

**А. Ф. Шевченко, Б. В. Двоскин, А. С. Вергун, И. А. Маначин, А. В. Остапенко,
С. А. Шевченко, А. М. Башмаков*, Э. А. Троценко**, Лю Дун Ие***, Шью Рен Люи****,
Ян Цзя Жуй******

Институт черной металлургии НАН Украины, Днепропетровск

*ООО «Титанпроект», ООО «ЭкоТехСервис», Запорожье

**НПО «Инфоком», Запорожье

***СК «ДЕСМАГ» (КНР)

****China Steel Corporation (CSC, Тайвань)

Развитие процесса ковшовой десульфурации чугуна вдуванием зернистого магния¹

Рассмотрено происхождение резервов (появление которых является следствием рассредоточенного вдувания магния и последующего диспергирования потоков в расплаве) процесса десульфурации чугуна гранулированным или зернистым магнием. Показано, что данные технологические разработки увеличивают тепло- и массообменную поверхность в рафинируемой ванне на 30-50 %, за счет чего повышается степень усвоения магния, увеличивается интенсивность вдувания магния с 7-12 до 18-22 кг/мин и вдвое сокращается продолжительность процесса обработки. Установлены параметры процесса инжектирования.

Ключевые слова: десульфурация, инжекция, интенсивность вдувания, поверхность массообмена

Состояние проблемы. Необходимость улучшения технико-экономических показателей процессов выплавки стали и получения металлопродукции с низким и особо низким содержанием серы обуславливают потребность увеличения объемов и глубины десульфурации чугуна перед его сталеплавильным переделом. Инжекционные процессы ковшовой десульфурации чугуна вдуванием различных магнийсодержащих реагентов завоевали в последнее время лидирующие позиции в повсеместной практике подготовки жидкого чугуна к конвертерному переделу [1-4]. Обеспечивая достаточно высокие показатели десульфурации и надежную промышленную эксплуатацию [2, 4, 5], эти процессы, тем не менее, не лишены «узких» мест, к которым в первую очередь можно отнести ограничение интенсивности ввода магния в расплав чугуна, предельная величина которой составляет 10-13 кг/мин [2, 4-6].

При вдувании магния в смеси с известью интенсивность ввода магния, как правило, находится в пределах 7-12 кг/мин [2-4], а в процессе вдувания гранулированного магния (без разубоживающих добавок извести) этот показатель варьируется, как правило, в пределах 7-13 кг/мин [1, 4, 5]. Увеличение интенсивности вдувания магния выше указанных пределов сопровождается повышением бурности процесса обработки и, соответственно, резким увеличением потерь чугуна.

Для повышения интенсивности ввода магния в большегрузные ковши с чугуном американская фирма «ESM» реализовала на Череповецком меткомбинате «Северсталь» [2, 6] вдувание магниезвест-

ковой смеси через две одновременно погружаемые фурмы с использованием двух независимых инъекционных систем. С применением этого технологического решения появилась возможность увеличить интенсивность вдувания магния в смеси с известью до 16-22 кг/мин и, соответственно, сократить продолжительность операции рафинирования чугуна. Однако анализ данного процесса указывает на некоторые существенные его недостатки, объясняющие ограниченное применение этого технологического решения в производственной практике, и к которым следует отнести следующие: высокие капитальные затраты (за счет двух систем вдувания на один ковш); невысокая степень усвоения магния, вдуваемого в смеси; повышенные эксплуатационные затраты; значительная себестоимость обработки чугуна.

Решение проблемы. С целью увеличения интенсивности ввода магния в жидкий чугун авторы с участием специалистов Украины и Китая реализовали другой подход. Это решение основывалось на создании наиболее однородного двухфазного магнийсодержащего потока, разделении этого потока на несколько равных (до истечения из фурмы) и обеспечении максимального диспергирования вдуваемых потоков в расплаве чугуна (в зоне истечения и прифурменной). Основные меры, направленные на достижение указанных условий вдувания магния, заключались в следующем: применении зернистого типа магния (с диаметром частиц 0,4-1,6 мм) без пылевидных фракций и добавок; равномерном распределении частиц магния по сечению инжектирующего магниепровода; обеспечении минимальных пульса-

¹ В работе принимали участие: В. Г. Кисляков, Н. В. Морозов, А. П. Толстопят, В. И. Елисеев, Л. П. Курилова, И. В. Мосягина, С. А. Штепа, А. В. Куликов, Маа Цзо Чжен, Ван Тен Дзян, Юань Жуй Дзян, Чэн Сюэ Син

ций потока в магнийпроводе; разделении единого магнийсодержащего потока на несколько равных (перед истечением потока в расплав чугуна); максимальном рассредоточении и диспергировании вдуваемых потоков в расплаве чугуна.

