

УДК 669.162.267.642

**А.Ф.Шевченко, А.С.Вергун, А.М.Шевченко, И.А.Маначин,
Б.В.Двоскин**

**СОПОСТАВЛЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ КОВШЕВОЙ
ДЕСУЛЬФУРАЦИИ ЧУГУНА МАГНИЕМ**

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

Приведено сопоставление двух технологий вдувания магния: вдувание (кошкекция) смеси магния с известью и вдувание зернистого магния без добавок. Представлены фактические данные по параметрам шлакообразования, приходу серы в конвертер, возможностям ресульфурации, влияния извести на параметры процесса вдувания, условиям скачивания шлака и обеспечения особо глубокой десульфурации чугуна (до $\leq 0,001 - 0,002\%$ серы). Показано, что в приведенном объеме сопоставления этих процессов нет существенных отличий в показателях использования обессеренного чугуна в конвертерном переделе.

Ключевые слова: чугун, десульфурация, магний, технологические показатели, затраты

Современное состояние вопроса. Из различного типа процессов внепечной десульфурации чугуна наибольшее распространение и применение получили технологии обессеривания, основанные на регулируемом вдувании в расплав диспергированных реагентов (в виде порошков, зерен). Обусловлено это тем, что указанные процессы обеспечивают высокое усвоение реагентов (вплоть до 95 %), широкие регулируемые пределы степени десульфурации чугуна (вплоть до 99 %), возможность глубокой и особенно глубокой десульфурации чугуна (до $\leq 0,002\%$ серы), высокую скорость удаления серы (удельную степень десульфурации вплоть до 20–25 %/мин), наименьшую продолжительность операции (вплоть до 2,5 мин) и наименьшие затраты на обработку [1, 2, 3].

В наибольшей степени указанные преимущества реализуются при использовании в технологии реагентов на основе магния [1, 3], среди которых практически преобладают 2 типа процессов – вдувание магния в смеси с известью и вдувание зернистого магния без пассивирующих добавок. Применение первого типа технологии обусловлено в основе тем, что пассивирующая добавка извести существенно облегчает надежность работы фурмы и собственно процесса вдувания магнийсодержащего реагента. Разработка и освоение второй технологии – вдувания зернистого магния без пассивирующих добавок, связано с тем, что добавка извести к магнию не способствует процессу десульфурации [1–5] и даже сопровождается потерями части вводимого магния [1–3, 5, 6]. Эти положения были в последующем подтверждены при сопоставительной промышленной проверке этих технологий на металлургических комбинатах КНР Уханьском, Шаганском, Тайюаньском и др. [1–3, 7, 8].

Целью работы является сопоставление двух технологий вдувания магния: вдувание (кожекция) смеси магния с известью и вдувание зернистого магния без добавок.

Изложение основных результатов исследования. В ранее опубликованных работах [1–8] было приведено сопоставление 2-х магниевых инъекционных технологий десульфурации чугуна (смесью магния с известью и зернистым магнием) и показаны преимущества вдувания зернистого магния без разубоживающих добавок. Однако у ряда металлургов имеются вопросы и замечания к технологии вдувания «чистого» (без извести) магния, которые требуют отдельного рассмотрения. Среди них следующие:

1. Отсутствие извести может уменьшить шлакообразование в ковше и повысить содержание серы в ковшевом шлаке.

2. Более высокое содержание серы в шлаке при одинаковых условиях его удаления (скачивания) может приводить к большему приходу серы в конвертер.

3. Отсутствие подачи извести (вместе с магнием) способствует развитию процессов ресульфурации.

4. Отсутствие совместной подачи магния с известью может уменьшить интенсивность ввода магния в жидкий чугун и увеличить продолжительность операции десульфурации чугуна.

5. Неизвестна стабильность получения чугуна с супернизким содержанием серы ($\leq 0,002\%$ и $\leq 0,001\%$).

