

УДК 694.184:669.16

**Б.В.Двоскин, В.Г.Кисляков, А.В.Остапенко, А.С.Вергун,
А.Ф.Шевченко, И.А.Маначин, А.Л.Руденко, В.П.Петруша**

**ИССЛЕДОВАНИЕ И ОЦЕНКА ПОСТУПЛЕНИЯ СЕРЫ В СТАЛЬ ПРИ
ПЛАВКЕ В КОНВЕРТЕРАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЛУБОКО
ОБЕССЕРЕННОГО ЧУГУНА**

Институт чёрной металлургии им. З.И.Некрасова НАН Украины

Исследован баланс серы, поступающей в конвертер при её выплавке без лома и с использованием глубоко обессеренного чугуна, полученного внепечной обработкой гранулированным магнием без добавок. Экспериментально подтверждено, что приход серы в конвертер, кроме поступления из шихтовых материалов, определяется степенью очистки чугуна от шлака.

Ключевые слова: внепечная десульфурация чугуна, магний, сера, конвертор

Состояние вопроса. Известно [1], что определяющими факторами прихода серы в конвертерную сталь являются: содержание серы в шихтовых материалах (в первую очередь в используемом ломе) и степень очистки чугуна от высокосернистого шлака. Анализ прихода серы в конвертерную сталь, выполненный в работах [2, 3], показал, что тип технологии десульфурации чугуна, в т.ч. инжестирование магния, смеси магния с известью, KR-процесс, а также используемые реагенты (известь, магний и их смеси) не оказывают существенного влияния на величину прихода серы в конвертер. Тем не менее, в дискуссиях по выше затронутым вопросам на научно-технических конференциях, при личных контактах с немецкими исследователями фирм «Альмамет», Крупн Полизиус, а также специалистами-практиками ряда металлургических комбинатов Украины, Китая, Тайваня продолжает присутствовать другая точка зрения. Ее сущность сводится к тому, что при KR-процессе и десульфурации чугуна смесями магния с известью в ковшах наводится сухой гомогенный шлак, а при обработке магнием без кальцийсодержащих добавок в ковше образуется гетерогенный шлак, в котором имеется «трудно удаляемая жидкая прослойка» между чугуном и шлаком, обогащенная сульфидами магния, которые взаимодействуя с кислородом приводят к возврату серы в чугун. При этом сторонники такой точки зрения, признавая неоспоримый факт эффективной десульфурации чугуна магнием, к сожалению, не приводят результаты специальных исследований ковшевых шлаковых режимов, которые бы подтверждали существование такого механизма возможной ресульфурации чугуна. Но именно с «жидкой прослойкой, обогащенной сульфидами», связывается, если это имеет место, больший приход серы в сталь при десульфурации чугуна магнием без кальцийсодержащих добавок, чем при использовании в качестве десульфураторов извести и смесей извести с магнием.

Вместе с тем, результаты проведенных многими специалистами обширных и достаточно глубоких исследований [4, 5, 6] по изучению системы «металл - шлак» в условиях реализации различных технологий десульфурации чугуна, не подтверждают наличие механизма формирования ковшевых шлаков с «жидкой прослойкой».

Также необходимо отметить, что производственная практика многих десятилетий работы ряда металлургических предприятий, где используются магниевые реагенты для десульфурации чугуна, не подтверждает факт возврата серы в чугуна из ковшевого шлака. Более того, на МК «Азовсталь» [7] было установлено, что в процессе транспортирования чугуновозных ковшей, обработанных магнием, имело место снижение серы в чугуна (на 0,002-0,003 % и более). Работами [2] исследователей Института черной металлургии было показано, что это объясняется всплыванием твердых сульфидов магния из чугуна в шлак, а наличие в чугуна остаточного магния обеспечивает барьер, исключаящий возможность ресульфурации чугуна.

Изучение баланса серы в системе «металл - шлак» [2] показало, что сера из металла в основном переходит в шлак, частично удаляется с пылевидной фракцией и практически не присутствует в газовой фазе. Этот тезис не вызывает существенного разночтения у специалистов.

