротин  $\text{Fe}_{1+x}\text{S}$ ) и сульфатов ( $\text{CaSO}_4$ ,  $\text{BaSO}_4$ ). Однако при подготовке руд к плавке происходит перестройка соединений, содержащих серу. Остаточная сера в агломерате находится в виде сульфидов железа и кальция, сульфатов кальция и бария, а в окатышах в основном в виде сульфата кальция.

В доменной печи сера распределяется между чугуном, шлаком и газами. В чугуне при 1000-1500 °C растворяется до 0,9% S. По мере опускания шихты в печи происходит перераспределение серы между компонентами [3].

Предполагается [4], что удаление серы из чугуна происходит при прохождении его капель через слой шлака. Основной реакцией десульфурации чугуна в доменной печи является реакция взаимодействия оксида кальция с сульфидом железа:



Также совместно с этой реакцией протекает реакция восстановления закиси железа. Суммарная реакция десульфурации имеет вид:



Аналогичная реакция может протекать и при взаимодействии с магнезией, но ее значение в десульфурации чугуна во много раз меньше.

На содержание серы в чугуне значительное влияние оказывает количество и форма шлака в горне. При различных высотах слоев шлака изменяется продолжительность контакта поступающих сверху капель чугуна, что приводит к смене условий его десульфурации. Поскольку размер слоя шлака связан с количеством чугуна в горне, некоторые исследователи сделали вывод, что на содержание серы в чугуне также влияет масса выпуска [5]. Переход работы доменной печи на режим отработки продуктов плавки через чугунную лётку без выдачи верхнего шлака способствовал увеличению слоя шлака в горне и снижению содержания серы в чугуне [6]. При работе с шлаковой лёткой уменьшается слой шлака в горне, что приводит к ухудшению степени десульфурации чугуна.

В процессе выпуска продуктов плавки из доменной печи уровень расплава по окружности горна уменьшается не равномерно. Около чугунной лётки высота слоя шлака снижается быстрее, чем с диаметрально противоположной стороны горна. По окончании выпуска в печи около выпускного отверстия остается шлак, слой которого имеет наклонную поверхность, образуя так называемую депрессионную воронку.

В период накопления продуктов плавки за счет перетекания и наполнения депрессионная воронка постепенно выравнивается, и через 15-20 минут «зеркало» шлака приобретает относительно ровную поверхность. Далее уровень расплава увеличивается равномерно. Принцип изменения уровня продуктов плавки в горне доменной печи повторяется от выпуска к выпуску.

Как было указано выше на процесс десульфурации значительно влияет высота слоя шлака, которая различна, следовательно при отсутствии перемешивания чугуна в горне доменной печи содержание серы в различных порциях металла будет разным.

В начальный период выпуска из металлоприемника выходят наиболее сернистые порции чугуна, расположенные в периферийных и нижних участках горна доменной печи. Чугун, вытекающий из центральных и вышерасположенных участков, имеет более низкое содержание серы. Последними вытекают порции свежего сернистого чугуна, который только что попал в горн и соответственно мало взаимодействовал со шлаком.

Для подтверждения вышеизложенного были произведены исследования изменения химического состава продуктов плавки в течении выпуска, на доменной печи полезным объёмом 1386 м<sup>3</sup> завода ПАО "ЕМЗ". На протяжении пяти выпусков продуктов плавки, в каждом выпуске, через равные промежутки времени, были отобраны по семь проб чугуна. Химический анализ чугуна приведен в таблице 1.

Также во время третьего выпуска и последующего наполнения горна контролировался уровень шлака при помощи системы контроля состояния горна доменной печи [7]. Выпуск и наполнение условно были разделены на три периода каждый (рис. 1, 2). Анализируя полученные данные следует отметить, что содержание в чугуне С, Mn, Si, и P в период выпуска продуктов плавки через канал чугунной лётки практически не подчиняется какой-либо закономерности.