Реализация вышеуказанных составляющих инжекционного ввода магния в жидкий чугун включала: специальные условия и параметры дозирования магния; необходимые параметры разгона потока и подготовки его к разделению; особую компоновку оголовка фурмы и параметры вдувания. Эти условия обеспечивали максимальное диспергирование потока и образование наиболее развитой межфазной тепло- и массообменной поверхности в расплаве чугуна.

Исследованиями на лабораторной и опытно-промышленной установках инжекционной подачи магния установили, что при концентрации зернистого магния в газе около 8 кг/м^3 (или $16\text{-}25 \text{ кг/м}^3$) и скорости потока более 80 м/с пульсаций потока практически не наблюдается, а по своим свойствам двухфазный поток азота с зернистым магнием приближается к газовому потоку, способному разделяться на несколько. С точки зрения устойчивости вдувания зернистого магния минимальный диаметр канала (сопла) должен быть не менее $6,0\text{-}6,4 \text{ мм}$.

При вдувании таких потоков в жидкую ванну в зоне истечения и в прифурменной области образуются тепло- и массообменная зоны. Исследованиями на холодных моделях процессов газообразования в жидкой ванне по разработанной и проверенной ранее методике [7, 8] установили, что при вдувании потока, например, через двухсопловую фурму величина образующейся межфазной поверхности получается большей (рис. 1), чем через односопловую (в одинаковых условиях продувки). Эта разница увеличивалась с повышением расхода вдуваемого газа.

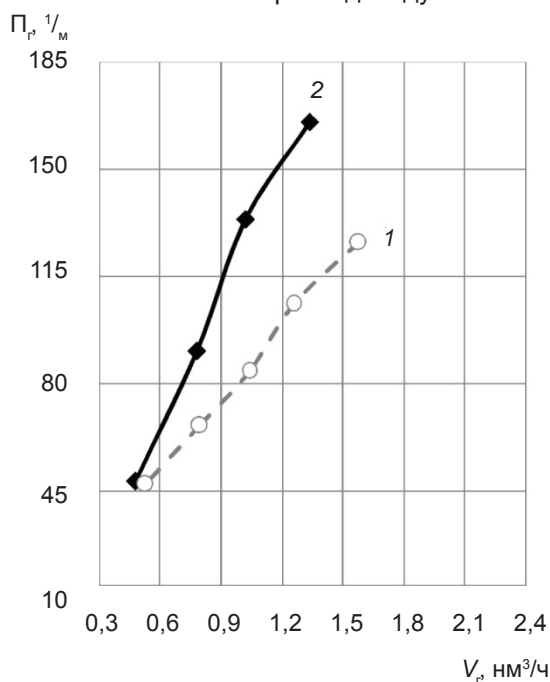


Рис. 1. Изменение условной межфазной поверхности (Π_r) в продуваемой ванне в зависимости от расхода (V_r) газа при вдувании через одно- и двухсопловую фурмы (с равными сечениями каналов): 1 – односопловая; 2 – двухсопловая

Такую зависимость установили при различных параметрах вдувания через двухсопловые фурмы. По результатам этих исследований сделали заключение о том, что в условиях, близких к реальным (расход газа $120\text{-}140 \text{ м}^3/\text{ч}$), при всех прочих равных условиях переход от вдувания через односопловую фурму к двухсопловой увеличивает межфазную поверхность (Π_r) со 115 до $165 \text{ м}^2/\text{м}$ или на 43 % (относительных).

Вышеприведенное свидетельствует о том, что при вдувании магния через многосопловую фурму за счет изменения условий ввода двухфазного потока в жидкость происходит не только деление потока, но и достигается последующее лучшее диспергирование вдуваемых потоков за счет их взаимодействия с рафинируемой ванной. Установленные большие значения Π_r на многосопловой фурме определяют более благоприятные условия взаимодействия вдуваемых магнийсодержащих сред с расплавом чугуна.