Формирующийся при внепечной обработке ковшевой шлак является продуктом многофакторного образования [8] и, естественно, его состав не может не зависеть от используемых реагентов для десульфурации чугуна. Причем в ковшевом шлаке после десульфурации независимо от типа используемого реагента увеличивается количество металлической фазы, которая может достигать 30-45% от массы шлака при моноинъекции магния и 45-60% при коинъекции магния в смеси с известью.

Что касается формы существования серы в ковшевом шлаке, то результаты ряда исследований [4, 5] свидетельствуют о том, что сера в неметаллической фазе шлака, формирующегося в ковше в процессе обработки чугуна кальцийсодержащими (CaO , CaC_2), магниевыми ($\text{Mg} + \text{CaO}$) и магниевыми реагентами (Mg без добавок), присутствует в виде сульфидов типа CaS , $(\text{Ca}, \text{Mn})_x\text{S}$, $(\text{Ca}, \text{Fe}, \text{Mn}, \text{Mg})\text{S}$, $(\text{Ca}, \text{Fe})\text{S}$, $(\text{Ca}, \text{Mg})_x\text{S}$. Таким образом, существовавшее мнение [9, 10], что сера в неметаллической части шлака после обработки магнием присутствует в виде сульфида магния (MgS), в работах [11, 5] не подтвердилось. Изучение механизма этого явления показало, что при попадании сульфида магния и капель чугуна в шлак в системе «металл-шлак» протекает комплекс массообменных процессов, приводящих к перераспределению серы с образованием в шлаке наряду с системами $\text{CaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ сложных комплексов типа $(\text{Ca}\cdot\text{Mn}\cdot\text{Si}\cdot\text{Al})\text{S}$.

Полученные с использованием современных приборов и методик экспериментальные данные подтвердили, что сера в шлаке,

формирующемся в ковше в процессе десульфурации чугуна магнием без добавок, присутствует в основном в виде комплексов $(Ca \cdot Mn)_xS$, $(Ca \cdot Mg \cdot Si \cdot Al)S$, $(Ca \cdot Mn)_xS$, $(Ca \cdot Mg)_xS$, сульфида марганца, а также включений оксисульфидного типа [6]. Отмеченные наглядно иллюстрируют приведенные на Рис.1. кривые распределения концентраций содержания элементов в системе «металл-шлак», полученные при линейном точечном зондовом сканировании образца ковшевого шлака методом растровой электронной микроскопии на микроскопе РЭМ 106И. Анализ кривых распределения концентраций Mn, S и Fe в «корольках» шлака, Рис.2, показал, что сера в «корольках» шлака присутствует в основном в виде сульфидов MnS . Следует отметить, что значительное количество серы в формирующемся в ковше шлаке находится именно в «корольках». Причем установлено, что независимо от места нахождения «королька» в жидкой или твердой фазе шлака, с уменьшением диаметра «корольков» содержание серы в них увеличивается.

Вышеизложенное позволяет заключить, что ковшевые шлаки, образующиеся после десульфурации чугуна магнием, по типу серосодержащих комплексов не имеют существенных отличий от ковшевых шлаков, образующихся после десульфурации чугуна известью и смесями извести с магнием.

Цель работы. Уточнить степень влияния технологии внепечной десульфурации чугуна гранулированным магнием без добавок на приход серы в конвертерную сталь.

В настоящей статье представлены данные экспериментальных исследований, проведенных авторами на различных металлургических предприятиях. Кроме того, проанализированы и обобщены имевшиеся в распоряжении авторов настоящей статьи литературные данные, а также отчетные данные, представленные рядом металлургических предприятий Украины, Китая, Тайваня.

Содержание работы. Комплекс исследований по изучению ковшевых шлаков, проведенных авторами на многих металлургических предприятиях различных стран, подтвердил, что ковшевые шлаки существенно отличаются от доменных, как по химическому, фазовому составу, так и по консистенции. Характерные химические и фракционные составы ковшевых шлаков до и после внепечной обработки чугуна приведены в таблице 1.