Таблица 1 – Химический анализ проб чугуна

Химический анализ проб чугуна 1-го выпуска					
№ пробы	C	Mn	Si	S	P
1	4,48	0,14	0,74	0,044	0,041
2	4,45	0,14	1,03	0,040	0,043
3	4,43	0,14	1,04	0,035	0,043
4	4,42	0,15	0,68	0,033	0,042
5	4,41	0,15	0,62	0,036	0,044
6	4,42	0,15	0,58	0,035	0,042
7	4,43	0,15	0,61	0,042	0,042
Химический анализ проб чугуна 2-го выпуска					
№ пробы	C	Mn	Si	S	P
1	4,5	0,16	1,08	0,046	0,044
2	4,49	0,17	1,02	0,038	0,045
3	4,48	0,16	1,07	0,027	0,050
4	4,46	0,16	0,99	0,026	0,046
5	4,45	0,15	0,92	0,024	0,046
6	4,44	0,16	0,92	0,028	0,045
7	4,43	0,17	0,93	0,040	0,045
Химический анализ проб чугуна 3-го выпуска					
№ пробы	C	Mn	Si	S	P
1	4,54	0,15	1,3	0,022	0,044
2	4,52	0,16	1,38	0,030	0,047
3	4,51	0,16	1,23	0,017	0,047
4	4,51	0,16	1,18	0,014	0,047
5	4,50	0,16	1,06	0,016	0,046
6	4,51	0,16	1,09	0,018	0,045
7	4,51	0,15	1,08	0,022	0,045
Химический анализ проб чугуна 4-го выпуска					
№ пробы	C	Mn	Si	S	P
1	4,7	0,14	0,89	0,026	0,04
2	4,7	0,15	0,86	0,022	0,038
3	4,69	0,16	0,94	0,018	0,04
4	4,69	0,16	0,91	0,016	0,043
5	4,68	0,17	0,90	0,016	0,043
6	4,66	0,16	0,91	0,016	0,046
7	4,65	0,17	0,87	0,022	0,045
Химический анализ проб чугуна 5-го выпуска					
№ пробы	C	Mn	Si	S	P
1	4,52	0,17	1,04	0,034	0,044
2	4,50	0,17	1,04	0,030	0,045
3	4,47	0,16	1,03	0,027	0,045
4	4,47	0,16	1,02	0,025	0,045
5	4,45	0,16	1,00	0,029	0,043
6	4,42	0,15	0,94	0,026	0,042
7	4,43	0,15	0,94	0,023	0,042

