

А.Ф.Шевченко, Л.П.Курилова, В.Г.Кисляков, А.М.Башмаков,
А.Л.Руденко

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ВНЕПЕЧНОЙ ДЕСУЛЬФУРАЦИИ ЧУГУНА НА ПАРАМЕТРЫ ШЛАКООБРАЗОВАНИЯ В КОВШЕ

Приведены параметры шлакообразования в ковшах при внепечной подготовке чугуна к сталеплавному переделу. Показаны потери чугуна, начиная от налива чугуна в ковши до слива в конвертер. Показано, что инъекционные процессы имеют наименьшие потери. KR_{CaO} процесс сопровождается предварительным скачиванием шлака и наибольшими расходами реагентов, что приводит к наиболее высоким потерям чугуна.

Введение. При выборе технологического процесса десульфурации чугуна необходимо учитывать не только эффективность процесса, глубину десульфурации, удельные расходы реагентов, продолжительность полного цикла обработки и её надёжность, но и обязательно все затраты, связанные с осуществлением сравниваемых процессов. Из перечня всех затрат необходимо особо выделить потери чугуна, связанные с осуществлением процесса десульфурации, которые многими разработчиками по разным причинам не учитываются и которые весьма различны, так как каждый технологический процесс характерен своим индивидуальным отличием.

Методика исследования. В настоящей работе её авторами для анализа величин потерь чугуна выбраны для сравнения три наиболее дебатировуемых процесса:

I. Дувание гранулированного магния без разубоживающих добавок (по украинской технологии [1]).

II. Продувка смесью порошкового магния с известью [2, 3].

III. Процесс KR_{CaO} – механическое перемешивание чугуна вращающейся мешалкой с подачей на поверхность чугуна смеси извести с плавиковым шпатом [4, 6].

Все исходные данные для сравнительного анализа взяты по фактическим данным промышленных обработок чугуна, полученным разработчиками этих процессов [1–4,6].

Сопоставительный анализ указывает на принципиальные различия в осуществлении процессов. Инъекционные процессы (I и II), осуществляемые при дувании реагентов вглубь расплава через погружаемые формы, выполняются без всякого рода технологической подготовки расплава к десульфурации в ковше. В промышленной повседневной практике применения этих процессов чугун в ковшах подают на внепечную обработку при наличии на поверхности расплава в среднем 1,5% (от массы чугуна) ковшевого шлака, т.е. 15 кг/т чугуна. Высокая химическая активность ддуваемого диспергированного магния позволяет осуществлять надёжную

и эффективную десульфурацию чугуна при наличии на поверхности расплава ковшевого шлака невысокой основности [5] (не удаляя его перед десульфурацией). При инъекционных процессах десульфурации шлак удаляют из ковша только после завершения десульфурации или перед сливом обессеренного чугуна в сталеплавильный агрегат.

При осуществлении KR_{CaO} процесса наличие на поверхности чугуна исходного ковшевого шлака не позволяет обеспечивать надёжную и устойчивую десульфурацию чугуна, тем более глубокую десульфурацию со снижением содержания серы в чугуне до 0,002% и ниже. Имеющийся в ковше исходный ковшевой шлак блокирует поверхность вводимых известьсодержащих реагентов и снижает их активность, поэтому при KR -процессах дополнительно производят подготовку к десульфурации, которая заключается в предварительном удалении ковшевого шлака из ковша. Степень очистки от шлака зависит от планируемой глубины десульфурации и обычно составляет 75–90%. Подача известьсодержащих материалов в ковш и перемешивание чугуна осуществляется после удаления исходного шлака. После десульфурации KR_{CaO} процессом осуществляется (как и при всех других методах обессеривания) тщательное удаление шлака либо сразу после обработки, либо непосредственно перед сливом чугуна в сталеплавильный агрегат.

Таким образом, при инъекционных процессах десульфурации осуществляется, как правило, только одно скачивание шлака из ковша (после десульфурации) и не производят предварительную дополнительную подготовку чугуна. При десульфурации чугуна KR_{CaO} процессом требуется два скачивания шлака – перед подачей в ковш обессеривающих известьсодержащих материалов и после десульфурации.