По консистенции в большей части доменных и заливочных ковшей встречаются шлаки в виде сыпучей массы с включениями «корольков» железа, коржей из сплавленного конгломерата чугуна и шлака, а также с большим количеством спели (углерода). В отдельные периоды работы на ряде металлургических предприятий, встречались в основном в доменных чугуновозных ковшах жидкие стекловидные шлаки, также имеющие

включения «корольков» и отдельные островки из сплавленного конгломерата чугуна и шлака.

Исходные ковшевые шлаки в основном характеризуются очень низкой основностью, 0,1–0,6, что может существенно снижать их серопоглотительную способность. При этом содержание серы в ковшевом шлаке часто находится на уровне 0,1 – 0,8%.

Известно, что при KR-процессе исходный ковшевой шлак из ковша практически полностью удаляется. При десульфурации чугуна магниевыми реагентами обычно исходный шлак не скачивается. При этом, если шлаки обладают требуемой сульфидной емкостью, то при десульфурации магниевыми реагентами не требуется корректировка их химического состава перед обработкой. Но если ковшевые шлаки не имеют достаточной сульфидной емкости, то в ряде случаев для повышения степени использования магния и обеспечения высокой (95%) стабильности достижения заданных содержаний серы рекомендуется использовать различные технологические приемы, в т.ч. предварительное частичное скачивание шлака и корректировку его химсостава.

После десульфурации чугуна известью, в т.ч. KR-процессом, в ковшах наводится сухой сыпучий известковый шлак, содержащий 50-60% корольков. При десульфурации чугуна смесями магния с известью исходные ковшевые шлаки в основном становятся еще более сыпучими и содержат 45-60% корольков. В случае использования в качестве десульфуратора магния без добавок ковшевые шлаки также становятся более сыпучими. При наличии в исходном шлаке жидкой составляющей после десульфурации жидкая фаза может частично сохраняться. При этом корольки, обогащенные сульфидами серы, содержатся преимущественно в твердой фазе шлака. Количество «корольков» обычно составляет до 35% от массы ковшевого шлака.

Экспериментальное изучение прихода серы в сталь было проведено на 300-тонных конвертерах меткомбината «Азовсталь» (две опытные плавки) и сталываода № 3 Уханьского МК, КНР (три опытные плавки). Данные, характеризующие исходные условия проведенных экспериментов и полученные результаты, приведены в таблице 2.

Обе серии опытных плавок были проведены без использования лома. К особенностям плавок на комбинате «Азовсталь» следует отнести использование металлизированных окатышей (89,46-90,28% $Fe_{мет.}$, 1,36-1,71% С, 0,006% Р, 1,36-1,55% СаО и 0,003-0,004% S), а также двойное скачивание шлака (из доменных и заливочных ковшей) и слив в конвертер чугуна практически полностью очищенного от шлака.