6. Вдувание магния без извести может способствовать ухудшению условий удаления ковшевого шлака, что должно сопровождаться удлинением операции скачивания шлака и попаданием шлака в конвертер.

По приведенным вопросам необходимо изложить следующие ответы:

Вопрос 1. Отсутствие наполнителей (типа извести) во вдуваемом магниесодержащем реагенте действительно уменьшает количество дополнительно образующегося шлака. Это сопровождается ощутимым уменьшением затрат при десульфурации [1] за счет меньших потерь чугуна с дополнительно образующимся ковшевым шлаком, но при этом общее количество шлака уменьшается не столь существенно.

На примере применения рассматриваемых двух технологий десульфурации в одинаковых условиях показано (таблица 1), что при снижении серы в чугуне, например, с 0,020 до 0,002 % в ковше после десульфурации гранулированным магнием образуется суммарное количество шлака 15,78 кг/т чугуна, а после продувки смесью магния с известью – 19,08 кг/т чугуна, т.е. на 20,9 % больше. В этих же условиях содержание серы в шлаке после вдувания зернистого магния составляет 1,81 %, а после вдувания магниесодержащей смеси 1,49 %, т.е. меньше на 17,7 % (относительных).

Приведенные содержания серы в ковшевых шлаках после десульфурации чугуна в реальных производственных условиях являются

весьма близкими и обусловлено это тем, что в ковшах перед десульфурацией, как правило, содержится в среднем 15–20 кг исходного шлака на тонну чугуна [2, 3, 10, 11], что составляет 78–95 % от общего количества шлака в ковше после десульфурации (см. табл. 1, пп. 4, 5, 6).

Таблица 1. Параметры шлакообразования в ковше при десульфурации чугуна вдуванием зернистого магния (меткомбинат CSC, Тайвань [1]) и вдуванием (коинжекция) магния в смеси с известью (ПАО «Северсталь», Россия [9]). Масса чугуна в ковше около 280 т

№ № п/п	Параметр	Вдувание зернистого магния (CSC, Тайвань)	Вдувание (коинжекция) магния в смеси с известью (ПАО "Северсталь")
1	Содержание серы в чугуне, %:		
	– исходное	0,020	0,020
	– после десульфурации	0,002	0,002
2	Удельный расход реагентов, кг/т чугуна:		
	– магний	0,39	0,49
	– известь флюидизированная	–	1,55
	– всего реагентов	0,39	2,04
3	Расход реагентов, кг/ковш	109	571
4	Исходное количество шлака в ковше перед десульфурацией:		
	– % от массы чугуна	1,5	1,5
	– кг/т чугуна	15	15
	– кг/ковш	4200	4200
5	Дополнительно количество образующегося шлака:		
	– кг/ковш	218	1142
	– кг/т чугуна	0,78	4,08
6	Количество шлака в ковше после десульфурации:		
	– кг/ковш	4418	5342
	– кг/т чугуна	15,78	19,08
7	Содержание серы в ковшевом шлаке, %:		
	– перед десульфурацией	0,7	0,7
	– после десульфурации	1,81	1,49

По изложенным причинам на количество и химсостав шлака в ковшах после десульфурации в большей степени влияет не состав вдуваемых магнийсодержащих реагентов, а количество и состав исходного ковшевого шлака (перед десульфурацией). В реальных условиях ввиду

того, что количество исходного ковшевого шлака значительно превышает количество дополнительно образующегося шлака (при десульфурации магнийсодержащими реагентами), в итоге получаем, что при вдувании зернистого магния и магния с известью ковшевые шлаки содержат весьма близкие содержания серы (в равных условиях обработки).