Сопоставление величин условной межфазной поверхности при различных методах и условиях вдувания показывает (рис. 2), что в широких пределах угла отклонения оси сопел (на выходе из фурмы) величина межфазной поверхности при двухсопловой фурме (кривая 2) больше чем при односопловой (кривая 1) на $25\text{-}42 \text{ м}^2/\text{м}$ (или на 33-50 % относительных). Оптимальным значением угла отклонения сопел на выходе (от вертикально оси) приняли величину 45° .

Таким образом, экспериментально показано, что вдувание газосодержащих потоков через многосопловую фурму сопровождается большим диспергированием парогазовой среды ($\text{Mg} + \text{N}_2$) с образованием более развитой тепло- и массообменной поверхности в рафинируемой ванне чугуна. Последнее послужило основой организации процесса вдувания магния через многосопловые фурмы (например, двухсопловые), которые обеспечивают более

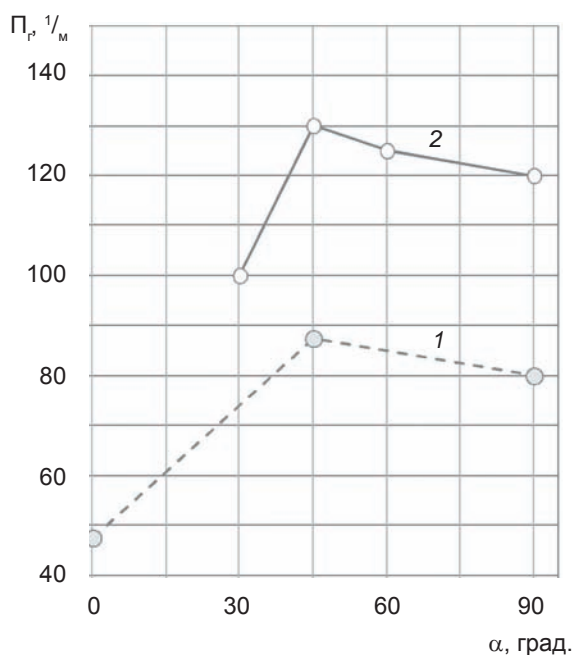


Рис. 2. Изменение условной межфазной поверхности (Π_r) в продуваемой ванне от угла отклонения оси сопел (α) от вертикальной оси (расход газа $V_r = 1,3 \text{ м}^3/\text{ч}$): 1 – вдувание одноканальной фурмой; 2 – вдувание двухканальной фурмой

эффективное взаимодействие магния с расплавом, повышают его усвоение и успокаивают процесс обработки чугуна в ковше, чем создают благоприятные условия для увеличения интенсивности вдувания магния в жидкий чугун.

Проанализировав параметры вдувания магния через двухсопловую фурму, разработали номограмму взаимосвязи величин интенсивности подачи магния, расхода азота, диаметров подводящего канала и диаметра сопел на выходе из фурмы. Деление потока на два равноценных обеспечивается параметрами вдувания, конструкцией делителя и оголовка фурмы.

Экспериментальные, опытные, а затем промышленные продувки чугуна магнием через двухсопловые фурмы провели на ковшах различного типоразмера. При обработках однозначно установили, что при всех прочих равных условиях процесс вдувания магния через двухсопловую фурму протекает более спокойно, чем при продувках односопловой фурмой. Если скорость потока на выходе из сопел более 80-90 м/с – процесс вдувания протекает надежно. Деление потока на два сопла в оголовке фурм осуществляется достаточно устойчиво, поэтому забивание или зарастание сопел практически не наблюдается. С помощью установленных положительных явлений появилась возможность использовать полученный эффект в двух направлениях (при вдувании через двухсопловые фурмы) – для увеличения интенсивности вдувания магния в 1,5-2,2 раза (в зависимости от типоразмера ковша) и налива чугуна в ковши с уменьшением «высоты свободного борта» (до 0,3 м, а в некоторых случаях – до 0,15).

Сопоставление эффективности усвоения магния при вдувании через одно- и двухсопловую фурмы (на примере массы чугуна в ковшах 135-148 т) свидетельствует о том, что в равных условиях обработки и, например, при снижении содержания серы в чугуне до 0,002-0,003 % степень усвоения магния на серу (K_{Mg}^S) при двухсопловой фурме на 10-15 % (абсолютных) и на 18-32 (относительных) больше, чем при односопловой фурме (рис. 3). Повышение степени усвоения магния при вдувании двухсопловой фурмой обусловлено созданием в ванне более развитой массо- и теплообменной поверхности, что обеспечивает более благоприятные условия его взаимодействия с расплавом чугуна.