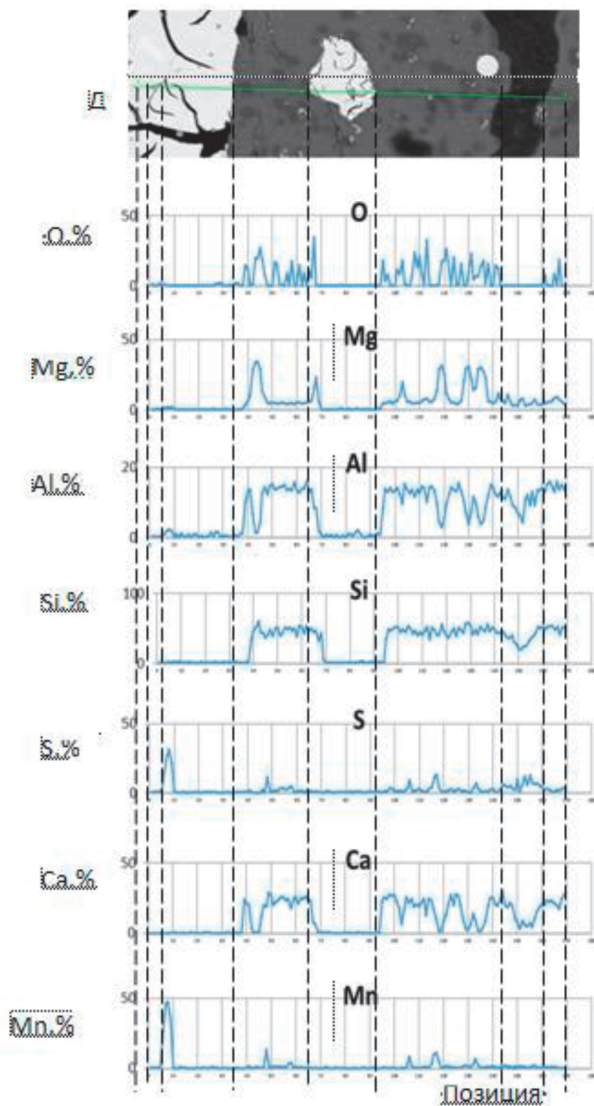


Рисунок 1 – Изменение содержания элементов в системе "металл – шлак" при точечном зондовом сканировании вдоль маршрута крупный королек – шлак – мелкий королек – шлак образца ковшевого шлака, после десульфурации чугуна магнием [6]

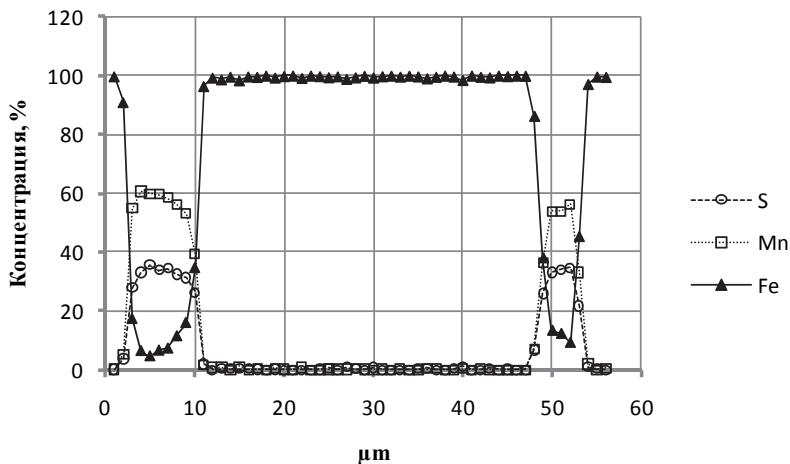


Рисунок 2 – Микроструктура участка королька шлака, выбранного для линейного точечного сканирования через неметаллические включения с позициями 1, 2 (а), и соответствующие этому маршруту кривые распределения концентраций Mn, S и Fe (б), [6].

При проведении экспериментов контролировали основные параметры и исходные условия выплавки стали и обработки чугуна, в т.ч. их температуру, содержание серы в чугуне, стали (после продувки), ковшевом и конвертерном шлаках, шихтовых материалах, количество ковшевого шлака в заливочных ковшах, массу чугуна и стали, массу поданных в конвертер шихтовых материалов. Анализ полученных результатов в проведенных сериях опытной выплавки стали без лома в 300-тонных конвертерах с использованием окатышей показал, что приход серы в сталь во всех пяти обработках был ниже расчетного на 0,00002 – 0,00165%. Полученную погрешность можно считать вполне приемлемой для промышленных экспериментов.

Таблица 1 – Химический и фазовый состав ковшевых шлаков до и после десульфурации чугуна гранулированным магнием

Ковшовый шлак	Химический состав, %								Фазовый состав, %			
	C	S	SiO ₂	FeO	Fe ₂ O ₃	CaO	MnO	MgO	Al ₂ O ₃	Металл	Шлак	Графит
До обработки	$\frac{4,2-9,6}{7,0}$	$\frac{0,05-2,97}{1,05}$	$\frac{20,6-43,0}{37,0}$	$\frac{1,01-10,7}{4,15}$	$\frac{0-4,56}{1,45}$	$\frac{7,65-25,3}{19,9}$	$\frac{3,59-14,3}{7,4}$	$\frac{2,4-10,1}{5,3}$	$\frac{4,4-20,3}{13,5}$	$\frac{9,5-29,5}{24,7}$	$\frac{65,7-90,1}{74,9}$	$\frac{0,1-1,1}{0,5}$
После обработки	$\frac{4,6-10,6}{7,74}$	$\frac{0,55-3,91}{1,95}$	$\frac{20,1-42,6}{36,6}$	$\frac{0,90-10,1}{3,68}$	$\frac{0,3-3,58}{1,05}$	$\frac{6,59-24,3}{19,1}$	$\frac{3,09-13,3}{6,54}$	$\frac{6,4-14,1}{9,0}$	$\frac{3,7-19,3}{12,6}$	$\frac{17,5-41,5}{35,7}$	$\frac{65,7-90,1}{74,9}$	$\frac{0,2-1,3}{0,75}$