Вопрос 2. Суждение о том, что большее содержание серы в шлаке может приводить к большему попаданию серы в конвертер является логичным, но практическое влияние этого фактора необходимо оценить с учетом реальных результатов. При изучении процессов шлакообразования в ковшах (при различных вариантах десульфурации чугуна) и приходе серы в сталеплавильные агрегаты [12] были установлены фактические величины параметров попадания серы в конвертер, при анализе которых получена зависимость прихода серы в ванну конвертера от степени скачивания шлака из ковша с чугуном и типа применяемого процесса десульфурации (рис. 1).

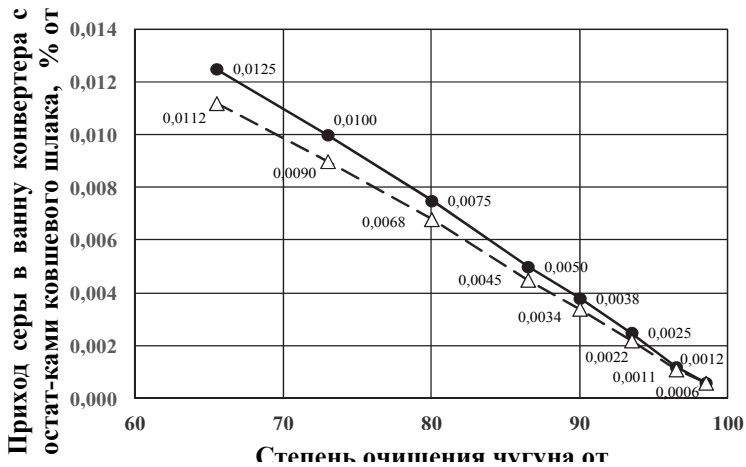


Рис.1. Зависимость прихода серы в ванну конвертера (с остатками ковшевого шлака) от степени скачивания шлака из ковша после десульфурации.

Цифры у точек - величины прихода серы в конвертер со шлаком.

Конечное содержание серы в чугуне 0,002 %.

- ————— вдувание зернистого магния;
- Δ ————— вдувание магния в смеси с известью

Показано, что с увеличением степени удаления шлака с 65 до 95–96 % количество серы, вносимой в конвертер с оставшимся шлаком, уменьшается с 0,0112–0,0125 % (от массы чугуна) до 0,001 %. При удалении более 96 % шлака количество вносимой серы снижается до 0,0006 %. Как следует из приведенной диаграммы разница в величинах прихода серы (в конвертер) по двух рассматриваемым технологиям десульфурации чугуна незначительна и она уменьшается с 0,0013 % до 0,0001 % при увеличении степени скачивания

шлака с 65 до 95 %. При степени скачивания шлака более 95 % этой разницы практически нет. Приведенное свидетельствует о том, что при современных средствах очищения чугуна от ковшевого шлака (с применением современных гидравлических машин и барботировании расплава в ковше азотом), обеспечивающих без особых проблем удаление более 90 % шлака (вплоть до полного его удаления) тип применяемой технологии вдувания магния не влияет на приход серы со шлаком в конвертер.

Вопрос 3. Вопросам равновесия в системе $[Mg]-[S]$ и устойчивости результатов десульфурации чугуна при вдувании магния посвящено много исследований и работ, результаты которых в основе включают следующее. При вводе в жидкий чугун магний является практически единственным реагентом, который может насыщать чугун – до 0,4-1,3 % (рис. 2) [2]. В системе $[Mg]-[S]$ в равновесном состоянии в условиях рафинирования реальных чугунов величина $[Mg]_{\text{равн.}}$, как правило, не превышает 0,2 % (рис.3) даже при особо глубокой десульфурации, а чаще не превышает 0,05 %. Технология десульфурации чугуна вдуванием гранулированного магния обеспечивает фактическое содержание магния в чугуне ($[Mg]_{\text{факт.}}$), как правило, не меньше равновесного значения, т.е. $[Mg]_{\text{факт.}} \geq [Mg]_{\text{равн.}}$. Это условие является одним из принципиальных, так как обеспечивает стабильность состояния системы рафинирования, исключая (или существенно снижая) опасность протекания процесса возврата серы в расплав. Выдержка обессеренного чугуна в таком состоянии увеличивает устойчивость системы рафинирования, так как снижение температуры чугуна приводит к уменьшению равновесного значения магния $[Mg]_{\text{равн.}}$ и увеличению разницы $[Mg]_{\text{факт.}} - [Mg]_{\text{равн.}}$ (рис. 3). Наличие в системе рафинирования фактически избыточного содержания магния предотвращает протекание процессов ресульфурации чугуна, особенно при содержаниях серы в чугуне 0,005 % и ниже.