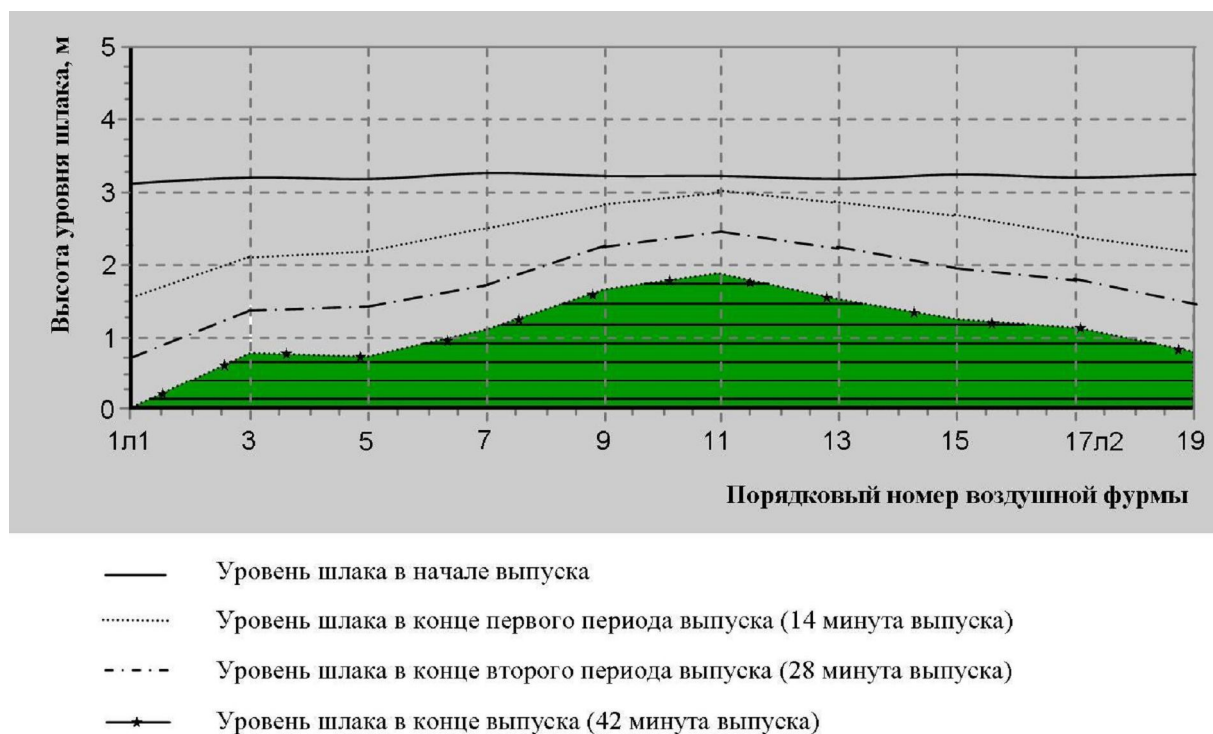


Рисунок 1 – Изменение уровня шлака во время выпуска продуктов плавки

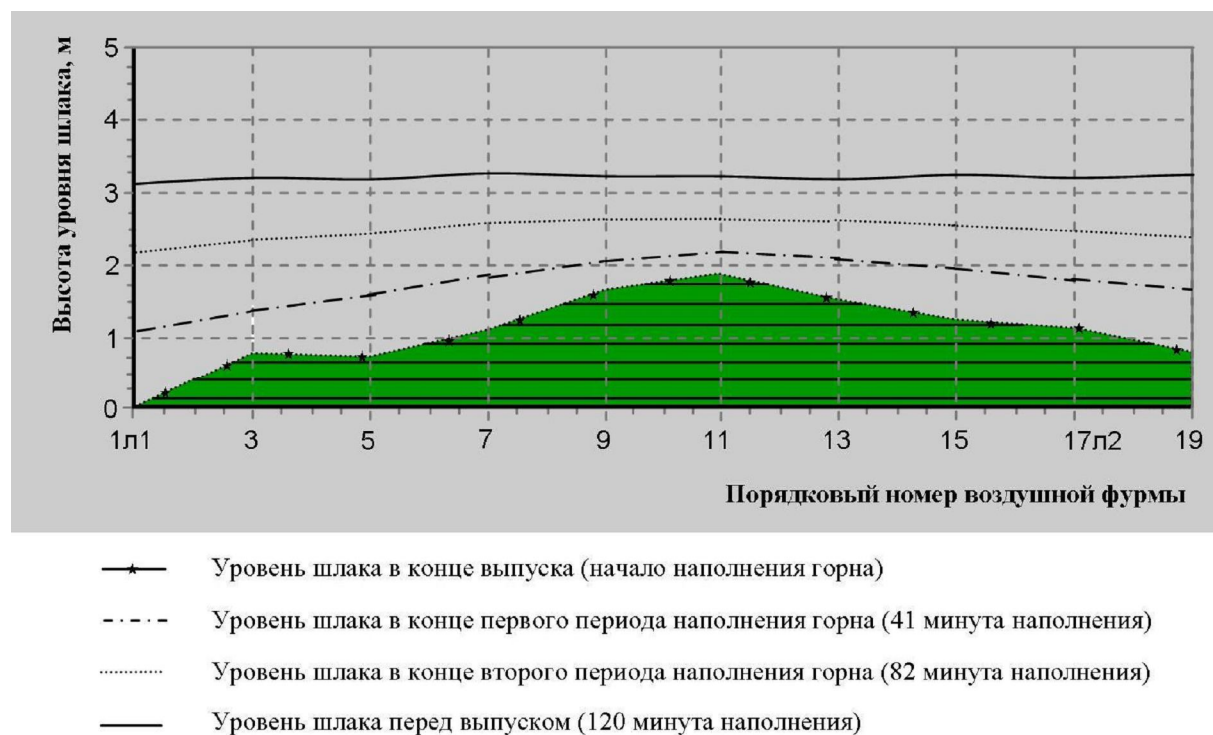


Рисунок 2 – Изменение уровня шлака во время наполнения горна

Особый интерес представляет изменение содержания серы в чугуна в течение выпуска, которое имеет строгую закономерность (рис. 3). В начале выпуска наблюдаются порции чугуна с высоким содержанием серы. По мере выпуска ее количество уменьшается практически в два раза, и к концу выпуска повышается на первоначальный уровень.

Неравномерность состава продуктов плавки по диаметру и высоте горна формируется во время накопления жидких продуктов плавки. Усреднение химического состава шлака и чугуна в печи не происходит, поскольку в слое расплавов практически отсутствует перемешивание.

