

**К. Ф. Чмырков, Б. М. Бойченко*, К. Г. Низяев*, М. М. Мазов, В. А. Петренко*,
Л. С. Молчанов*, Е. В. Синегин*, В. А. Ребриков**

ПАО «ЕВРАЗ – Днепропетровский металлургический завод им. Петровского», Днепропетровск

*Национальная металлургическая академия Украины, Днепропетровск

Состояние и перспективы снижения расхода жидкого чугуна в конвертерном производстве ПАО «ЕВРАЗ – ДМЗ им. Петровского»

Обобщены результаты исследований по снижению расхода жидкого чугуна в условиях ПАО «Евраз – ДМЗ им. Петровского», а также проанализированы дальнейшие пути развития технологий снижения расхода жидкого чугуна. Показаны возможности снижения расхода жидкого чугуна на 85-90 кг/т.

Ключевые слова: классификация, углеводородсодержащий теплоноситель, кремнийсодержащий теплоноситель, жидкий чугун, организационные мероприятия

Постановка проблемы. В настоящее время – время рыночных отношений и строгих экономических расчётов – важной задачей металлургов является обеспечение гибкого и восприимчивого к ценам конкретного региона реагирования на колебания цен на входящее сырьё и готовую продукцию.

При изменяющейся конъюнктуре цен на жидкий чугун и металлолом сталеплавильщики вынуждены корректировать технологический режим конвертерной плавки с целью обеспечения ее теплового баланса.

Для замены металлолома используют различные, в том числе окисные, железосодержащие материалы: твердый чугун, синтиком, горячебрикетированное железо, железосодержащие брикеты и др., с помощью которых можно на заключительной стадии плавки или по её ходу выйти на заданную температуру металла на повалке [1-3].

Для снижения расхода жидкого чугуна необходимо повысить приходную часть теплового баланса

конвертерной плавки. По нашему мнению, классифицировать эти методы можно по следующим направлениям (табл.1):

- подогрев материалов;
- ввод теплоносителей в конвертер;
- дожигание СО до СО₂ в полости конвертера;
- организационно-технологические.

Анализ предыдущих исследований и публикаций. В течении 1995-2015 гг. в конвертерном цехе ПАО «Евраз – ДМЗ им. Петровского» были проведены исследования, направленные на снижение расхода чугуна в шихте конвертерной плавки.

В 1995-1997 гг. внедрена технология конвертерной плавки с промежуточным скачиванием шлака, как вынужденная мера при переработке чугунов, в которых содержание кремния было выше 0,9 %. Несмотря на это, данная операция обеспечила снижение расхода жидкого чугуна в количестве до 15 кг/т [4,5].

В 2008-2009 гг. в условиях ПАО «Евраз – ДМЗ им. Петровского» был проведён ряд

Таблица 1

Классификация методов снижения расхода жидкого чугуна

Подогрев материалов	Ввод теплоносителей	Организационные	Дожигание СО до СО₂ в полости конвертера
Подогрев лома при использовании вида теплоносителя Уголь Термоантрацит Отсев коксика	углеродсодержащие и углеводородсодержащие	повышение температуры чугуна	
	уголь		
	термоантрацит	промежуточное скачивание шлака	
	мазут		
Скрапоугольные пакеты	природный газ	контроль за температурой металла и содержанием углерода в расплаве	
Подогрев кислорода	кремнийсодержащие		
Подогрев сыпучих	кремнисты лом	сокращение паузы	
Известь или известняк	бедный ферросилиций		
Магнезиальные флюсы	карбид кремния или кальция		
Плавиновый шпат	повышение содержания марганца или кремния в чугуне		

исследований по подогреву лома в полости конвертера углеродсодержащими материалами. Так, было опробовано использование углей марки ТОМ и коксовой просевки [6]. Эффект от данной технологии наблюдается в экономии жидкого чугуна в соотношении: 1 кг углеродсодержащего материала = снижению расхода жидкого чугуна на 1,2-1,4 кг/т.

В 2009-2010 гг. была отработана технология применения высококремнистого лома с содержанием кремния от 8 до 12 % [6, 7]. Применение кремнистого лома в шихте конвертерной плавки приводит к снижению расхода жидкого чугуна на 1,25 кг/т на каждый 1кг/т вводимого материала, при одновременном увеличении расхода извести на 5-7 кг/т.

В 2011 г. после проведения совместной научно-исследовательской работы с Национальной металлургической академией Украины была внедрена технология применения фурм с двухрядным расположением сопел, что обеспечило частичное дожигание CO до CO₂ и, как следствие, экономию жидкого чугуна на уровне 10-12 кг/т [8, 9].