Фактическими данными широкой промышленной эксплуатации было показано, что после десульфурации чугуна вдуванием гранулированного магния вплоть до слива чугуна в конвертер наблюдается частичное снижение содержания магния в чугуне ($[Mg]_{\text{факт.}}$), а содержание серы не повышается, и даже наблюдается дальнейшее снижение его содержания – на 0,001–0,003 % [2, 14].

Таким образом, квалифицированная реализация процесса десульфурации чугуна вдуванием гранулированного магния сопровождается насыщением рафинируемого расплава магнием, который предотвращает возврат серы из шлака в чугун, играя роль «защитного барьера».

Наличие в ковшевом шлаке оксида кальция (как правило, не меньше 20% [2, 15] вполне достаточно для связывания приходящей в шлак серы в более прочные (чем MgS) сульфиды кальция. Возможны случаи, когда содержание кальция в шлаке может быть недостаточным, тогда в технологии десульфурации вдуванием зернистого магния предусмотрена

операция корректировки состава ковшевого шлака, в т.ч. с применением СаО-содержащих материалов, но в этом случае используют дешевые (в т.ч. в виде отходов) материалы, а не дорогостоящую молотую флюидизированную известь, цена которой составляет [4] около 700 долл. США/т (как это осуществляется в процессах коинжекции магния в смеси с известью).

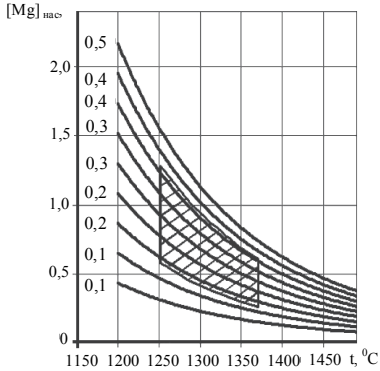


Рис.2. Зависимость предельного насыщения чугуна магнием ($[Mg]_{нас.}$) от температуры (t) и давления в зоне массообмена. Цифры у кривых – абсолютное давление в массообменной зоне, МПа. Заштрихованная область – значения ($[Mg]_{нас.}$) при характерных параметрах в зоне ввода магния в ковши с чугуном

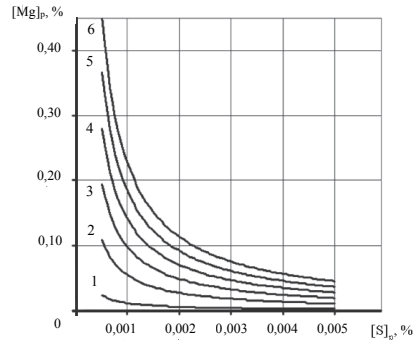
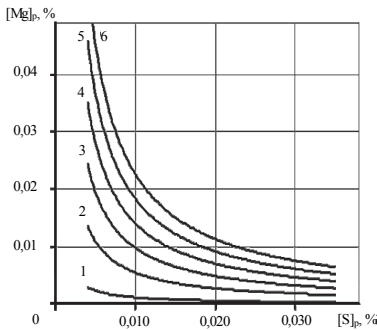