Разработанный технологический процесс вдувания магния (без добавок) через двухсопловые фурмы проверили и освоили в промышленных условиях на меткомбинатах в ковшах с массой чугуна от 96 до 300 т. Основные технологические показатели десульфурации чугуна на этих комбинатах при работе на двухсопловых фурмах представлены в табл. 1, по данным которой можно сделать вывод о том, что благодаря освоению технологии вдувания магния через двухсопловые фурмы в переменных условиях промышленного производства увеличивается интенсивность ввода в ковши с чугуном до 16-25 кг/мин (практически вдвое), а это: обеспечивает суперглубокую десульфурацию чугуна (вплоть до < 0,001-0,002 % S); сокращает продолжительность

вдувания магния в ковши с чугуном до 4-7 мин; сохраняет высокую удельную степень десульфурации чугуна (в среднем 17,6-22,6 %) и суммарную (вплоть до 99 %). Несмотря на большую интенсивность ввода магния в чугун, модернизированный процесс сопровождается невысоким удельным снижением температуры чугуна – 0,6-1,1 °С/мин.

Один из последних промышленных объектов освоения украинского процесса глубокой десульфурации чугуна вдуванием зернистого магния через двухсопловые погружаемые фурмы – новый комплекс десульфурации чугуна (КДЧ) и скачивания шлака в заливочных ковшах сталзавода № 2 корпорации China Steel Corporation (CSC, Тайвань), который ввели в эксплуатацию в конце 2012 г., являющийся самым высокопроизводительным в мировой практике (из действующих) КДЧ. Этот комплекс включает два независимых поста обработки чугуна (рис. 4) вдуванием магния в 300-тонные заливочные ковши, на которых в автоматизированном режиме осуществляется выполнение всех операций по десульфурации чугуна, скачиванию шлака, корректировке (в случае необходимости) физико-химических свойств ковшовых шлаков, отбору проб чугуна и замеру температуры.

Пропускная способность КДЧ составляет более 7 млн. т/год особо чистого по сере ($\leq 0,002-0,005$ %) чугуна за счет продолжительности полного цикла операций обработки чугуна (в КДЧ) (в среднем 26 мин, максимальная – не превышает 32 мин). За многие периоды работы КДЧ полный цикл операций осуществлялся за 16-20 мин. Последние месяцы работы КДЧ свидетельствуют о том, что процесс вдувания зернистого магния через двухсопловые

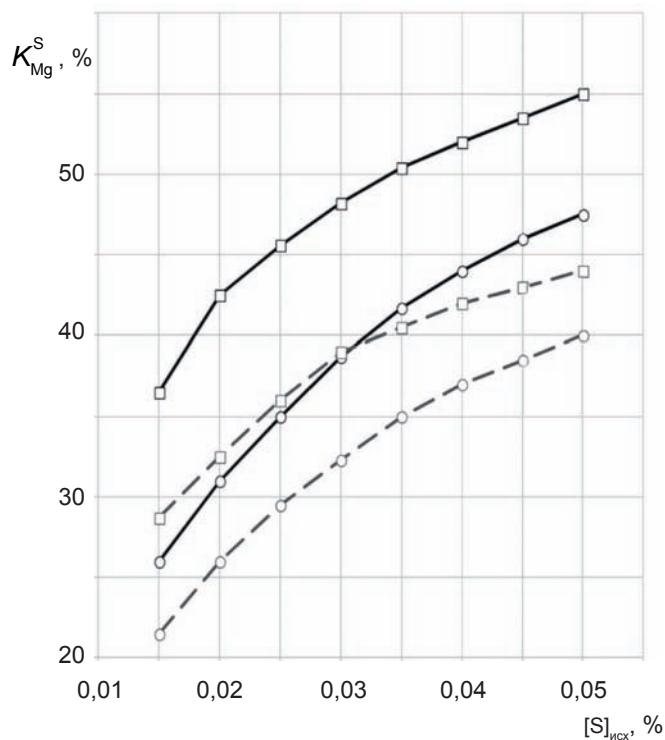


Рис. 3. Изменение показателей степени усвоения магния на серу удаленную (K_{Mg}^S) от исходного содержания серы в чугуне ($[S]_{исх.}$): — вдувание через двухсопловую фурму; - - вдувание через односопловую фурму (конечное содержание серы в чугуне: □ – 0,003; ○ – 0,002)