В период 2013-2014 гг. отработывалась и успешно применялась технология использования брикетов на основе карбида кремния (БКЖС). Согласно теоретическим расчётам при использовании БКЖС в количестве 1 кг/т экономия жидкого чугуна составляет 2,0-2,6 кг/т. На практике при использовании БКЖС в количестве 1 кг/т достигнута экономия жидкого чугуна в количестве 2,2-3,0 кг/т [10].

Таким образом, за последние 10 лет в конвертерном цехе ПАО «Евраз – ДМЗ им. Петровского» были внедрены технологические мероприятия, обеспечившие снижение удельного расхода жидкого чугуна 45-50 кг/т. Однако, по нашему мнению, резерв для снижения удельного расхода жидкого чугуна еще не использован полностью.

Возможные пути снижения расхода жидкого чугуна.

Подогрев материалов.

Подогрев лома. Известны способы подогрева лома в полости конвертера с применением в качестве углеродсодержащих материалов термоантрацита и скрапоугольных пакетов [11-14]. Снижение расхода чугуна при использовании данных материалов выше, чем при использовании отсева коксика и составляет от 4 до 5 кг/т на 1кг/т углеродсодержащего материала. Недостатки применения – общие для всех углеродсодержащих материалов, используемых для подогрева лома в полости конвертера: снижение стойкости футеровки; прирост содержания серы на повалке; увеличение цикла плавки на 5-7 минут; дополнительный расход кислорода; повышение расхода извести.

Подогрев сыпучих. Технология подогрева сыпучих материалов решает две проблемы: утилизацию тепла отходящих из конвертера газов и снижение расхода жидкого чугуна. Суть технологии заключается в подаче отходящих газов в бункера с сыпучими материалами; обеспечении определённых мер безопасности; прохождении отходящих газов через столб сыпучих и отводе газов, отдавших часть теплоты, обратно в газоотводящий тракт.

Теплота газа, аккумулированная шихтой в процессе тепловой обработки, возвращаясь в конвертер, позволяет снизить долю жидкого чугуна в шихте. Подача нагретой извести, известняка или иных флюсов сокращает начальный период плавки за счёт меньшего количества времени, затраченного на нагрев шлакообразующего материала, и способствует быстрому наведению шлака. Соответственно улучшаются условия работы футеровки конвертеров и процессы десульфурации и дефосфорации стали [13, 15].

В удельном расходе экономия жидкого чугуна за счёт подогрева извести может составлять от 5 до 57 кг/т в зависимости от удельного расхода извести и её температуры перед подачей в конвертер.

Подогрев кислорода. Теоретически при нагреве кислорода до 260 °С снижение расхода жидкого чугуна составит 8 кг/т, а при подогреве до 650 и 1650 °С – 22 и 58 кг/т соответственно. Однако данный способ требует больших затрат и может быть целесообразен только в исключительных случаях [13].

Ввод теплоносителей.

Ввод углеродсодержащих материалов. Вдувание углеродсодержащих материалов требует определённой организации работ, поскольку за счёт применения материалов мелкой фракции подвергается абразивному износу вся сеть транспортирующих коммуникаций. Эффект от вдувания мелкой фракции угля составляет 5,5 кг/т снижения жидкого чугуна на 1 кг/т вдуваемого материала; для термоантрацита данный эффект несколько выше и достигает 6,8 кг/т [6, 12, 16].

Ввод природного газа или мазута. На сегодняшний день использование мазута или природного газа является достаточно затратным по своей сути, и требует повышенных мер безопасности. Эффект в виде снижения расхода чугуна от вдувания 1 кг/т мазута составляет 7,5 кг/т, при использовании природного газа до 8,3 кг/т [12].

Ввод материалов на основе карбида кремния или кальция. Данное направление было опробовано на ряде предприятий, но не нашло широкого распространения. Снижение расхода жидкого чугуна от применения 1кг/т карбида кальция составляет 4,0-9,5 кг/т (в зависимости от содержания карбида кальция), а при использовании 1 кг/т карбида кремния (85 % SiC) около 9-10 кг/т [13, 17].

Организационные мероприятия.

Повышение температуры чугуна зависит от множества факторов, таких как: логистика движения доменных ковшей по пути от доменного цеха к конвертерам (чем меньше длительность транспортировки ковшей, тем горячее чугун); химический подогрев при выполнении операций по обессериванию и десиликонизации чугуна; утепление поверхности жидкого чугуна за счёт применения теплоизоляционных материалов и многих других факторов.