Рис.3. Зависимость равновесного содержания магния ($[Mg]_p$) в жидком чугуне от содержания серы ($[S]_p$) при различных температурах, °С: 1 – 1250; 2 – 1300; 3 – 1350; 4 – 1400; 5 – 1450; 6 – 1500. а – при содержании серы в чугуне 0,005 – 0,035 %; б – при особо глубокой десульфурации чугуна до содержания серы 0,0005 – 0,0050%

Вопрос 4. При инъекционных процессах ввода магниесодержащих реагентов в жидкий чугун характер протекания процесса обработки расплава в ковше зависит от целого ряда факторов, из которых наиболее влияющим является интенсивность ввода магния и уровень равномерности подачи реагента (а не наличие в реагенте извести). В силу этого процесс вдувания магния в смеси с порошковым карбидом кальция (который является более сыпучим материалом, чем известь) протекает

более спокойно, чем вдувание магния в смеси порошковой известью (даже флюидизированной).

В технологии и оборудовании десульфурации вдувания магния без различных пассивирующих добавок реализуются наиболее благоприятные условия для инъекционного ввода магнийсодержащих реагентов в железоуглеродистые расплавы [2, 8]. Для вдувания применяется реагент в зернистом виде, что обеспечивает намного лучшую текучесть и сыпучесть (угол естественного откоса не более $28-29^\circ$), не требуется азрирование реагента и меры повышения его текучести.

Отсутствие пассивирующих и другого типа добавок создают благоприятные условия для обеспечения наибольшей активности магния в реакционной зоне. Инжекционно-дозировочная система является плавно регулируемой, но в тоже время «жесткой» и не реагирующей на все помехи, в т.ч. на различные возмущения, приходящие по инъекционному магниепроводу (от бурлящей ванны). Регулирующая система обеспечивает точное дозирование в подаче реагентов с погрешностью не более 0,5 % от заданных параметров. Интенсивность вдувания зернистого магния (масса в единицу времени) обеспечивается весьма стабильной, с погрешностью не более 2 % (в т.ч. мгновенная) от задаваемой. Изложенные отличия в совокупности с конструкцией и параметрами рациональной фурмы обеспечивают устойчивое, равномерное, стабильное и технологичное вдувание магния в жидкий чугун с интенсивностью подачи от 0 до 25 кг/мин. и продолжительности вплоть до 2,5 мин., т.е. за более короткий промежуток, чем вдувание магния в смеси с известью.

Вопрос 5.

Вдувание зернистого магния (без пассивирующих добавок) обеспечивает стабильное получение чугуна с заданным содержанием серы вплоть до $\leq 0,002$ %. Освоение этой технологии на целом ряде меткомбинатов КНР и Тайваня это подтверждает. Введенный в эксплуатацию на сталзаводе № 2 меткомбината концерна CSC (Тайвань) комплекс десульфурации чугуна мощностью 6,5 млн.т/год обеспечивает с гарантией не менее 95 % получение особо чистого чугуна с содержанием серы $\leq 0,002$ % при среднем удельном расходе магния около 0,4 кг/т чугуна. В составе гарантии предлагаются также параметры, обеспечивающие содержание серы в чугуне после десульфурации 0,001 %. Наименьшее содержание серы в чугуне после обработки составляет 0,0002 %.

Таблица 2. Результаты работы комплексов десульфурации чугуна на различных меткомбинатах при выплавке стали в 350-тонных конвертерах