фурмы реализует высокую интенсивность ввода магния в ковши с чугуном (до 25 кг/мин) и за короткий промежуток времени (в среднем 7,4 мин) обес-

печивает довольно глубокую десульфурацию чугуна (Ст. D – до 99 %) со снижением серы до 0,0002-0,0005 %. Степень усвоения магния на серу

Таблица 1

Показатели десульфурации чугуна (средние) вдуванием зернистого магния двухсopловой фурмой в заливочных ковшах (промышленные продувки) меткомбинатов

Показатели*		Меткомбинаты				Корпорация
		Тонгхуанский (КНР)	Сянминский (КНР)	Дзилинский (КНР)	Тяньзинь-лянхэский (КНР)	«CSC» (Тайвань)
Масса чугуна в ковшах, т		147	108	139	98	265
Удельный расход магния, кг/т чугуна		0,55	0,38	0,37	0,36	0,41
Интенсивность вдувания магния, кг/мин		10-22	10-16	10-15	7-10	16-25
Продолжительность вдувания магния, мин		4,8	4,7	4,5	5,0	6,8
Содержание серы в чугуне, %	исходное	0,015-0,055 0,030	0,012-0,042 0,024	0,012-0,067 0,026	0,013-0,021 0,0163	0,012-0,061 0,029
	после десульфурации	0,0003-0,0050 0,0017	0,0020-0,0120 0,0070	0,0022-0,0150 0,0077	0,0010-0,0050 0,0029	0,0002-0,0048 0,0029
Степень десульфурации чугуна, %	суммарная	93	74	70	82	90
	удельная (на каждые 0,1 кг магния/т чугуна)	17,6	19,1	19,3	22,6	22,2
Степень усвоения магния, %	на серу удаленную	38	35	35	28	48
	суммарная	76	74	69	95	97
Удельное снижение температуры чугуна за период десульфурации, °C/мин		н/д	0,65	0,80	1,10	0,60