Приведенные выше особенности технологий вносят существенные отличия в процессы шлакообразования в ковше, характеристики образующихся шлаков и, соответственно, потери чугуна с этими шлаками. В табл.1 на примере имеющихся исходных данных при снижении серы в чугуне с 0,020% до 0,002% приведены характеристики шлакообразования в ковшах при десульфурации сравнимаемыми тремя способами. Из таблицы следует, что технология вдувания гранулированного магния характеризуется наименьшим расходом реагентов, наименьшим дополнительным и суммарным шлакообразованием, и в итоге наименьшим количеством шлака, остающимся в ковше перед сливом в сталеплавильный агрегат. Технология десульфурации чугуна KR_{CaO} процессом сопровождается двойным скачиванием шлака (до и после десульфурации), наибольшим расходом реагентов, наибольшим дополнительным и суммарным шлакообразованием, и в итоге бóльшим количеством оставшегося в ковше шлака. Вдувание смесей магния с известью занимает промежуточное положение между двумя указанными выше (I и II) процессами.

Таблица 1. Изменение характеристик ковшевых шлаков в процессе внепечной подготовки чугуна перед сливом в сталеплавильный агрегат (исходное содержание серы в чугуне 0,020%, после десульфурации – 0,002%)

№	Показатели, параметр	Вдувание гранулированного магния – Mg (меткомбинаты КНР, процесс «Desmag–Украина»[1])	Продувка смесью – Mg+CaO (меткомбинат «Северсталь», Россия, процесс ESM [2,3])	Процесс KR _{CaO} . Механическое перемешивание с подачей CaO+CaF ₂ , (меткомбинаты КНР [4] и CSC (Тайвань) [6])
1	2	3	4	5
1	Количество исходного шлака в ковшах перед подачей их на внепечную обработку: – % (от массы чугуна) – кг/т чугуна	1,5 15	1,5 15	1,5 15
2	Содержание железа (чугуна) в ковшевом шлаке перед подачей на внепечную обработку [5]: – % от массы шлака – % (от массы чугуна) – кг/т шлака – кг/т чугуна	30 0,45 300 4,5	30 0,45 300 4,5	30 0,45 300 4,5
3	Количество шлака, скачиваемого из ковша перед десульфурацией чугуна: – % (от массы шлака) – кг/т чугуна	скачивание не требуется 0	скачивание не требуется 0	85 12,75
4	Количество шлака, оставшегося в ковше (непосредственно перед десульфурацией): – % (от массы чугуна) – кг/т чугуна	1,5 15	1,5 15	0,225 2,25

5	Количество железа (чугуна) в шлаке непосредственно перед десульфурацией:			
	– % (от массы шлака)	30	30	30
	– кг/т шлака	300	300	300
	– кг/т чугуна	4,5	4,5	0,675
6	Количество обессеривающе-го реагента, вводимого в ковш при десульфурации, кг/т чугуна	0,31	2,04	8,5
7	Дополнительное количество шлака, образующееся в ковше при десульфурации:			
	– кг/т чугуна	0,62	4,08	17,0
	–% (от массы чугуна)	0,062	0,408	1,7
8	Суммарное количество шлака в ковше после десульфурации:			
	– кг/т чугуна	15,62	19,08	19,25
	– % (от массы чугуна)	1,562	1,908	1,925
9	Содержание железа (чугуна) в ковшевом шлаке после десульфурации:			
	– % (от массы шлака)	40	45	45
	– кг/т шлака	400	450	450
	– % (от массы чугуна)	0,625	0,859	0,866
	– кг/т чугуна	6,25	8,59	8,66
10	Количество ковшевого шлака, удаляемого из ковша при скачивании после десульфурации:			
	– % (от массы шлака)	97	97	97
	– кг/т чугуна	15,15	18,51	18,66

11	Суммарное количество ковшевого шлака, удаленного из ковша при внепечной подготовке чугуна, кг/т чугуна	15,15	18,51	31,41
12	Количество ковшевого шлака, оставшегося в ковше после внепечной десульфурации и скачивания шлака: – % (от массы шлака) – кг/т чугуна	3 0,47	3 0,57	1,84 0,59