С учётом расположения доменного и конвертерного цехов на ПАО «Евраз – ДМЗ им. Петровского» значительного сокращения расхода жидкого чугуна за счёт улучшения логистики или применения теплоизолирующих смесей получить невозможно. Применение же экзотермических смесей или

использование передвижных миксеров для предприятия экономически нецелесообразно.

Контроль температуры металла и содержания углерода на повалке. Эффект от внедрения технологий, позволяющих выполнять контроль температуры металла и содержания углерода на повалке позволяет останавливать продувку плавки в необходимый период плавки, что приводит к сокращению потерь металла в угар и шлак в случае доводки металла по температуре или содержанию углерода. Существуют способы снижения температуры стали на выпуске при использовании дополнительных средств по отслеживанию температуры в режиме on-line [18].

Зачастую превышение заданной температуры приводит к увеличению цикла плавки за счёт дополнительной продувки азотом, выдержкой плавки в конвертере, что отрицательно сказывается на стойкости футеровки. Снижение температуры стали происходит также за счёт слива плавки при наличии средств экспрессного замера содержания углерода и температуры. В таких случаях сокращение времени ожидания анализа сокращается на 7-9 минут, что эквивалентно снижению расхода жидкого чугуна на 3,5-4,5 кг/т стали [19].

Изменение содержания марганца и кремния в чугуне – наиболее часто изменяемые параметры при ведении конвертерной плавки, однако они регламентируются качеством сырья для выплавки чугуна,

особенностями работы доменных печей и должны рассматриваться совместно с влиянием на ход доменной плавки. Для марганца не последним аспектом является его влияние на расход марганецсодержащих ферросплавов при раскислении. При увеличении содержания кремния на 0,1 % при изменении расхода извести экономия жидкого чугуна составляет 5,4 кг/т (известь + 7 кг/т), без изменения последнего – 11,9 кг/т. Увеличение содержания марганца на каждые 0,1 % приводит к снижению расхода жидкого чугуна на 1,9 кг/т [20].

Сокращение паузы между плавками. Данный способ может применяться в цехах, где существуют значительные резервы по времени, поскольку данный отрезок времени чаще всего используют для проведения операций по уходу за футеровкой конвертеров [11].

Для удобства рассмотренные способы экономии жидкого чугуна приведены в таблице 2.

Выводы

В данной статье выполнен анализ внедрённых на предприятии технологий, позволивших в период 2010-2014 гг. снизить расход жидкого чугуна на 45-50 кг на одну тонну стали. Приведён обзор технологий, направленных на дальнейшее снижение расхода жидкого чугуна.

Таблица 2

Мероприятия направленные на снижение расхода жидкого чугуна

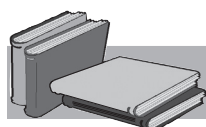
Мероприятие	Вид топлива	Добавочные материалы, кг/т	Изменение показателя / теплоносителя	Влияние на расход чугуна, кг/т	Влияние на МШ, кг/т	Примечание	Ссылка
подогрев материалов							
Подогрев лома в конвертере	уголь	известь +1-3	+ 1 кг/т	-3,0-3,5		снижение стойкости футеровки (на 20-40 %);	6, 11-14
	термоантрацит			-4,0-4,6		увеличение цикла плавки на 5-7 мин;	
	отсев коксика			-1-1,2	+0,1 +0,2	увеличение серы в стали (на 0,002-0,005 %);	
	скрапоугольные пакеты			-4,7-5,0		увеличивается расход кислорода на 10-12 м ³ /т;	
Предварительный подогрев извести	отходящий газ	расход извести 60	+200 °С + 1000 °С	-5-27		ускорение шлакообразования;	13, 15
		расход извести 80		-7-37			
		расход извести 100		-9-47			
		расход извести 120		-11-57			