* Числитель – пределы значений; знаменатель – среднее

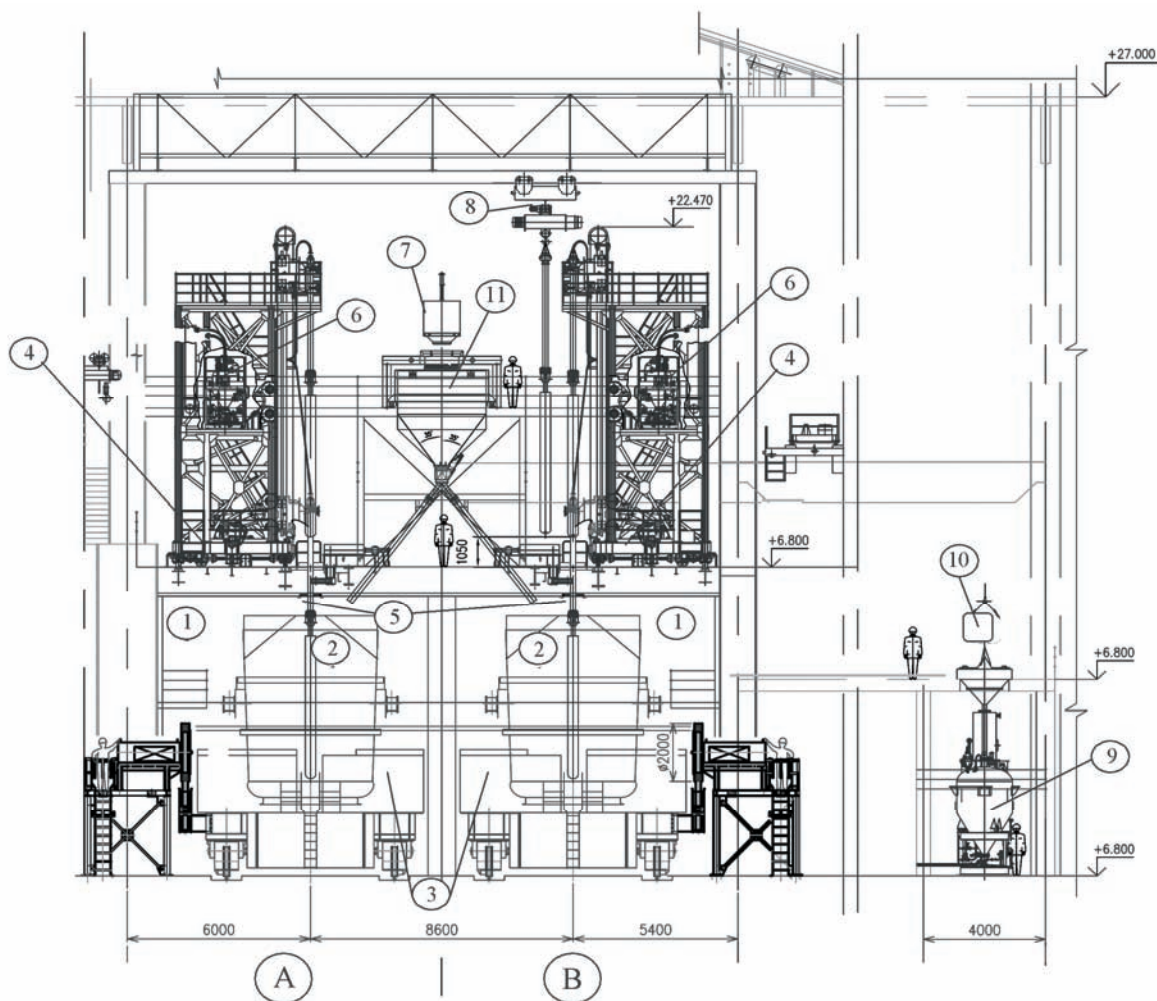


Рис. 4. Комплекс десульфурации чугуна вдуванием гранулированного магния и скачивания шлака в 300-тонных ковшах корпорации CSC (Тайвань): 1 – камеры обработки чугуна; 2 – заливочные ковши; 3 – подвижные чугуновозы; 4 – устройства для ввода фурм в расплав; 5 – погружаемые фурмы; 6 – модуль-дозаторы магния; 7 – контейнер с корректирующей (шлак) засыпкой; 8 – кран-балка; 9 – загрузочный модуль; 10 – контейнер с магнием; 11 – бункер подачи корректирующей засыпки в ковш

Результаты работы комплекса десульфурации чугуна вдуванием гранулированного магния (без извести и других добавок) в заливочных ковшах сталываода № 2 (CSC, Тайвань)

Масса чугуна в заливочных ковшах, т	Содержание серы в чугуне, %		Содержание серы в стали (перед сливом из конвертера), %	Приход серы в конвертере, %
	перед десульфурацией	после десульфурации		
240-280	$\frac{0,014-0,056}{0,029^*}$	$\frac{0,0002-0,0048}{0,003^*}$	0,0047*	0,0015*

* Средние значения

(K_{Mg}^S) составляет в среднем 48,3 % (при низком конечном содержании серы после обработки – 0,0029 %), а с учетом остаточного магния в чугуне суммарная составляет 95 %.

Следует обратить внимание на то, что очень высокие показатели десульфурации и обработки в целом получили при неблагоприятных условиях, к которым относятся: исходный шлак в ковшах (более 1 % от массы чугуна); его низкая основность (около 0,3); высокое содержание кислорода в чугуне (вплоть до $\geq 0,017$ %) и др.

Полученный обессеренный чугун после скачивания шлака использовали для выплавки в конвертерах различных низкоуглеродистых марок стали. В табл. 2 приведены показатели применения этого чугуна в конвертерном переделе, по которым можно сделать вывод о том, что введенный в эксплуатацию комплекс десульфурации чугуна гранулированным магнием и скачивания шлака обеспечил конвертерный цех низкосернистым (без шлака) чугуном с содержанием серы $\leq 0,005$ %, а в среднем – 0,0033 %, благодаря чему при сливе из конвертера получили сталь со средним содержанием серы 0,0047 %. По выходу серы в стали получается в среднем на 0,0015 % больше, чем в чугуне, что обусловлено приходом серы с другими шихтовыми составляющими и остатками ковшового шлака. Содержание серы в конвертере во многих плавках обеспечено на уровне 0,002-0,003 %.