№№ вариантов	Наименование предприятия, страна	Технология десульфурации чугуна	Содержание серы в чугуне, %			Содержание серы в стали (перед сливом из конвертера), %	Приход серы в конвертере, %
			Исходное (перед десульфурацией)	После десульфурации	После десульфурации		
1	ОАО «Северсталь», Череповец, Россия	Вдувание смеси (СаО+Mg) через 2 фурмы (одновременно)	$\frac{0,010-0,047}{0,0262}$	$\frac{0,001-0,010}{0,0043}$	$\frac{0,004-0,016}{0,0088}$	$\frac{+(-0,0013-0,0070)}{0,0045}$	
2	ПАО «Металлургический комбинат «Азовсталь», Мариуполь, Украина	Вдувание гранулированного магния в доменные ковши	н/д	$\leq 0,005$ (1,61 млн.т/год чугуна)	$\leq 0,005$ (1,72 млн.т стали)	н/д	
3	Корпорация CSC, сталезавод № 2, Каосюн, Тайвань	Вдувание гранулированного магния через 2-х сопловую фурму	$\frac{0,014-0,056}{0,029}$	$\frac{0,0002-0,0048}{0,0033}$	0,0047	0,0015	
4	Корпорация CSC, сталезавод № 2, Каосюн, Тайвань	Вдувание гранулированного магния через 2-х сопловую фурму	$\frac{0,0184-0,0230}{0,021}$	$\frac{0,0032-0,0045}{0,00372}$	$\frac{0,0054-0,0067}{0,0058}$	$\frac{0,0015-0,0031}{0,0021}$	
5	Корпорация CSC, сталезавод № 2, Каосюн, Тайвань	KR-процесс известь+плавиковый шпат	$\frac{0,0181-0,0230}{0,0207}$	$\frac{0,0021-0,0027}{0,0023}$	$\frac{0,0034-0,0047}{0,0040}$	$\frac{0,0010-0,0026}{0,0017}$	

Вопрос 6. Широкое промышленное освоение технологии десульфурации чугуна вдуванием зернистого магния (без извести) на 37 сталевых заводах КНР и Тайваня (70 комплексов десульфурации и сквашивания шлака) показало, что образующиеся после десульфурации ковшевые шлаки по своим физико-химическим характеристикам существенно не отличаются от традиционных ковшевых шлаков [2, 3, 10, 11]. При помощи гидравлических машин скребкового типа за 4–7 мин из ковшей удаляется до 95 % шлака и более. Барботирование чугуна азотом (в период сквашивания) позволяет практически полностью очистить чугун от шлака. Кроме того, имеющиеся в составе комплексов десульфурации бункера для корректировки состава шлака позволяют осуществлять загрузку шлаков, как это осуществляется на ОАО «Северсталь» (после десульфурации чугуна коинжекцией магния с известью).

В табл. 2 представлены фактические показатели десульфурации чугуна по различным технологиям в близких условиях [16], из которой следует, что при вдувании зернистого магния содержание серы в чугуне после десульфурации и в стали (перед сливом из конвертера) ничем не уступает другим процессам обессеривания чугуна. В дополнение следует обратить внимание, что на ПАО «Азовсталь» на базе очень глубокой десульфурации чугуна ($\leq 0,002\%$) и чистого лома получали [14] содержание серы в стали $\leq 0,002\%$ (перед сливом ее из конвертера).

Выводы

Таким образом, из приведенных выше фактических данных промышленной эксплуатации, выполненного анализа параметров и показателей десульфурации чугуна по двум различным технологиям – вдувание зернистого магния и вдувания (коинжекция) смеси магния с известью получены следующие выводы:

1. Вдувание магния и магнийсодержащей смеси увеличивает количество шлака в ковше. С учетом практически постоянного значительного количества исходного шлака в ковше (78–95 % от общей массы) содержание серы в конечном шлаке увеличивается, но величины содержания серы в шлаках по двум технологиям десульфурации получаются близкими.

2. При современной технологии и оборудовании для удаления шлака из ковшей с чугуном обеспечивается удаление 90 % (и более) шлака. В этих условиях тип применяемых в настоящее время технологий вдувания магнийсодержащих реагентов не оказывает принципиального влияния на приход серы в конвертер.

