

**А.Ф. Шевченко, Д.Б. Двоскин, А.С. Вергун, С.А. Шевченко,
А.С. Булахтин, В.Г. Кисляков, Е.А. Костицын, Н.Н. Днепренко,
А.В. Остапенко, Л.П. Курилова, Н.Т. Ткач**

РАЗРАБОТКА И ОСВОЕНИЕ ПРОЦЕССА ВНЕПЕЧНОЙ ДЕСУЛЬФУРАЦИИ ЧУГУНА В СОСТАВЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ КОМПЛЕКСОВ

Показано, что разработанный и освоенный в Украине процесс внепечной десульфурации чугуна гранулированным магнием успешно осваивается на металлургических предприятиях Китая в составе автоматизированных комплексов. Процесс обеспечивает высокую эффективность использования магния в широком интервале массы чугуна (30–310т) при снижении серы с 0,025–0,160 до требуемых, вплоть до 0,002%.

Процессы внепечной десульфурации чугуна получили повсеместное распространение в практике современного металлургического производства. Анализ применяемых процессов показывает, что использование немагниевого реагента (CaO , CaC_2 , Na_2CO_3 и различных смесей) сопровождается их большими расходами, которые даже стехиометрически в 2–4 раза больше, чем количество связываемой по реакциям серы [1]. На этом фоне выгодно выглядит магний, которого необходимо всего 0,76 от количества связываемой серы. Кроме этого уникальная способность магния растворяться в жидком чугуне – вплоть до 1,5–2,0% [2] усиливает потенциальные возможности магния по обеспечению экономичной и одновременно эффективной десульфурации чугуна.

Этими и рядом других положений руководствовались специалисты Института черной металлургии при разработке процесса десульфурации чугуна в ковшах магнием. В свое время различными разработчиками были проверены различные способы ввода магния в жидкий чугун – принудительный ввод кускового магния, ввод кусковых магниевых композиций (40% Mg), регулируемый ввод слиткового магния, ввод магнийсодержащей проволоки, вдувание порошковых смесей магния с добавками (CaO , CaC_2 , MgO), вдувание чистого (без пассивирующих добавок) магния.

Многолетние исследования и промышленный опыт эксплуатации показывают, что наиболее экономичным, эффективным, современным и перспективным является процесс вдувания магния без различных пассивирующих добавок. Этот процесс был разработан и освоен в Украине, а в настоящее время он активно распространяется на металлургических комбинатах Китая. Основные положения процесса вдувания «чистого» магния в жидкий чугун следующие:

1. Обеспечиваются наиболее благоприятные условия для насыщения чугуна магнием.

2. Применяемый для технологии реагент представляет собой гранулированный или зернистый материал с размером частиц в основе от 0,5 до 1,6мм.

3. Вдувание магния производят при максимально возможной концентрации в струе сухого несущего газа, но лучше в струе аргона или природного газа, что снижает потери магния с кислородом, азотом и влагой газа–носителя.

4. Магний вдувают без добавок, чтобы исключить потери с вредными составляющими этих добавок.

5. Для вдувания магния используют погружаемые огнеупорные фурмы обычного типа или с испарительной камерой на выходе.

6. Аппаратурно–технологическая схема реализует специальные режимы дозирования магния модулем–дозатором с автоматическим управлением процессами инъекции. Это, в свою очередь, обеспечивает высокую точность дозирования и вдувания, а также устойчивость и гибкость процесса.

Специальные газодинамические режимы вдувания и ряд других положений реализованы в технологическом процессе и аппаратурно–технологическом комплексе внепечной десульфурации чугуна вдуванием магния без наполнителей. Комплекс включает (рис.1) оборудование для приема и раздачи магния (позиции 1, 3,4) в дозирующие модули–дозаторы магния (поз.17), подвижное фурменное устройство с двумя фурмами (поз. 2, 12), пробоотбор и замер температуры (поз. 23), подвижный ковшевоз с заливочным ковшом (поз. 25,26), камеру продувки чугуна, машину скачивания шлака (поз. 24), фильтр–осадитель отработанных газов (поз.5,6) и стенд запасных фурм (поз. 22). Система аспирации обеспечивает газоотсос газа и дыма как при десульфурации чугуна, так и при скачивании шлака с последующей очисткой этих выбросов.

