

УДК 669.162

к.т.н. Диментьев А. О.  
(ДонГТИ, г. Алчевск, ЛНР, [dimentev@inbox.ru](mailto:dimentev@inbox.ru)),  
к.т.н. Карпов А. В.  
(ЛГТУ, г. Липецк, РФ),  
Блинов А. М.  
(Филиал № 12 ЗАО «Внеэксурсервис», г. Алчевск, ЛНР)

### УВЕЛИЧЕНИЕ ДОЛИ ЧУГУНА С ЗАДАНЫМ СОДЕРЖАНИЕМ КРЕМНИЯ, ПРОИЗВЕДЕННОГО В ДОМЕННОЙ ПЕЧИ

*Проведено исследование по определению изменения содержания кремния в чугунах на протяжении выпуска продуктов плавки из доменной печи объемом 1386 м<sup>3</sup> Филиала № 2 ЗАО «Внеэксурсервис». В результате определено, что выпускаемый сплав можно разделить на два вида: с высоким содержанием кремния (первая половина выпуска) и с низким (вторая половина выпуска).*

*На основании этого авторами предложено для увеличения среднегодового объема чугуна с заданным содержанием кремния в середине выпуска продуктов плавки, опираясь на результаты химического состава первой пробы сплава, выпускаемый чугун направлять в пустой ковш или миксеровоз, что позволит повысить долю качественной по содержанию кремния продукции на 1–4 %/год при условии несоответствия [Si] от 0 до 0,21 %.*

**Ключевые слова:** доменная печь, горн, содержание кремния в чугунах, выпуск продуктов плавки, качество чугуна.

**Проблема и её связь с научными и практическими задачами.** Для современных условий кислородно-конвертерного передела химический состав чугуна должен отвечать требованиям, которые определяют массовую долю основных элементов в сплаве. В Российской Федерации его химический состав задается согласно ГОСТ 805–95: кремний 0,4–0,9 %, фосфор — не более 0,15 % и сера — не более 0,020 %.

Зарубежные металлурги уже давно считают достаточно серьезной проблемой снижение содержания кремния в передельном чугунах, полученного в доменной печи, так как при организации технологии выплавки необходимо одновременно сохранять благоприятные условия для десульфурации сплава [1–4].

Особенно актуальна данная проблема для шихтовых условий металлургических предприятий Донбасса, работающих на высокосернистом коксе, полученном из донецких углей. Применить зарубежный опыт на них невозможно, так как эконо-

мически нецелесообразно пренебрегать увеличением содержания серы в чугунах на 50–100 % [1].

**Постановка задачи.** Разработать предложения по увеличению доли чугуна с заданным содержанием кремния, произведенного в доменной печи, для дальнейшего его использования в кислородно-конвертерном переделе.

**Методика исследования.** Определение и анализ изменения содержания кремния в чугунах на протяжении выпуска продуктов плавки из доменной печи путем отбора семи проб жидкого сплава через равные промежутки времени на литейном поле металлургического агрегата.

**Изложение материала и его результаты.** В доменной печи восстановление кремния в основном происходит при контакте жидкого чугуна с первичным шлаком и с твердым углеродом кокса при достаточно высоких температурах. Процесс протекает в несколько этапов с образованием летучего промежуточного моноокси-

да кремния. Поэтому контакт между чугуном и газом способствует увеличению доли кремния в накапливаемом сплаве. Чем выше расположена зона плавления (когезии) в печи, тем продолжительнее этот контакт и, соответственно, выше температура продуктов плавки [1–4].

Однако в горне восстановленный кремний может повторно окисляться при движении капель чугуна через слой шлака, содержащий более 1 % FeO.

На доменных печах с двумя чугунными лётками, расположенными обычно под углом  $60^\circ$ , в противоположной от лётки части горна после окончания выпуска продуктов плавки остается значительное количество шлака. Накапливаемый в этой части металлоприемника чугун будет иметь в своем составе меньше восстановленного кремния, чем в районе чугунных лётки [5].