3. Реализация процесса десульфурации чугуна вдуванием зернистого магния (без разубоживающих добавок) сопровождается насыщением чугуна магнием, который играет роль «защитного барьера», препятствующего протеканию процессов возврата серы из шлаков. В ряде случаев (отсутствие исходного шлака в ковше, низкое содержание оксида кальция в шлаке – (меньше 5–10%)) рациональна корректировка физико-химического состава конечного шлака с помощью дешевых отходов

производств обжига извести, огнеупоров и др. добавок (в количестве 1-2 кг/т чугуна).

4. Процесс десульфурации чугуна вдуванием магния без порошковой извести включает применение наиболее текучего материала – в виде зерен, наиболее управляемой и надежной системы дозирования и вдувания магния, более стабильной и спокойной продувке чугуна в ковше с интенсивностью подачи магния вплоть до 25 кг/мин, «свободным бортом» в ковше – вплоть до 0,15 м и продолжительности вдувания в 1,5–2 раза меньше, чем при вдувании порошковой смеси.

5. Возможность и стабильность получения чугуна с супернизким содержанием серы подтверждена широкой производственной практикой применения технологии десульфурации чугуна вдуванием зернистого магния на металлургических предприятиях КНР и Тайваня, самым новым из которых является комплекс глубокой десульфурации чугуна (вплоть до $\leq 0,002$ % серы) концерна CSC (Тайвань) мощностью 6,5 млн.т/год чугуна. По желанию заказчика могут обеспечиваться гарантии по содержанию серы после обработки $\leq 0,001$ %.

6. Производственный опыт скачивания шлака из ковшей после десульфурации чугуна зернистым магнием без извести на меткомбинатах Украины, КНР и Тайваня не выявил особых трудностей и отличий удаления ковшевых шлаков. Применение современных средств скачивания шлака позволяет за 4–6 мин. удалить до 95% шлака и более. Содержание серы в стали при работе на глубокообессеренном чугуне по двум технологиям вдувания магния получается практически одинаковым и зависящим в основе от степени очищения чугуна от шлака.

1. *Технико-экономическое сопоставление процессов внепечной десульфурации чугуна по результатам их промышленного освоения.* / А.Ф.Шевченко, А.М.Башмаков, И.А.Маначин и др. // Бюлл. Черная металлургия. – Москва: Черметинформация. – 2013. – № 10. – С. 9-13.
2. *Шевченко А.Ф., Большаков В.И., Башмаков А.М.* Технология и оборудование десульфурации чугуна магнием в большегрузных ковшах. – Киев: Наукова думка, 2011. – 207 с.
3. *Шевченко А.Ф.* Комплексная оценка различных технологий внепечной десульфурации чугуна. // Бюлл. Черная металлургия. Москва. Черметинформация. – 2011. – № 7. – С.33-41.
4. *Зборищук А.М., Куберский С.В., Косолап Н.В.* Эффективность использования реагентов в современных процессах внедоменной десульфурации чугуна. // Бюлл. Черная металлургия. Москва. Черметинформация. – 2011. – № 12. – С. 35-41.
5. *Воронова Н.А.* Десульфурация чугуна магнием. – М.: Металлургия, 1980. – 239 с.
6. *Десульфурация чугуна вдуванием магния в чугуновозные ковши.* / Н.А.Воронова, С.Т.Плискановский, А.Ф.Шевченко и др. // Сталь. – 1974. – № 4. – С. 297-302.