Результаты исследования. В соответствии с выполняемыми операциями при внепечной обработке чугуна и расчетными параметрами шлакообразования (табл.1) определяются величины потерь чугуна с ковшевым шлаком, образующимся в ковше и удаляемом после десульфурации при различных способах внепечной обработки. Анализ различных вариантов (I, II, III) процессов десульфурации и сопутствующих параметров шлакообразования (табл.1 и 2) свидетельствует о следующем:

1. Десульфурация чугуна KR_{CaO} процессом (III), в отличие от инъекционных (I и II), сопровождается дополнительными потерями со скачиваемым исходным шлаком в количестве 3,825 кг/т чугуна и 1,275 кг/т чугуна за счет выполнения операции скачивания шлака.

2. Потери чугуна со шлаком, образующимся в результате дувания гранулированного магния, составляет 0,279 кг/т чугуна, при дувании смеси $Mg+CaO$ – 1,836 кг/т чугуна, при KR_{CaO} процессе – 7,65 кг/т чугуна.

3. Суммарные потери чугуна со всеми удаляемыми шлаками и за счет выполнения операций скачивания шлака составляют при технологии дувания гранулированного магния – 7,622 кг/т чугуна, при продувке смесью магния с известью – 10,238 кг/т чугуна, при KR_{CaO} процессе – 15,422 кг/т чугуна.

4. Если условно потери чугуна при дувании магния без добавок принять за 1, то при продувке смесями они составят – 1,34, а при KR_{CaO} процессе – 2,02.

5. Наименьшие потери чугуна как при десульфурации (п.3, табл.2), так и суммарные (п.6, табл.2) характерны для процесса десульфурации чугуна дуванием магния без пассивирующих добавок. При десульфурации продувкой смесью $Mg+CaO$ потери чугуна больше на 2,616 кг/т чугуна, а при KR_{CaO} процессе больше на 7,80 кг/т чугуна.

6. За счет суммарных потерь чугуна со шлаком (образующимся при наливе ковшей чугуном, при десульфурации и при скачивании шлака) затраты при дувании смесей больше, чем при дувании магния без

добавок на 1,439 долл/т чугуна, а при KR_{CaO} процессе – больше на 4,29 долл/т чугуна.

Таблица 2. Потери чугуна при внепечной десульфурации и скачивании шлака (снижение содержания серы в чугуне с 0,020% до 0,002%, табл. 1)

№	Показатели, параметр	Вдувание гранулированного магнезия – Mg (меткомбинаты КНР, процесс «Desmag–Украина»[1])	Продувка смесью Mg+CaO (меткомбинат «Северсталь», Россия, процесс ESM [2,3])	Процесс KR_{CaO} . Механическое перемешивание с подачей CaO+CaF ₂ , (меткомбинаты КНР [4] и CSC (Тайвань) [6])
1	2	3	4	5
1	Потери чугуна с исходным ковшевым шлаком, из ковша при скачивании перед десульфурацией: – % (от массы шлака) – кг/т чугуна	0 (скачивание не требуется) 0	0 (скачивание не требуется) 0	30 3,825
2	Потери чугуна за счет операции скачивания исходного шлака: – % (от массы шлака) – кг/т чугуна	0 0	0 0	10 1,275
3	Потери чугуна со шлаком, образующимся при десульфурации: – % (от массы шлака) – кг/т чугуна	40 0,279	45 1,836	45 7,65
4	Потери чугуна от операции скачивания шлака после десульфурации: – % (от массы шлака) – кг/т чугуна	10 1,562	10 1,908	10 1,925
5	Потери чугуна со скачиваемым шлаком после десульфурации: – % (от массы скачиваемого шлака) – кг/т чугуна	40 6,060	45 8,330	45 8,397