До 80-х годов XX столетия уровень чугуна и шлака в горне доменной печи оценивали на основе опытных данных и балансовых расчетов. Поэтому считалось, что для продуктов плавки он изменяется равномерно по всей площади металлоприемника в течение всего выпуска.

Разработанная в ГОУ ВО ЛНР «ДонГТИ» система контроля состояния горна позволила установить, что уровень чугуна и шлака ме-

няется неравномерно по сечению горна и зависит от состояния коксовой насадки и физико-химических свойств продуктов плавки. В течение первых 10–15 мин после вскрытия канала чугунной лётки из горна печи вытекает только чугун. В этот период времени в результате турбулентности потока в секторе металлоприемника около канала лётки образуется так называемая депрессионная воронка. В слое шлака она также образуется, только гораздо большего размера [6, 7].

Физическое моделирование движения шлака в горне доменной печи, проведенное проф. Новохатским А. М., показало, что линии тока направлены в сторону канала чугунной лётки, а линии равных скоростей в вертикальной и горизонтальной плоскости расположены по окружности, образуя в объеме шаровую поверхность. Центром этой поверхности является начало лётки в печи. Сверху поверхность рассечена зеркалом шлака, а снизу — зеркалом чугуна (рис. 1, а) [8].

Однако у авторов работы [3] траектории движения чугуна в металлоприемнике в период выпуска продуктов плавки отличаются, так как они рассматривали их при «сидящем на лещади» «тотермане» и при «плавающем» (рис. 1, б) соответственно сверху и снизу.

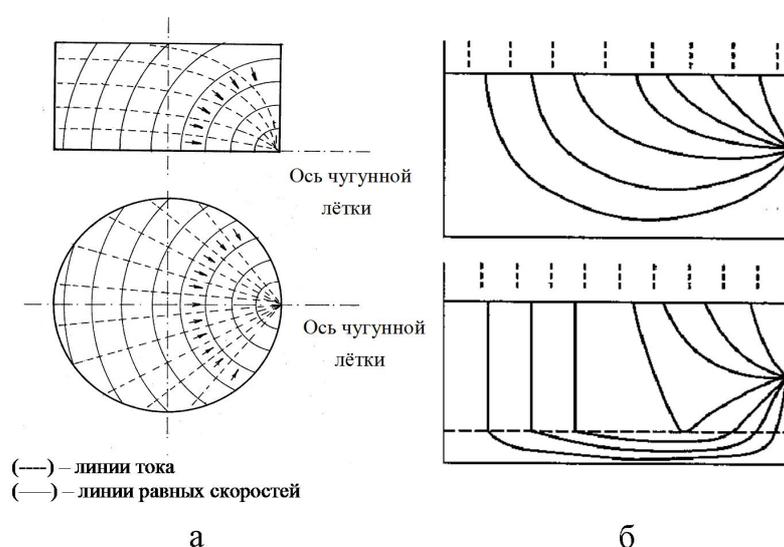


Рисунок 1 Линии тока движения продуктов плавки в горне доменной печи

Таким образом, на основании проведенного анализа литературных данных был сделан вывод, что слой чугуна в доменной печи после открытия чугунной летки изменяется практически равномерно по окружности горна до уровня оси выпускного канала с образованием небольшой депрессионной воронки. После этого, согласно рассмотренным линиям тока, должна возрасти доля чугуна в общем объеме, проходящего через так называемый мертвый слой, что, вероятно, отразится на химическом составе выпускаемого сплава и может быть зафиксировано в процессе выпуска продуктов плавки.

С этой целью на доменной печи объемом 1386 м<sup>3</sup> Филиала № 2 ЗАО «Внешторгсервис» проведено исследование по определению содержания кремния в чугуне ([Si]) на протяжении выпуска продуктов плавки, где в течении периода между открытием и закрытием чугунной летки семь раз отбирались пробы жидкого сплава через равные промежутки времени на пяти выпусках. Результаты представлены в таблице 1 и на рисунке 2.