На основании полученных данных по изменению содержания серы в чугуна и уровня шлака в течении выпуска, авторы предполагают что после окончания выдачи продуктов плавки, из-за образования депрессионной воронки в районе чугунной лётки шлак отсутствует и сера совместно с

каплями чугуна скапливается в металлоприемнике. Поэтому к окончанию выпуска и в начале следующего выпуска выходят слои чугуна с высоким содержанием серы.

Таким образом определено, что на процесс десульфурации влияет не только количество шлака, но и его уровень по площади горна доменной печи. Улучшить процесс удаления серы из чугуна без повышения основности и температуры, возможно управлением высоты слоя шлака в горне, а именно не допуская образования депрессионной воронки.

**Выводы и направление дальнейших исследований.**

1. Рассмотрена эффективность десульфурации чугуна в зависимости от основности и температуры шлака. Также указано влияние высоты слоя шлака на процесс удаления серы, однако при этом на текущий момент не учитывается изменение величины уровня шлака при выпуске продуктов плавки.

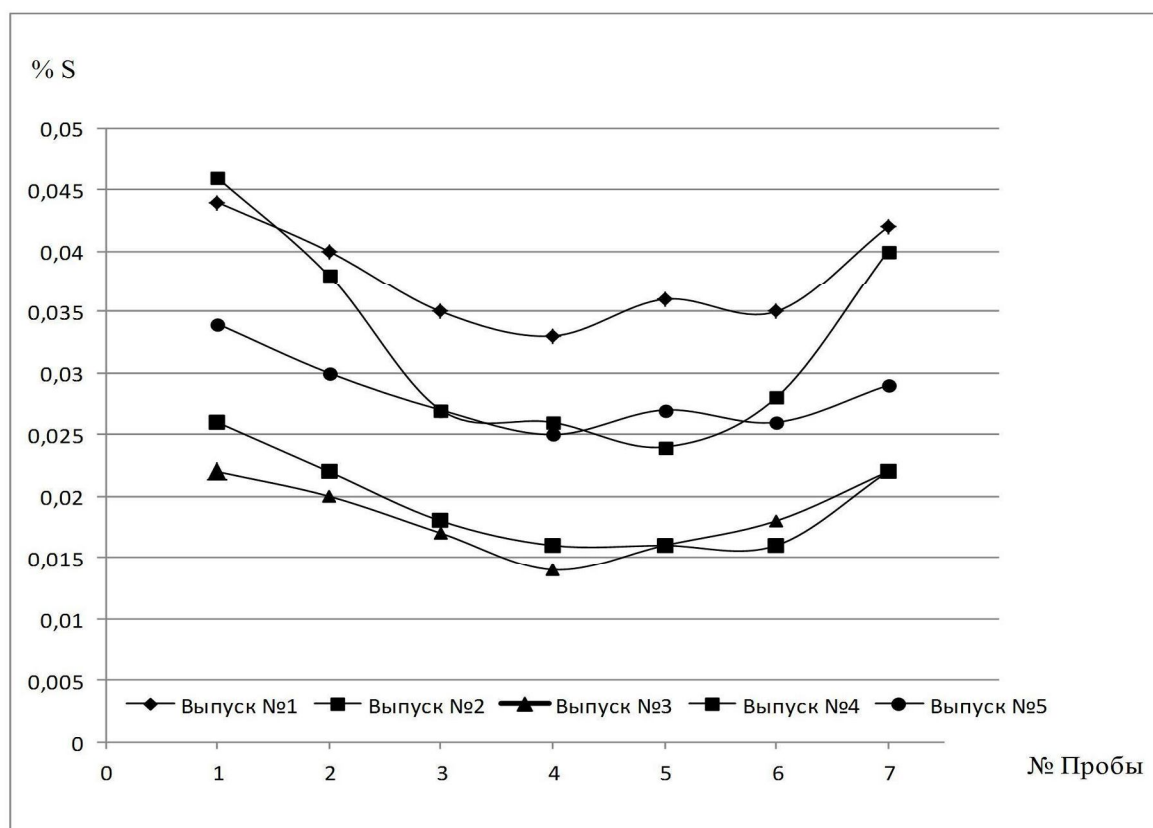


Рисунок 3 – Изменение содержания серы в чугуна во время выпуска

2. Проанализировано изменение содержания серы в чугуна на протяжении выпуска продуктов плавки. Для этого в течении пяти выпусков из доменной печи, через равные промежутки времени, были отобраны по семь проб чугуна. На основании химических анализов этих проб было установлено, что в начале выпуска появляются порции чугуна с высоким содержанием серы, а по мере его течения содержание серы уменьшается практически в два раза, а к концу выдачи продуктов

плавки повышается на первоначальный уровень. Авторами было выдвинуто предположение, что это явление связано с образованием депрессионной воронки в слое шлака во время выпуска.