Таблица 2 – Данные, характеризующие опытные плавки стали в 300-тонных конвертерах с контролем баланса серы

Наименование показателей	МК «Азовсталь», Украина		Стальзавод №3, Уханьский МК, КНР		
	Номера плавков				
	2004329	2004401	531275	531279	531350
1. Характеристика чугуна:					
1.1. Масса чугуна, т	308	294	278	278	278
1.2. Содержание серы в чугуне, %	0,002	0,002	0,003	0,003	0,004
1.3. Температура чугуна, °С	1365	1250	н /д	н /д	н /д
2. Характеристика ковшевого шлака					
2.1. Масса шлака, т	0	0	0,56	1,12	0,56
2.2. Содержание серы в шлаке, %	0,79	0,5	1,01	1,21	0,46
3. Расход материалов на конвертерную плавку					
3.1. Известь:					
- масса, т	36,0	23,0	14,335	17,0	12,93
- содержание серы, %	0,017	0,017	0,025	0,025	0,025
3.2. Доломит:					
- масса, т	-	-	3,08	3,09	4,621
- содержание серы, %	-	-	0,018	0,018	0,018
3.3. Окатыши:					
- масса, т	55,0	65,0	6,70	11,48	13,847
- содержание серы, %	0,003	0,003	0,045	0,045	0,045
3.4. Плавиковый шпат:					
- масса, т	0	2,4	-	-	-
- содержание серы, %	н /д	н /д	-	-	-
3.5. Кислород, м ³	19900	20480	22080	15200	14880
4. Характеристика стали:					
4.1. Масса стали, т	286	273	256	256	256
4.2. Марка стали	09Г2С	09Г2С	н /д	н /д	н /д
4.3. Содержание серы в стали, %	0,004	0,003	0,008	0,012	0,008
4.4. Температура стали, °С	1760	1670	н /д	н /д	н /д
5. Характеристика конвертерного шлака					
5.1. Масса шлака (расчетная), т	22,880	21,840	20,480	20,480	20,480
5.2. Содержание серы в шлаке, %	0,004	0,004	0,003	0,004	0,003
6. Расчетная масса серы, поступившей в конвертер, в т.ч.:					
- с чугуном, кг	6,16	5,88	8,34	8,34	11,12
- с ковшевым шлаком, кг	0	0	5,66	13,6	2,58
- с известью, кг	6,12	5,75	3,58	4,25	3,23
- с доломитом, кг	-	-	0,55	0,56	0,83
- с окатышами, кг	1,65	1,95	3,01	5,16	6,23
- итого	13,93	13,58	21,14	31,91	23,99
7. Количество серы, поступившей на 1 т стали, %	0,00487	0,00497	0,00826	0,01247	0,0094
8. Количество серы, удаленной при конвертерной плавке на 1 т стали, %	0,00032	0,00032	0,00024	0,0003	0,00024
9. Дебаланс серы на 1 т стали, %	-0,00055	-0,00165	-0,00002	-0,00017	-0,0012
10. Неучтенный приход серы в сталь, [S] _{ст.} - [S] _{ч.} , %	+0,002	+0,001	+0,005	+0,009	+0,005

Изложенные результаты позволяют утверждать, что не имел место какой-либо непрогнозируемый приход серы в сталь, в т.ч. из ковшевого шлака. При этом в серии экспериментов, проведенных на меткомбинате «Азовсталь», где исключительно тщательно шлак был удален из заливочных ковшей, условный приход серы в сталь составил 0,001 – 0,002% и, как следует из баланса серы, был связан с поступлением серы в сталь из других шихтовых материалов.