Как видно на рисунке 2, изменение содержания кремния в чугуне на разных выпусках неоднозначно, однако в целом можно отметить постепенное уменьшение [Si], причем разница между начальным и конечным значениями колеблется в больших пределах от 0,02 до 0,22 %.

На выпусках № 2, № 4 и № 5 изменения [Si] практически не наблюдается, а на

выпусках № 1 и № 3 видно, что содержание кремния в чугуне сразу после открытия чугунной летки растет, а ближе к ее закрытию снижается. На рисунке 3 представлены графики, построенные по усредненным значениям доли кремния в сплаве.

В результате выпускаемый чугун из доменной печи в течение выпуска продуктов плавки можно разделить по содержанию кремния на два вида: с высоким (период I) и с низким (период II). Разница средних значений рассматриваемой величины составляет 0,11 % и 0,21 % для выпусков № 2, № 4, № 5 и № 1, № 3 соответственно.

В связи с этим в середине выпуска продуктов плавки на основании химического состава первой пробы можно разделить чугун по содержанию кремния, организовав его разливку в разные ковши или миксеровозы. Таким образом, половина выпущенного сплава может иметь заданное качество, при условии несоответствия от 0 до 0,21 % (для доменной печи объемом 1386 м<sup>3</sup> Филиала № 2 ЗАО «Внешторгсервис», на других печах эта величина может отличаться).

Проведенный анализ посуточных данных работы доменной печи одного из ведущих предприятий СНГ за период около 2,5 лет показал, что предложенные мероприятия по организации выпуска чугуна могут позволить увеличить долю качественной по содержанию кремния продукции на 1–4 % (на этом предприятии сделан упор по выполнению данного критерия качества).

Таблица 1

Изменение содержания кремния в чугуне в течение выпуска продуктов плавки

Номер пробы	Выпуск № 1	Выпуск № 2	Выпуск № 3	Выпуск № 4	Выпуск № 5
1	0,74	1,08	1,3	0,89	1,04
2	1,03	1,02	1,38	0,86	1,04
3	1,04	1,07	1,23	0,94	1,03
4	0,68	0,99	1,18	0,91	1,02
5	0,62	0,92	1,06	0,9	1
6	0,58	0,92	1,09	0,91	0,94
7	0,61	0,93	1,08	0,87	0,94