Вышеприведенное подтверждает, что использование украинской технологии десульфурации чугуна вдуванием гранулированного магния (без добавок извести) и надежное скачивание шлака в условиях сталываода № 2 концерна CSC обеспечило получение стали в конвертере на повалке с серой 0,0047 % (при среднем содержании серы в чугуне 0,0033 %), то есть дополнительный приход серы в конвертере составил всего 0,0015 %, что свидетельствует об эффективности и надежности модернизированного процесса вдувания зернистого магния (через двухсопловую фурму) и скачивания ковшового шлака после рафинирования чугуна.

Сопоставление разработанного процесса вдувания гранулированного (зернистого) магния (без различных добавок) через многосопловую фурму с другими наиболее эффективными технологическими аналогами (вдувание магниесодержащих смесей) показывает (рис. 5), что в первом случае (кривая 1) процесс сопровождается наименьшими удельными расходами магния, а при одинаковых расходах магния (по кривым 1-3) украинский процесс десульфурации обеспечивает наиболее высокие значения

степени десульфурации – больше на 6-20 % (абсолютных). Вследствие этого можно сделать вывод о том, что новая модернизированная технология десульфурации чугуна вдуванием одного лишь магния через многосопловую фурму является весьма рациональным и экономичным технологическим решением внепечного удаления серы из чугуна в настоящее время и на ближайшую перспективу.

Выводы

Таким образом, показано, что процесс ковшовой десульфурации чугуна вдуванием зернистого (гранулированного) магния через многосопловую (например, двухсопловую) погружаемую фурму обеспечивает эффективное диспергирование вдуваемого двухфазного потока в расплаве и более развитую (на 30-50 %) тепло- и массообменную поверхность в рафинируемой ванне. За счет этого повышается (на 20-30 % относительных) степень усвоения магния,

Ст. D, %

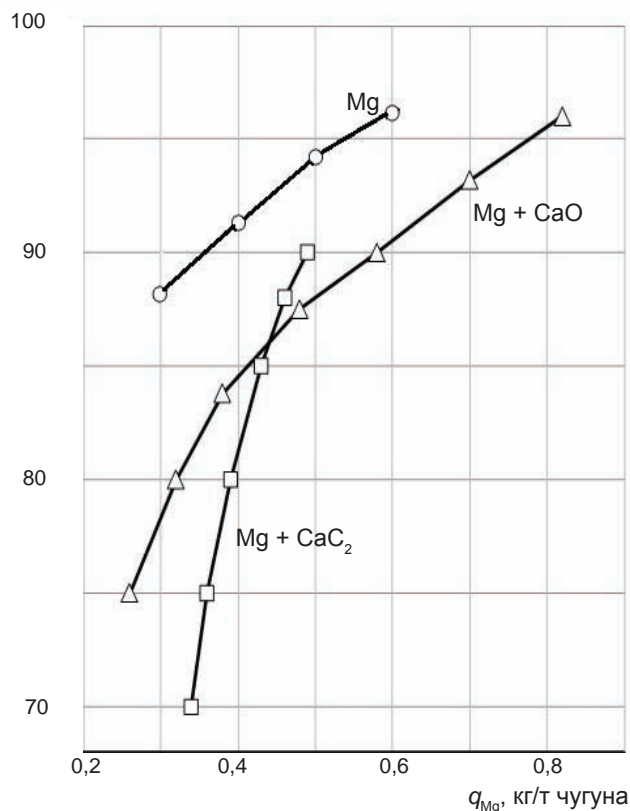
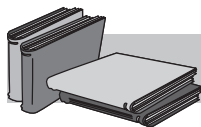


Рис. 5. Изменение степени десульфурации чугуна (Ст. D) от удельного расхода (q_{Mg}) вдуваемого магния в 300-350-тонные заливочные ковша: 1 – \circ – вдувание гранулированного магния (без добавок) через двухсопловую фурму (украинский процесс на CSC, Тайвань); 2 – \triangle – вдувание смеси магния с известью через две фурмы (процесс «ESM» США; «Северсталь», Череповец) [2, 9, 10]; 3 – \square – вдувание магния в смеси с карбидом кальция (процесс «ESM» США; «Baosteel», Шанхай) [11]

увеличивается в 1,5-2,2 раза (до 25 кг/мин и более) интенсивность вдувания магния и соответственно во столько же раз сокращается продолжительность операции ввода магния в ковши с жидким чугуном. То есть, снижаются затраты на десульфурацию и повышается производительность комплекса десульфурации.