Наибольший условный приход серы в сталь - 0,005 - 0,009 % имел место в серии экспериментов, проведенных на Уханьском МК, где недостаточно тщательно производилась очистка чугуна от шлака. Поэтому в этой серии экспериментов неучтенный приход серы в сталь в значительной степени определялся величиной поступления серы в сталь с ковшевым шлаком. Проведенные опытные плавки, подтвердили прогнозируемое влияние ковшевого шлака на приход серы в конвертер и показали необходимость тщательного удаления ковшевого шлака. После обеспечения степени очистки чугуна от шлака до ~95% приход серы в конвертерную сталь со шлаком снизился до ~0,002%. При последующей промышленной эксплуатации этого объекта, случаев превышения прихода серы в конвертерную сталь со шлаком выше допустимого гарантией уровня +0,004% не наблюдалось.

Таким образом, проведенные серии экспериментов показали, что при выплавке в конвертерах стали с использованием глубоко обессеренного чугуна, полученного инжектированием магния без кальцийсодержащих добавок, основными источниками прихода серы в сталь при отсутствии лома являются чугун, ковшевой шлак, слитый в конвертер с чугуном, а также другие шихтовые материалы. При этом величина прихода серы в сталь с достаточной точностью согласуется с количеством серы, поступившей в конвертер из ковшевого шлака.

В таблице 3 приведены данные об использовании низкосернистого и глубоко обессеренного чугуна, полученного по различным технологиям, в промышленной практике меткомбинатов Украины, России, Тайваня и КНР.

Сопоставление приведенных в таблице 3 величин неучтенного прихода серы в конвертерную сталь по различным технологиям показало, что наибольший приход серы в сталь имел место в заливочных ковшах меткомбината «Северсталь» при десульфурации по технологии ESM смесью магния с известью, где он составил 0,0013 – 0,007 %, в среднем 0,0045% [12]. Специалисты комбината и разработчики технологии связывали повышенный приход серы в сталь именно с поступлением серы в конвертерную ванну с остатками ковшевого шлака. Поэтому на комбинате было принято решение разработать ряд дополнительных технологических приемов для повышения степени очистки чугуна от шлака, в т.ч. предлагалось «загущение» шлака специальными добавками.

Таблица 3 – Данные, характеризующие работу комплексов десульфурации чугуна на различных меткомбинатах при выплавке стали в крупных (около 300 т) конвертерах

Наименование предприятия, страна	Технология десульфурации чугуна	Период проведения плавки	Количество плавок, шт.	Масса чугуна на плавку, т	Содержание серы в чугуне, %			Содержание серы в стали (перед сливом из конвертера), %	Неучтенный приход серы в конвертере, %
					Исходное (перед десульфурацией)	После десульфурации			
ОАО "Северсталь", Череповец, Россия	Вдувание смеси CaO+Mg в 350-тонные ковши через 2 фурмы (одновременно)	IV кв. 2003 г.	133	300 –320	$\frac{0,010-0,047}{0,0262}$	$\frac{0,001-0,010}{0,0043}$	$\frac{0,004-0,016}{0,0088}$	$\frac{+0,0013-0,0070}{+0,0045}$	
ПАО "Металургический комбинат "Азовсталь", Мариуполь, Украина	Вдувание гранулированного магния в доменные 140-тонные ковши через фурму с испарителем	январь-ноябрь 2011 г.	5377	295 - 305	н/д	$\leq 0,005$ (1,61 млн.т/год чугуна)	$\leq 0,005$ (1,72 млн.т стали)	н/д	
Корпорация CSC, сталезавод № 2, Каосюн, Тайвань	Вдувание гранулированного магния в 300 – тонные ковши через 2-х сопловую фурму	октябрь-ноябрь 2011 г.	24	240–280	$\frac{0,014-0,056}{0,029}$	$\frac{0,0002-0,0048}{0,0033}$	0,0047	+0,0015	