Продолжение таблицы 2

Нагрев кислорода	-	-	до 260 °С	- 8		изменение конструкций газопровода	13
			до 650 °С	- 22		изменение конструкций газопровода	
			до 1650 °С	- 58		относительно высокие затраты на изменение конструкции газопровода	
Подвод теплоносителей							
Вдувание углеродсодержащих материалов	кусовой уголь	известь + 1-2 кг/т;	+ 1	до 5,5		снижение стойкости футеровки на 30-40 %;	11-14
	термоантрацит	кислород +5-7 м³/т	+ 1	до 6,8		увеличение цикла плавки на 6-10 мин	
	мазут	кислород + 1-2 м³/т	+ 1	до 7,5			
	природный газ		+ 1	до 8,3			
Использование высококремнистого лома (30-35 кг/т)		известь + 7-10 кг/т	-	-35-42	+1-2 кг/т	снижение цикла плавки на 1-2 мин	6, 7
						снижение потерь металла со шлаком	
						снижение расхода извести на 5-7 кг/т	
						снижение расхода плав.шпата на 0,5-0,7 кг/т	
Присадка карбидсодержащих материалов	карбид кальция	-	+1 CaC ₂	- 4,0-9,5		оптимальный расход до 8 кг/т можно подавать по тракту сыпучих	17-22
	карбид кремния	-	+1 SiC	- 9-10		увеличение цикла плавки на 1-2 мин можно подавать по тракту сыпучих	10, 13, 17
Организационные							
Температура жидкого чугуна	-	-	+ 10 °С	-4	-	технология передачи чугуна в СПЦ предусматривает максимально краткое время на операцию; увеличение температуры чугуна возможно при использовании «торпед» или теплоизолирующих смесей на поверхность в чугуновозные ковши; очень важным является логистика и согласованность операций по обороту доменных ковшей	11

Продолжение таблицы 2

Скачивание шлака (промежуточное)				- 10-15	+1-2	увеличение цикла плавки на 3-5 мин	4, 5
						снижение расхода извести на 1-2 кг/т	
Контроль температуры металла и содержания углерода на повалке		датчики замера Т и С		- 4-8	-1-2	–	23, 24
Содержание кремния в чугуне	при изменении расхода извести	известь + 7 кг/т	0,10 %	-5,4	+3,1	экономика ДЦ	12, 13, 25
		кислород + 0,9 м³/т				длительность продувки + 0,2 мин	
	без изменения расхода извести	кислород + 0,6 м³/т		экономика ДЦ			
				длительность продувки + 0,15 мин			
Содержание марганца в чугуне		кислород +0,2 м³/т	0,10 %	-1,9	+0,7	экономика ДЦ	12, 13, 25
		FeMn -1,0 кг/т				затраты на раскисление	
Сокращение паузы между плавками			-10 мин	- 3-6		В настоящее время паузы между плавками минимизируются, поскольку это существенно влияет на производственные показатели, помимо этого данные паузы заполняются операциями по уходу за футеровкой	12, 13, 25
Дожигание СО до СО ₂							
Использование фурм с дожиганием СО			1 %	-3-4			12, 13



ЛИТЕРАТУРА

1. Заспенко А. С. Использование брикетов в конвертерном производстве ПАО «Евраз – ДМЗ им. Петровского» / А. С. Заспенко, А. В. Шибко, К. Ф. Чмырков // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2012. – № 3. – С. 12-13.
2. Пищида В. И. Опыт и перспективы использования в шихте кислородных конвертеров окатышей Полтавского ГОКа / В. И. Пищида, А. В. Шибко, К. Ф. Чмырков // *Металл и литье Украины*. – 2007. – № 5. – С. 17-19.
3. Чмырков К. Ф. К вопросу об утилизации отходов металлургического производства методом их брикетирования / К. Ф. Чмырков, Б. М. Бойченко // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2010. – № 7. – С. 147-149.
4. Охотский В. Б. Влияние скачивания шлака на некоторые параметры кислородно-конвертерного процесса / В. Б. Охотский, Я. Л. Альперович, В. И. Пищида и др. // Там же. – 1997. – № 4. – С. 24-25.
5. Шибко А. В. Влияние скачивания шлака на показатели работы 60-тонных конвертеров верхнего кислородного дутья / А. В. Шибко, В. И. Пищида, К. Ф. Чмырков // Там же. – 2011. – № 3. – С. 17-18.
6. Пути снижения расхода жидкого чугуна в кислородно-конвертерном цехе ПАО «Евраз – ДМЗ им. Петровского» / А. В. Шибко, К. Ф. Чмырков, С. М. Онацкий и др. // *Новости науки Приднепровья*. – 2012. – № 3-4. – С. 58-61.
7. Заспенко А. С. Некоторые технологические итоги работы ПАО «Евраз – ДМЗ им. Петровского» в 2011 году / А. С. Заспенко, М. М. Мазов, К. Ф. Чмырков // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2012. – № 7. – С. 1-2.
8. Бергеман Г. В. Совершенствование конструкций продувочных фурм в конвертерном производстве ПАО «Евраз – ДМЗ им. Петровского» / Г. В. Бергеман, В. И. Пищида, А. В. Шибко и др. // Там же. 2011. – № 2. – С. 30-32.