## МЕТАЛЛУРГИЯ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

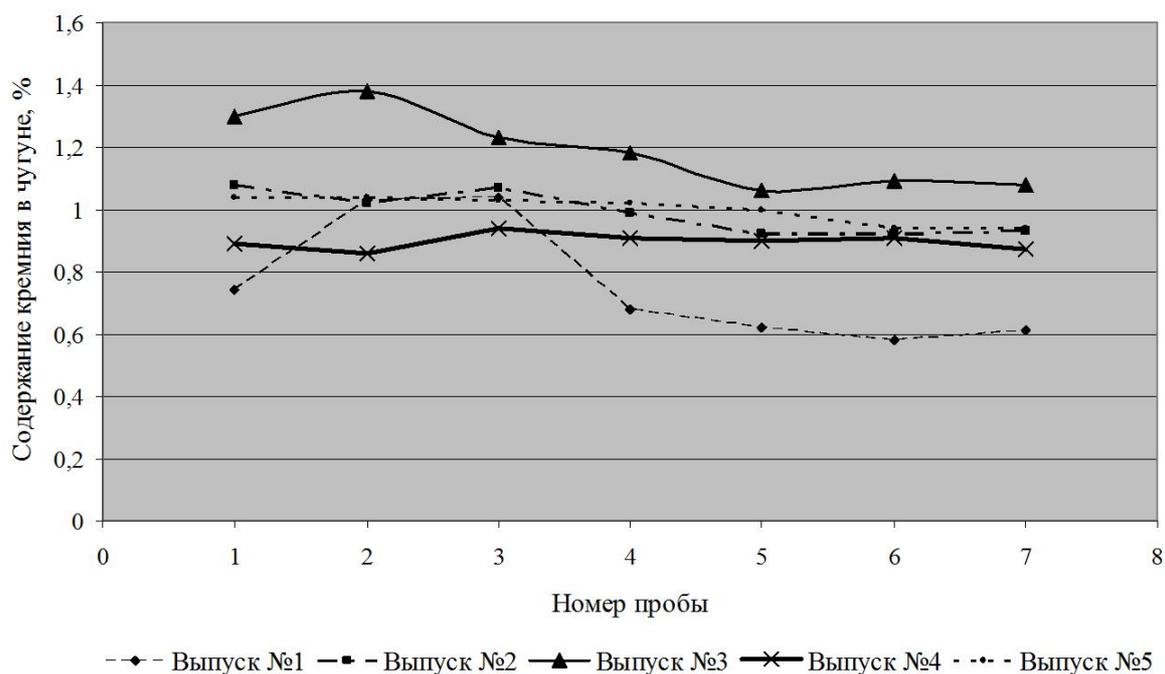


Рисунок 2 Изменение содержания кремния в чугуна в течение выпуска продуктов плавки на доменной печи объемом 1386 м<sup>3</sup> Филиала № 2 ЗАО «Внешторгсервис»

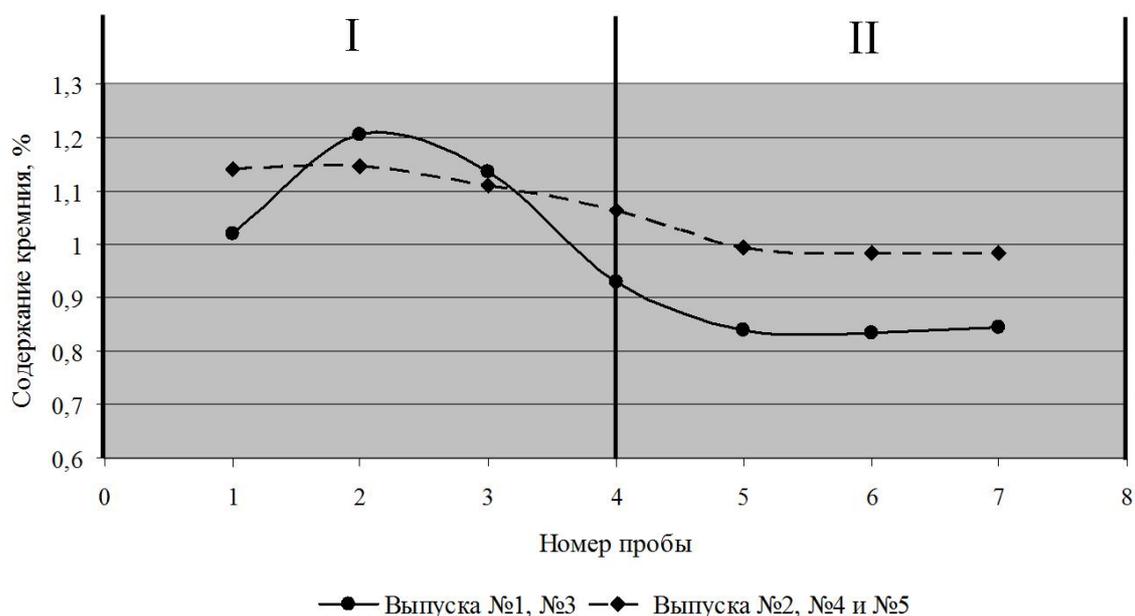


Рисунок 3 Изменение усредненных значений содержания кремния в чугуна в течение групп выпусков продуктов плавки на доменной печи объемом 1386 м<sup>3</sup> Филиала № 2 ЗАО «Внешторгсервис»

### Выводы и направление дальнейших исследований:

1. В течение выпуска продуктов плавки из доменной печи чугун по химическому

составу можно разделить на два вида: с высоким содержанием кремния (первая половина выпуска) и с низким (вторая половина выпуска).