6	Суммарные потери чугуна, связанные с десульфурацией и скачиванием шлака (п.п.1,2,4,5), кг/т чугуна	7,622	10,238	15,422
7	Увеличение потерь чугуна при десульфурации и скачивании шлака по сравнению с потерями при процессах вдувания магния без различных добавок.	0	+2,616	+7,800
8	Затраты на потери чугуна, связанные с наливом ковшей, десульфурацией и скачиванием шлака, долл/т чугуна.	4,192	5,631	8,482
9	Увеличение затрат на суммарные потери чугуна в сравнении с потерями при вдувании магния (процесс Desmag – Украина), долл/т чугуна.	0	1,439	4,290

Таким образом, наименьшие потери чугуна и связанные с этим затраты характерны для технологического процесса десульфурации чугуна вдуванием диспергированного магния без разубоживающих добавок. Вдувание смеси магния с известью увеличивает потери чугуна (в сравнении с вдуванием магния без добавок) в 1,44 раза (или на 2,6 кг/т чугуна), а при KR_{CaO} процессе потери больше в 2 раза (или на 7,8 кг/т чугуна).

Выводы

1. При внепечной подготовке чугуна к сталеплавильному переделу наполнение ковшей чугуном и переливы металла сопровождаются образованием исходного ковшевого шлака, в котором содержится в среднем 30% всплесков металла. При среднем количестве исходного шлака 15 кг/т чугуна, потери чугуна с исходным шлаком составляют в среднем 4,5 кг/т чугуна.

2. Десульфурация чугуна KR_{CaO} процессом (в отличие от инъекционных технологий) сопровождается предварительным скачиванием исходного ковшевого шлака, с которым теряется чугуна в среднем около 4 кг/т жидкого чугуна.

3. В период десульфурации чугуна образуется новый шлак, содержащий 40–45% всплесков металла (в зависимости от способа десульфурации). Потери чугуна с этим шлаком составляют около 0,3 кг/т чугуна при десульфурации гранулированным магнием, около 2 кг/т чугуна при десульфурации смесью магния с известью и около 8 кг/т чугуна при десульфурации KR_{CaO} процессом.

4. Наименьшие суммарные потери чугуна (за период его подготовки к сталеплавильному переделу) происходят при внепечной десульфурации вдуванием гранулированного (или зернистого) магния без пассивирующих добавок. Вдувание смесей магния с известью сопровождается потерями чугуна больше, чем при гранулированном магнии в 1,5 раза, а при десульфурации KR_{CaO} процессом – в 2 раза.

1. *Bashmakov A.M., Shevchenko A.F., Alexandrov V.A.* Possibilities to reduce hot metal desulphurization costs.// The IX International Symposium for Desulphurization of Hot Metal and Steel. – Galati, Romania. – September 18–21, 2006.– P.55–61.
2. *Lamuchin A.M., Sintschenko S.D., Ordin B.G.* Perspectives in the Field of Hot Metal Desulphurization in ОАО «Severstal» based on Desulphurization Agents Containing Magnesium.// The VII International Symposium for Desulphurization of Hot Metal and Steel. – Anif, Austria. – September 26–27, 2002.– P.32–33.
3. *Освоение технологии производства сталей с использованием установки десульфурации чугуна в условиях конвертерного производства ОАО «Северсталь».* / А.А.Степанов, А.М.Ламухин, С.Д.Зинченко и др. // VIII Международный симпозиум по десульфурации чугуна и стали. Сб. докладов. – Нижний Тагил, Россия. – 20–24 сентября 2004. – С.83–87.
4. *Инь Жуй Ю.* Отечественное сталеплавильное производство – обзор состояния и развитие технологий до 2010 г.// Научно–техническая конференция по выплавке и непрерывной разливке стали. – Анчжоу, Китай. – 30–31 июля 2008. – С.1–13.
5. *Особенности шлакообразования в ковшах с жидким чугуном.* / Н.Т.Ткач, А.Ф.Шевченко, Д.В.Костенко и др. // Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии. Сб.тр.ИЧМ. – 2004. – Вып.8. – С.168–175.
6. *Технологические регламенты на десульфурацию чугуна известьюсодержащими материалами в заливочных ковшах сталзавода № 2 компании CSC (Тайвань) при обработке KR –процессом.*

Статья рекомендована к печати докт.техн.наук А.С.Вергуном