9. Величко А. Г. Опыт использования наконечников кислородных фурм с двухрядным размещением сопел в условиях ОАО «ДМЗ им. Петровского» / А. Г. Величко, Б. М. Бойченко, К. Ф. Чмырков // Там же. – 2010. – № 7. – С. 115-116.
10. Моделирование конвертерной плавки с использованием в шихте карбидкремниевых, железосодержащих брикетов / К. Ф. Чмырков, А. С. Заспенко, К. Г. Низяев и др. // Металл и литьё Украины. – 2014. – № 5. – С. 51-54.
11. Бойченко Б. М. Конвертерное производство стали: теория, технология, качество стали, конструкция агрегатов, рециркуляция материалов и экология: [учеб.] / Б. М. Бойченко, В. Б. Охотский, П. С. Харлашин. – Днепропетровск: РВА «Дніпро – ВАЛ». – 2006. – 454 с.
12. Старов Р. В. Производство стали в конвертерах / Р. В. Старов, В. А. Нагорских. – К.: Техніка, 1987. – 166 с.
13. Металлолом в шихте кислородных конвертеров / В. И. Баптизманский, Б. М. Бойченко, Е. В. Третьяков. – М.: Металлургия, 1982. – 136 с.
14. Харлашин П. С. Тенденции развития ресурсосберегающих технологий в сталеплавильном производстве / П. С. Харлашин, Е. В. Протопопов, М. А. Григорьева. – Мариуполь, ПГТУ. – 2010. – 165 с.
15. Гичёв Ю. А. Взгляд на проблему использования отходящих газов сталеплавильных конвертеров / Ю. А. Гичёв // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2004. – № 2. – С. 30-36.
16. Афонин С. З. Снижение расхода чугуна при производстве стали в конвертерах и мартеновских печах / С. З. Афонин, Я. А. Шнееров // Сталь. 1987. – № 10. – С. 30-32.
17. Применение карбида кремния и кокса при продувке углеродистого полупродукта в кислородных конвертерах / О. А. Чарушников, М. А. Третьяков, В. М. Баранов и др. // Металлургия и коксохимия: Металлургия стали. – К.: Техника, 1973. – Вып. 35.
18. Богушевский В. С. Управление доводкой конвертерной плавки / В. С. Богушевский, В. Ю. Сухенко, К. А. Сергеев // Металл и литьё Украины. – 2010. – № 3. – С. 14-17.
19. Управление кислородно-конвертерным процессом / Д. Янке, Г. Нойхоф, Х. Гуте, Т. Шульц // Изв. вузов. Чёрная металлургия. – 1999. – № 12. – С. 12-20.
20. ТТИ-1.3-15-22-86. Типовая технологическая инструкция по выплавке стали в конвертерах. Министерство чёрной металлургии СССР. – 1986. – 58 с.

Анотація

Чмырков К. Ф., Бойченко Б. М., Низяев К. Г., Мазов М. М., Петренко В. О., Молчанов Л. С., Синегін Є. В., Ребриков В. О.

Стан і перспективи зниження витрат рідкого чавуну в конвертерному виробництві ПАТ «ЄВРАЗ – ДМЗ ім. Петровського»

Узагальнено результати досліджень щодо зниження витрат рідкого чавуну в умовах ПАТ «Євраз – ДМЗ ім. Петровського», а також проаналізовано подальші шляхи розвитку технологій зниження витрат рідкого чавуну. Показано можливість зниження витрат рідкого чавуну на 85-90 кг/т.

Ключові слова

класифікація, вуглеводеньмістячі теплоносії, кремніймістячі теплоносії, рідкий чавун, організаційні заходи

Summary

Chmyrkov K., Boitchenko B., Nizyaev K., Mazov M., Petrenko V., Molchanov L., Sinegin E., Rebrikov V.

Status and prospects of reducing the consumption of liquid iron in BOF production of PJSC «Eurasia – DMZ named Petrovsky»

This article summarizes the results of studies of reducing the consumption of liquid iron under conditions of PJSC «Eurasia – DMZ named Petrovsky». The further ways for reducing the consumption of liquid iron development were analyzed. The possibility of reducing the consumption of liquid iron down to 85-90 kg/t was shown.

Keywords

classification, hydrocarbon fluid, a silicon fluid, liquid iron, organisational arrangements

Поступила 17.04.2015