2. Для увеличения доли чугуна с заданным содержанием кремния, произведенного в доменной печи с двумя чугунными лётками, с целью в дальнейшем использовать его в кислородно-конвертерном переделе предлагается при необходимости в середине выпуска продуктов плавки (обычно это около 30 минут после открытия лётки), на основании химического состава первой пробы, выпускаемый чугун направить в пустой ковш или миксеровоз, что позволит

повысить долю качественной по содержанию кремния продукции на 1–4 %/год при условии несоответствия [Si] от 0 до 0,21 %.

3. В дальнейшем целесообразно провести эксперименты по апробированию предложенного способа на литейном поле действующей доменной печи, оборудованной двумя чугунными лётками, а также изучить изменение содержания других химических элементов, входящих в состав чугуна, в течение выпуска продуктов плавки.

### Библиографический список

1. Иноземцев, Н. С. Основы технологии доменной плавки [Текст] : учебное пособие / Н. С. Иноземцев, С. А. Дубровский, В. А. Дудина и др. — Липецк, 2006. — 128 с.
2. Геердес, М. Введение в современный доменный процесс [Текст] / М. Геердес, Х. Токсонеус, К. ван дер Влит ; пер. с англ. И. Ф. Курунов. — Липецк, 2004. — 131 с.
3. Вегман, Е. Ф. 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. — 774 с.
4. Готлиб, А. Д. Доменный процесс [Текст] / А. Д. Готлиб. — М. : Металлургия, 1966. — 504 с.
5. Новохатский, А. М. 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 Донбасского государственного технического университета. — Алчевск, 2013. — Вып. 41. — С. 86–93.
6. Новохатский, А. М. Система контроля состояния горна доменной печи [Текст] / А. М. Новохатский, Г. Д. Михайлюк // Черные металлы. — 2012. — № 8. — С. 13–17.
7. Новохатский, А. М. Особенности работы горна доменной печи при выпуске чугуна и шлака через канал чугунной лётки [Текст] / А. М. Новохатский // Металл и литье Украины. — 2009. — № 1. — С. 9–12.
8. Новохатский, А. М. Изучение закономерностей движения расплавов в горне доменной печи [Текст] / А. М. Новохатский // Сб. научн. трудов. ДонГТУ. — 2002. — Вып. 15. — С. 207–213.

© Диментьев А. О.

© Карпов А. В.

© Блинов А. М.

*Рекомендована к печати к.т.н., проф., зав. каф. МЧМ ДонГТИ Куберским С. В., к.т.н., доц. каф. МТ ЛГТУ Шипельниковым А. А.*

Статья поступила в редакцию 15.10.2020.

**PhD in Engineering Dimentev A. O.** (DonSTI, Alhevsk, LPR, [dimentev@inbox.ru](mailto:dimentev@inbox.ru)),

**PhD in Engineering Karpov A. V.** (LSTU, Lipetsk, the Russian Federation),

**Blinov A. M.** (Branch № 12 ZAO «Vneshtorgservis» (Closed Joint-Stock Company), Alhevsk, LPR)

### INCREASING THE PROPORTION OF CAST IRON WITH A GIVEN SILICON CONTENT PRODUCED IN THE BLAST FURNACE

*A study was carried out to determine changes of silicon content in cast iron during the output of melting products from the blast furnace of Branch № 2 ZAO «Vneshtorgservis» with a volume of 1386 m<sup>3</sup>. As a result, it was determined that the produced alloy can be divided into two types: with a high silicon content (the first half of output) and with a low one (the second half of output).*

*The authors therefore proposed in order to increase the average annual amount of cast iron with a given amount of silicon in the middle of output of melting products based on chemical composition of the first alloy sample, to head the produced cast iron into the empty ladle or torpedo ladles that will allow to increase the proportion of high-quality content silicon production by 1–4 %/year, in case of discrepancy [Si] from 0 to 0,21 %.*

**Key words:** *blast furnace, hearth, silicon content in cast iron, output of melting products, quality of cast iron.*