Продолжение таблицы 3

Наименование предприятия, страна	Технология десульфурации чугуна	Период проведения плавки	Количество плавов, шт.	Масса чугуна на плавку, т	Содержание серы в чугуне, %		Содержание серы в стали (перед сливом из конвертера), %	Неучтенный приход серы в конвертере, %
					Исходное (перед десульфурацией)	После десульфурации		
Корпорация CSC, сталзавод № 2, Каосюн, Тайвань	Вдувание гранулированного магния в 300 – тонные ковши через 2-х сопловую фурму	январь-февраль 2012 г.	72	250 - 280	$\frac{0,009-0,052}{0,024}$	$\frac{0,0002-0,0094}{0,0027}$	$\frac{0,0019-0,010}{0,0043}$	$\frac{(-0,0037)-(+0,0058)}{+0,0015}$
Корпорация CSC, сталзавод № 2, Каосюн, Тайвань	Вдувание гранулированного магния в 300-тонные ковши через 2-х сопловую фурму	апрель-май 2013 г.	~3000	250 - 280	$\frac{0,0184-0,0230}{0,021}$	$\frac{0,0032-0,0045}{0,0038}$	$\frac{0,0054-0,0067}{0,006}$	$\frac{+(0,0015-0,0031)}{+0,0022}$
Корпорация CSC, сталзавод № 2, Каосюн, Тайвань	KR-процесс известь+плавиковый шпат	апрель-май 2013 г.	~3000	250 - 280	$\frac{0,0181-0,0230}{0,0207}$	$\frac{0,0021-0,0027}{0,0023}$	$\frac{0,0034-0,0047}{0,00425}$	$\frac{+(0,0013-0,0026)}{+0,0020}$

*Числитель – пределы,

**знаменатель – среднее

При использовании в корпорации CSC (Тайвань) украинской технологии десульфурации чугуна вдуванием гранулированного магния (без добавок извести) неучтенный приход серы в сталь в анализируемые периоды в среднем составил +0,00172%. В условиях применения для десульфурации чугуна KR-процесса неучтенный приход серы в сталь находился на уровне +(0,0013-0,0026), и в среднем составил +0,0020%.

Приведенные данные показывают, что достаточно полное скачивание ковшевого шлака (степень очистки чугуна от шлака около 95%) из заливочных ковшей в условиях сталзавода № 2 концерна CSC позволило иметь неучтенный приход серы в конвертере на уровне около 0,002 % не зависимо от типа технологии десульфурации.

Таким образом, выполненный анализ приведенных фактических данных свидетельствует о том, что неучтенный приход серы в конвертер обуславливается не типом технологии десульфурации чугуна, а главным образом зависит от количества серы, поступающей в конвертерную ванну из шихтовых составляющих и остатков ковшевого шлака.

Заключение.

Проведенные серии опытных промышленных балансовых плавков по выплавке в конвертерах стали с использованием глубоко обессеренного чугуна, полученного инжестированием магния без кальцийсодержащих добавок, показали, что основными источниками прихода серы в сталь при отсутствии лома являются чугун, ковшевой шлак, слитый в конвертер с чугуном, а также другие шихтовые материалы. При этом величина прихода серы в сталь с достаточной точностью согласуется с количеством серы, поступившей в конвертер из ковшевого шлака.

Анализ и обобщение приведенных в настоящей работе данных о работе металлургических предприятий Украины, России, КНР и Тайваня, оснащенных комплексами десульфурации и очистки чугуна от шлака подтверждают, что величину дополнительного прихода серы в конвертер при сопоставимых шихтовых условиях определяет степень очистки чугуна от шлака.

Этот приход серы в конвертер (кроме поступления из шихтовых материалов) практически не зависит от типа используемого реагента для десульфурации чугуна и технологии десульфурации, а при прочих сопоставимых условиях определяется степенью очистки чугуна от шлака.

1. *Воронова Н.А.* Десульфурация чугуна магнием / Н. А. Воронова.- Москва.: Металлургиздат, 1980.-240 с.
2. *Шевченко А.Ф.* Технология и оборудование десульфурации чугуна магнием в большегрузных ковшах / А.Ф.Шевченко, В.И.Большаков, А.М.Башмаков. - Киев: Наукова думка, 2011г. - 207 с.