Количество модулей–дозаторов, как правило, соответствует количеству камер продувки чугуна, а загрузочный модуль (поз. 1) всегда один. Модуль–дозатор обеспечивает строго запрограммированное вдувание магния в чугун при параметрах дозирования в 20–30 раз точнее, чем у других аналогичных аппаратов вдувания диспергированных реагентов в жидкие расплавы. Модуль–дозатор оснащен также комплексом запорно–регулирующей аппаратуры, а вся установка – соответствующими механизмами и оборудованием для возможности работы как в автоматическом, так и ручном пооперационном режимах.

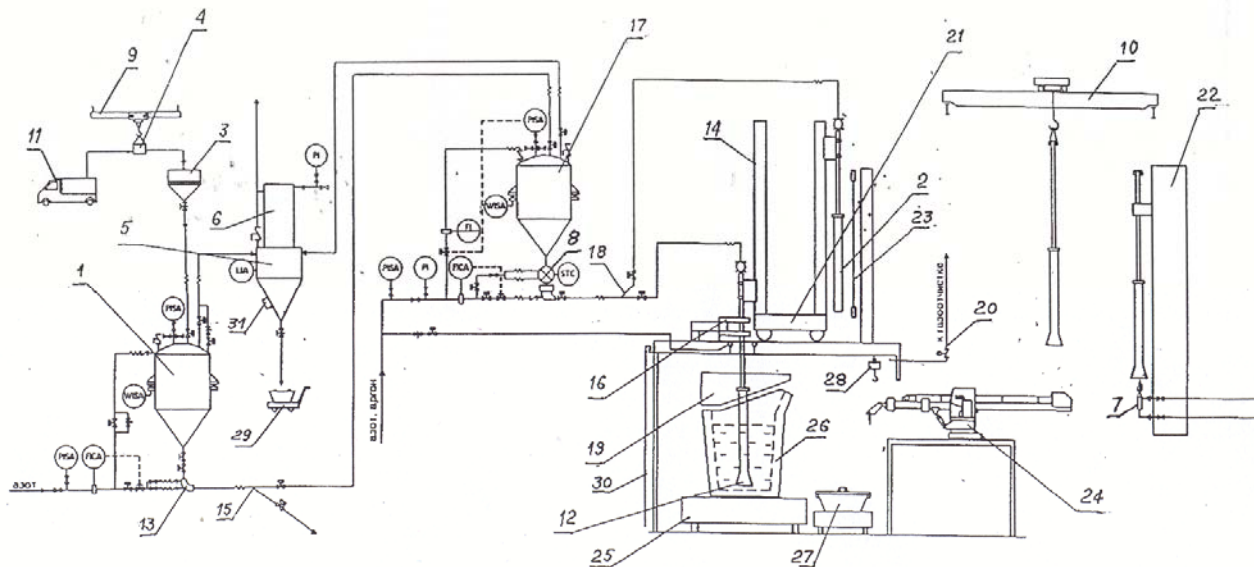


Рис.1. Аппаратурно-технологическая схема комплекса десульфурации чугуна вдуванием магния и скачивания шлака:
 1 – модуль загрузочный; 2 – фурменное устройство; 3 – воронка; 4 – контейнер с магнием; 5, 6 – фильтр-осадитель; 9, 10 – электромостовой кран; 12 – фурма; 14 – направляющие; 16 – гидрозажим; 17 – модуль-дозатор магния; 19 – крышка; 20 – аспирация; 22– стенд для резервных форм; 23 – пробоотборник и термopара; 24 – машина скачивания шлака; 25 – ковшевоз с кантователем; 26 – заливочный ковш; 27 – шлаковая чаша; 28 – тельфер; 29 – тележка; 30 – ворота; 31– вибратор.

В табл.1 приведены основные параметры наиболее характерных комплексов десульфурации чугуна вдуванием зернистого или гранулированного магния в заливочные ковши металлургических комбинатов Уханьского (100 т в ковше), Пекинского (200 т в ковше) и «Азовсталь» (300 т в ковше). Из таблицы видим, что в наибольшей степени рекомендуемые параметры выдержаны на комбинате «Азовсталь». На Уханьском меткомбинате магнием вдувают азотом (а не аргоном или природным газом) при недостаточно стабильном давлении. На Пекинском меткомбинате основные замечания по отклонениям от рациональных режимов включают: использование азота, нестабильность и пульсации давления в подводящих трассах и весьма большой (до 130–160 нм³/ч) расход азота на вдувание магния.