7. *Применение* технологии десульфурации чугуна гранулированным магнезиом на Уханьском металлургическом комбинате. / А.Ф.Шевченко, Б.В.Двоскин, А.С.Вергун и др. // Сталь. – 2002. – № 4. – С. 46-48.
8. *Создание* и развитие технологических решений по внепечной десульфурации чугуна. / В.И.Большаков, А.Ф.Шевченко, Лю Дун Ие и др. // Труды 15-й международной конференции по выплавке стали. КНР. – 19–21 ноября 2008 г., г. Сяамэнь.
9. *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. // Бюлл. Черная металлургия. М. – Черметинформация. – 2009. – № 7. – С. 61-63.
10. *Оценка* влияния технологии внепечной десульфурации чугуна на параметры шлакообразования в ковше. / А.Ф.Шевченко, Л.П.Курилова, В.Г.Кисляков и др. // Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии. Сб. трудов ИЧМ. Днепропетровск. – 2008. – Вып. 17. – С. 116-123.
11. *Влияние* внепечной подготовки чугуна на потери чугуна на ковшевым шлаком. / А.Ф.Шевченко, Лю Дун Ие, Л.П.Курилова и др. // Бюлл. Черная металлургия. Черметинформация. М. – 2009. – Вып. 2 (1310). – С. 31-35.
12. *Влияние* технологии десульфурации чугуна и скачивания шлака на приход серы в сталеплавильный агрегат. / А.Ф.Шевченко, А.С.Вергун, Б.В.Двоскин и др. // Бюлл. Черная металлургия. – Черметинформация. – М. – 2008. – Вып. 5 (1301). – С. 18-25.
13. *Взаимосвязь* концентраций серы и магния в чугуне при внепечном рафинировании. / А.Ф.Шевченко, А.В.Зотов, Б.В.Двоскин и др. // Теория и практика металлургии. Сб. трудов НМетАУ. – 1999. – № 4. – С. 35–37.
14. *Опытно-промышленное* опробование производства чугуна с супернизким содержанием серы для выплавки в конвертерах чистой по сере стали. / А.Ф.Шевченко, Н.Т.Ткач, Б.В.Двоскин и др. // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 1991. – № 3. – С. 7-9.
15. *Оценка* количества серы, вносимой в конвертер с чугуном и шлаком при применении десульфурации чугуна. / Н.Т.Ткач, П.С.Лындя, А.Л.Руденко и др. // Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии. Сб. ИЧМ. – Днепропетровск. – 2005. – Вып. 10. – С. 104-108.
16. *Содержание* серы в чугуне и стали при использовании внепечной десульфурации чугуна перед сталеплавильным переделом. / А.Ф.Шевченко, А.С.Вергун, А.М.Шевченко и др. // Бюлл. Черные металлы. – М. – Черметинформация. – 2014. – № 5. – С. 47-49.

*Статья рекомендована к печати
докт.техн.наук, проф. А.Г.Чернятевичем.*

А.П.Шевченко, О.С.Вергун, А.М.Шевченко, І.А.Маначин, Б.В.Двоскін

Порівняння різних технологій ковшової десульфурзації чавуну магнієм

Наведено зіставлення двох технологій вдування магнію: вдування (коіжекція) суміші магнію з вапном і вдування зернистого магнію без добавок. Представлено фактичні дані за параметрами шлакоутворення, приходу сірки в конвертер, можливостям ресульфурзації, впливу вапна на параметри процесу вдування, умов скачування шлаку і забезпечення особливо глибокої десульфурзації чавуну (до $\leq 0,001 - 0,002\%$ сірки). Показано, що в наведеному обсязі зіставлення цих процесів немає істотних відмінностей в показниках використання знесірчених чавуну в конвертерному переділі.

Ключові слова: чавун, десульфурация, магній, технологічні показники, витрати

A. F. Shevchenko, A. S. Verhun, A. M. Shevchenko, I. A. Manachin, B. V. Dvoskin

Comparison of different technologies ladle desulphurization magnesium

The comparison of the two technologies of magnesium injection: the injection of magnesium mixed with lime and granular magnesium injection without additives. Presents evidence on the parameters of slag formation, parish sulfur converter capabilities resulfurization, lime influence on the parameters of the injection process, the terms of slagging and ensure a particularly deep desulphurization (to $\leq 0,001 - 0,002\%$ sulfur). It is shown that in the above volume comparison of these processes are no significant differences in terms of use of sweet iron in the converter redistribution.

Keywords: iron, desulfurization, magnesium, technological performance, cost