3. *Кисляков В.Г.* Совершенствование технологических основ подготовки чугуна к выплавке низкосернистой кислородно-конвертерной стали: дисс. кандидата техн. наук: 05.16.02 / Кисляков Владимир Геннадьевич. – Днепропетровск, 2013. – 239 с.
4. *Гиттерле В.* Ввод флюсов в процессе десульфурации чугуна / В. Гиттерле // Материалы VIII международного симпозиума по десульфурации чугуна и стали. – Нижний Тагил. – 20–24 сентября 2004 г. – С. 72–77.
5. *Химический* и микрорентгеноспектральный анализ чугуна и шлака до и после десульфурации чугуна магнием / Ткач Н. Т., Шмелев Ю. С., Курилова Л. П. [и др.] // Библиографический указатель ВИНТИ (деп. рукопись); 1981. – № 6. – С. 141–150.
6. *Особенности* структуры металлической и неметаллической фаз шлака, формирующегося в ковше в процессе десульфурации чугуна магнием / А. С. Вергун, А. М. Нестеренко, В. Г. Кисляков [и др.] // Теория и практика металлургии, 2009. – № 5–6. – С. 86–90.
7. *Внедрение* технологии рафинирования доменного литейного чугуна с заменой фрезерованного магния гранулированным без наполнителя на заводе «Азовсталь» // Отчет ИЧМ. Днепропетровск, 1974. – 104 с.
8. *Особенности* шлакообразования в ковшах с жидким чугуном / Ткач Н.Т., Шевченко А.Ф., Костенко Д.В., Лындя П.С. // Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии: Сб. научн. тр. – Днепропетровск: ИЧМ НАНУ. – 2004. – № 8. – С. 168–175.
9. *Ващенко К. И.* Магниевый чугун / К. И. Ващенко, Л. Софрони. – Машгиз, 1960. – 468 с.
10. *Балинский В. Р.* О сере в чугуне, обработанном магнием / В. Р. Балинский // Литейное производство. – 1954. – № 2. – С. 18–20.
11. *Шульц Г. П.* Десульфурация чугуна с помощью мешалки на желобе доменной печи / Г.П. Шульц // Черные металлы. – 1971. – № 4. – С. 3–8.
12. *Опыт* работы Череповецкого металлургического комбината по достижению ультранизкого содержания серы в чугуне с использованием крупнотоннажной установки десульфурации чугуна / А.Н.Луценко, А.А.Немтинов, С.Д.Зинченко и др. // Черная металлургия: Бюл. ин-та «Черметинформация». 2009. №7. С. 61–63.

*Статья поступила в редакцию сборника 25.01.2017
и прошла внутреннее и внешнее рецензирование*

***Б.В.Двоскін, В.Г.Кисляков, О.В.Остапенко, О.С.Вергун, А.П.Шевченко,
І.О.Маначін, О.Л.Руденко, В.П.Петруша***

Дослідження та оцінка надходження сірки в сталі при виплавці в конвертері з використанням глибоко знесірченого чавуну

Досліджено баланс сірки, що надходить в конвертер при її виплавлянні без брухту та з використанням глибоко знесірченого чавуну, отриманого позапічною обробкою гранульованим магнієм без добавок. Експериментальне підтверджено, що прихід сірки в конвертер, крім надходження з шихтових матеріалів, визначається ступенем очищення чавуну від шлаку.

Ключові слова: позапічна десульфуріяція чавуну, магній, сірка, конвертор

B.V.Dvoskin, V.G.Kislyakov, A.V.Ostapenko, A.S.Vergun, A.F.Shevchenko, I.A.Manachin, A.L.Rudenko, V.P.Petrusha

Study and evaluation of sulfur exposure in the steel melt during the converter heat with highly desulfurized pig iron

We specify the sulphur balance in the converter when the heat is carried out without scrap but with deeply desulphurized pig iron, which has been previously processed with granulated magnesium without additives in the ladle. The respective experiments have proven that the sulfur coming into the converter (except for receipt of the raw materials) is practically independent on the type of the reagent used for desulphurization and desulphurization technology but determined by the degree of purification of iron slag.

Keywords: ladle desulphurization of pig iron, magnesium, sulfur, converter