3. В дальнейших исследованиях ставится задача обосновать и получить дальнейшее развитие теории удаления серы из чугуна, а также предусмотреть разработку нового режима выпуска продуктов плавки способствующего повышению десульфурующей способности работы горна.

#### Библиографический список

1. Большаков В.И. Технология особо глубокой десульфурации чугуна / В.И. Большаков, А.Ф. Шевченко // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2009. – №6. – С 9–12.
2. Диментьев А.О. Определение местоположения и размеров тотермана в горне доменной печи / А.О. Диментьев, В.Н. Дорофеев, А.М. Новохатский // *Сборник научных трудов Донбасского государственного технического университета*. – Вып. 39. – 2013. – С. 111–115.
3. *Металлургия чугуна: учебник для вузов* / [Е.Ф. Вегман, Б.Н. Жеребин, А.Н. Похвиснев и др.]. – М.: «Академкнига», 2004. – 775 с.
4. Воловик Г.А. Сера в доменной шихте и борьба с ней при выплавке чугуна : автореф. дис. на соискание науч. степени докт. техн. наук / Г.А. Воловик. – Днепропетровск, 1966. – 50 с.
5. Исследование движения чугуна и шлака в горне доменной печи / Н.Н. Баборыкин, А.А. Зборовский, А.И. Потапов [и др.] // *Сталь*. – 1960. – № 1. – С. 19–25.
6. Гаврилюк Л.Я. Снижение содержания серы в чугуна путём увеличения числа выпусков / Л.Я. Гаврилюк, В.Н. Прохоров // *Сталь*. – 1964. – № 8. – С. 678–680.
7. Новохатский А.М. Система контроля состояния горна доменной печи / А.М. Новохатский, Г.Д. Михайлюк // *Черные металлы*. – 2012. – №8. – С. 13–17.

*Рекомендована к печати д.т.н., проф. Петрушовым С. Н.*

*Статья поступила в редакцию 04.11.13*

**д.т.н. Новохатський О. М., Блинов О. М.** (ДонДТУ, м. Алчевськ, Україна)

#### **АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ДЕСУЛЬФУРАЦІЇ ЧАВУНУ ПРИ ЗМІНІ ФОРМИ ШАРУ ШЛАКУ В ГОРНІ ДОМЕННОЇ ПЕЧІ**

*Проаналізована поведінка сірки в доменній печі, а також розглянуті проблеми її видалення з чавуну. Проведено дослідження зміни змісту хімічних елементів в чавуні в течії випуску продуктів плавки через канал чавунної льотки. Теоретично обґрунтовані процеси видалення сірки з чавуну залежно від зміни висоти шару і форми поверхні шлаку того, що знаходиться в горні при випуску і наборі продуктів плавки.*

**Ключові слова:** доменна піч, горн, чавун, шлак, сірка, десульфуріація, випуск продуктів плавки, депресивна воронка.

**Novohatskiy A. M., Blinov A. M.** (DonSTU, Alchevsk, Ukraine)

#### **ANALYSIS OF EFFICIENCY OF DESULPHURIZING OF CAST-IRON AT CHANGE OF FORM OF LAYER OF SLAG IN HORN OF HIGH FURNACE**

*Behavior of sulphur is analysed in a high furnace, and also the problems of her moving away are considered from cast-iron. A study of change of maintenance of chemical elements is undertaken in cast-iron in the flow of producing of foods of melting through the channel of iron notch. In theory the processes of moving away of sulphur are reasonable from cast-iron depending on the change of height of layer and form of surface of being slag in a furnace at producing and set of foods of melting.*

**Key words:** high furnace, furnace, cast-iron, slag, sulphur, desulphurizing, producing of foods of melting, depressed crater.