Промышленная проверка работы комплексов десульфурации чугуна вдуванием магния в ковши металлургических комбинатов Украины и Китая показала, что (несмотря на различие условий обработок и имеющиеся отклонения ряда параметров от рациональных) обеспечивается надежное и эффективное удаление серы при снижении её содержания с 0,025–0,160% до требуемых пределов, в т.ч.: ≤0,015%; ≤0,010%; ≤0,005%; ≤0,002% (задается оператором установки десульфурации). Процесс сопровождается наименьшими расходами реагента, минимальной потерей температуры, наименьшими шлакообразованием и потерями чугуна (табл.2). Аналогичные результаты получены на других меткомбинатах КНР (Уханьском, Пекинском, Тайюаньском, Сянтаньском, Ханданском, Циндаоском и Тангшаньском). Высокая эффективность и надежность технологии десульфурации гранулированным магнием обусловлена высоким усвоением магния. Существенным достоинством технологии десульфурации чугуна вдуванием гранулированного магния является то, что процесс обеспечивает высокую эффективность в широком интервале массы чугуна (30–310 т), количества шлака в ковше (0,5–3,8%), температуры чугуна (1200–1450⁰С), исходных (0,015–0,160%) и конечных (0,002–0,020%) содержаний серы. Показательным в этом отношении является опыт вдувания магния на Циндаоском комбинате, где при массе чугуна в ковше вплоть до 33 т, исходной сере – до 0,167%, температуре чугуна – до 1200⁰С и количестве исходного шлака до 9% (от массы чугуна) вдуванием магния содержание серы снижают до требуемого, вплоть до 0,003%.

В табл.3 представлены технико-экономические показатели наиболее распространенных в настоящее время процессов десульфурации чугуна. Из таблицы следует, что за счет наименьших расходов реагентов, отказа от наполнителей, наименьшего шлакообразования и наименьших потерь температуры вдувание гранулированного магния обеспечивает наименьшие затраты – 0,7±0,8 долл/т чугуна против 1,6–1,8 долл./т чугуна при вдувании порошковых магниесодержащих смесей.

Таблица 1. Основные характеристики и параметры характерных комплексов десульфурации чугуна гранулированным магнием в заливочных ковшах

№	Параметр	Рекомендуемый	Реализовано на комбинате		
			Уханьский меткомбинат	Пекинский меткомбинат	Опытная установка комбината «Азовсталь»
1	Масса чугуна в ковше, т	0,5–350	<u>98,5–107,5</u> 100,8	<u>180,2–206,5</u> 194,7	280–311
2	Глубина расплава в ковше, м	условия Заказчика	2,2–2,3	3,0–3,2	4,0–4,3
3	Высота свободного пространства в ковше над расплавом, м	≥0,4	0,6–0,8	0,3–0,5	0,3–0,5
4	Масса шлака в ковше, % (от массы чугуна)	не более 0,6	<u>0,25–1,50</u> 0,75	<u>0,3–2,7</u> 1,32	<0,6
5	Тип фурмы	Погружаемая, двух типов	С испарительной камерой на выходе	Прямоточная без испарителя	Прямоточная без испарителя
6	Глубина погружения фурмы в расплав, м от дна ковша	0,2 м	0,2 м	0,16 м	0,2–0,3 м
7	Содержание Mg _{мет.} в гранул. магнии, %	>80%	>92–99%	>92–95%	>92%
8	Инжектирующий газ	аргон, природный газ	азот	азот	аргон
9	Интенсивность вдувания магния, кг/мин	6–14	6,5	до 10	до 12
10	Температура жидкого чугуна, °С	Условия Заказчика	<u>1178–1402</u> 1300	<u>1283–1396</u> 1347	<u>1254–1320</u> 1293
11	Расход инжектирующего газа, нм ³ /час – для ковшей с массой чугуна до 120 т	30–50	40–50	–	–
	– для ковшей с массой чугуна более 150 т	90–110	–	130–160	90–110
12	Давление в подводящем трубопроводе, МПа – для ковшей с массой чугуна до 120 т – для ковшей с массой чугуна более 150 т	Стабильное, без пульсаций 0,5–0,6 Стабильное, без пульсаций до 0,9 МПа	Нестабильное, с пульсациями 0,4–0,6	Нестабильное, с пульсациями. 0,8–1,2	Стабильное, без пульсаций; 0,8
13	Режим управления процессом	АСУ ТП и ручное	АСУ ТП и ручное	АСУ ТП и ручное	Ручное

Таблица 2. Показатели промышленной работы установок десульфурации чугуна вдуванием гранулированного магния в заливочные ковши (средние данные)

№	Показатель, параметр	Уханьский меткомбинат	Пекинский меткомбинат	«Азовсталь» (опытная установка)
1	Содержание серы в чугуне, %:			
	– исходное	0,027	0,027	0,025
	– после обработки	0,011	0,007	0,007
2	Удельный расход, кг/т чугуна:			
	– гранулята	0,24	0,27	0,23
	– магния металлического	0,22	0,25	0,21
3	Степень десульфурации, %:			
	– итоговая	59,2	74	72
	– удельная (на каждые 0,1 кг магния /т чугуна)	26,8	29,4	32,7
4	Показатель β (расход магния на удаленную серу), кг/кг	1,38	1,26	1,22
5	Степень усвоения магния, %:			
	– на серу	55	60	65
	– суммарная	89	90	95
6	Температура жидкого чугуна, °С:			
	– до обработки	1300	1348	1293
	– снижение температуры чугуна за весь цикл обработки	10	13	8
7	Продолжительность вдувания магния, мин	4,2	6,4	8,5
8	Количество удаленного из ковша, кг/т чугуна:			
	– шлака (в т.ч. доменного и вновь образовавшегося)	7,0	9,4	3,8
	– потери чугуна со шлаком	3,5	4,2	1,8

Таблица 3. Сопоставление основных затрат при десульфурации чугуна вдуванием гранулированного магния (технология Украины), вдуванием смеси извести и магния (ESM, «Hoogovens», «Rossborough») и вдуванием смеси карбида кальция с магнием (ESM) при начальном содержании серы в чугуне 0,025%, конечном 0,005% и массе чугуна в ковше более 150 т

№	Показатель	Вдувание гранулированного магния		Продувка смесью извести с магнием («Remaco», «Rossborough»)	Продувка смесью карбида кальция с магнием (ESM, Баошаньский МК)
		комбинат «Азовсталь» (несущий газ – аргон)	Пекинский меткомбинат (несущий газ – азот)		
1	Расход реагентов, кг/т чугуна				
	– магния	0,26	0,30	0,40	0,32
	– извести	–	–	1,60	–
	– карбида кальция	–	–	–	1,28
	Всего реагентов	0,26	0,30	2,00	1,60
2	Количество дополнительно образующегося в ковше шлака, кг/т чугуна	0,52	0,60	4,00	3,20
3	Потери чугуна с дополнительным шлаком, кг/т чугуна	0,234	0,270	1,80	1,44
4	Снижение температуры чугуна за период вдувания реагентов, °С	5	6	12	12
5	Затраты при десульфурации чугуна, долл.США/т чугуна:				
	а) на магний	0,572	0,660	0,880	0,704
	б) на известь (молотая)	–	–	0,304	–
	в) на карбид кальция (порошок)	–	–	–	0,702
	г) на потери чугуна с дополнительным шлаком	0,026	0,030	0,198	0,158
	д) на потери температуры чугуна	0,100	0,120	0,240	0,240
	Суммарные затраты по пунктам «а», «б», «в», «г», «д»	0,698	0,810	1,622	1,804

Следует обратить внимание на то, что, кроме указанных в таблицах показателей, украинская технология десульфурации имеет ряд таких достоинств как низкие капитальные затраты, простота и гарантированная безопасность, наиболее низкие затраты на удаление и утилизацию шлака, низкие текущие эксплуатационные затраты.

Приведенное исследование и промышленная практика подтверждают, что процесс десульфурации вдуванием магния без добавок имеет высокий научно–технический уровень и сопровождается: самой высокой степенью усвоения реагента (до 95%); самым низким расходом реагента; надежностью и стабильностью; наименьшим шлакообразованием; наименьшими потерями чугуна; малой продолжительностью процессов; малой металлоемкостью комплекса оборудования; безопасностью и отсутствием вредных выбросов; низкими капитальными и текущими затратами; высоким уровнем автоматизации; наименьшей себестоимостью и высоким уровнем окупаемости затрат.

Все изложенное свидетельствует о том, что аппаратурно–технологический комплекс десульфурации чугуна вдуванием гранулированного или зернистого магния является не только высокорациональным, современным, но и имеет надежную и хорошую перспективу практического применения для ковшей широкого типоразмера – от 20÷30 т до 300÷350 т чугуна.

1. *Шевченко А.Ф.* Разработка и развитие теории и технологии процессов внепечной десульфурации чугуна в ковшах вдуванием диспергированных реагентов. Докторская диссерт. Днепропетровск. 1997. – 457 с.
2. *Внепечная обработка чугуна магнийсодержащими реагентами / А.Ф. Шевченко, Б.В. Двоскин, Н.Т. Ткач и др.* Сталь. 1996. № 7. – С.17–19.

Статья рекомендована к печати д.т.н. И.Г.Товаровским