Полный цикл операций внепечной обработки чугуна (включая операции с ковшом, отбор проб, замер температуры, десульфурацию, скачивание шлака) при вдувании магния, например через двухсопловые фурмы, становится в 1,5-2 раза меньше, чем цикл конвертерной плавки.

Разработанный процесс вдувания зернистого магния через двухсопловые фурмы освоен на многих металлургических комбинатах.



ЛИТЕРАТУРА

1. Внепечная десульфурация чугуна в заливочных ковшах в условиях современного конвертерного производства / А. Ф. Шевченко, А. С. Вергун, Б. В. Двоскин и др. // Чер. металлургия. – 2011. – № 6. – С. 23-27.
2. The IX International Symposium for desulphurization of hot metal and steel (Sept. 18-21, 2000). – Galati (Romania), 2006. – 61 p.
3. Зборщик А. М., Куберский С. В., Косолап Н. В. Эффективность использования реагентов в современных процессах внедоменной десульфурации чугуна // Чер. металлургия. – 2011. – № 12. – С. 35-40.
4. Шевченко А. Ф., Большаков В. И., Башмаков А. М. Технология и оборудование десульфурации чугуна магнием в большегрузных ковшах // К.: Наук. думка, 2011. – 207 с.
5. Создание и развитие рациональных технологий внепечной десульфурации чугуна / В. И. Большаков, А. Ф. Шевченко, Лю Дун Ие и др. // Сталь. – 2009. – № 4. – С. 13-20.
6. 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. // Тр. VIII Межд. симпозиума по десульфурации чугуна и стали. – Нижний Тагил (Россия), 2004. – С. 83-87.
7. Моделирование заглубленной продувки чугуновозного ковша. Параметры газораспределения / А. П. Толстопят, Л. А. Флер, В. И. Елисеев и др. // Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии. – 2008. – Вып. 27. – С. 97-110.
8. Компьютерная обработка кинограмм процесса взаимодействия газовых струй и жидкости / Т. А. Рузова, А. П. Толстопят, А. Ф. Шевченко и др. // Энергетика та автоматика виробничих процесів // Науковий вісник НГУ. – 2007. – № 12. – С. 91-95.
9. The VII International Symposium for desulphurization of hot metal and steel. (September 26, 2000). – Anif (Austria), 2000. – 115 p.
10. 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. // Чер. металлургия. – 2009. – № 7. – С. 61-63.
11. Поставка опытной партии гранулированного магния и его испытание на Баошаньском металлургическом комбинате // Отчет ИЧМ по договору ВО.401.98. Контракт № 1/98 от 30.03.98. – Днепропетровск, 1999. – 94 с.

Анотація

Шевченко А. П., Двоскін Б. В., Вергун О. С., Маначина І. О., Остапенко О. В., Шевченко С. А., Башмаков О. М., Троценко Е. А., Лю Дун Іє, Шью Рен Люї, Ян Цзя Жуй

Розвиток процесу ковшової десульфуратії чавуну вдуванням зернистого магнію

Розглянуто походження резервів (поява яких є наслідком розосередженого вдування магнію та подальшого диспергування потоків у розплаві) процесу десульфуратії чавуну гранульованим чи зернистим магнієм. Показано, що дані технологічні розробки збільшують тепло- та масообмінну поверхню у ванні, що рафінується на 30-50 %, за рахунок чого підвищується ступінь засвоєння магнію, збільшується інтенсивність вдування магнію з 7-12 до 18-22 кг/хв та вдвічі скорочується тривалість процесу обробки. Встановлено параметри процесу інжектування.

Ключові слова

десульфуратія, інжекція, інтенсивність вдування, поверхня масобміну

Summary

Shevchenko A. F., Dvoskin B. V., Vergun A. S., Manachin I. A., Ostapenko A. V., Shevchenko S. A., Bashmakov A. M., Trotsenko E. A., Liu Dongye, Shiu Ren Lui, lan Jia Jui

Development of the process of ladle desulphurization of cast iron by injection of granular magnesium

There are shown the reserves of desulphurization process with granulated magnesium due to its more diffuse injection and subsequent dispersion of flow in the hot metal. It is shown that these technological developments increase the heat and mass transfer surface in the refined bath at 30-50 %. This increases the degree of magnesium absorption, the magnesium injection rate increases from 7-12 kg/min up to 18-22 kg/min and duration of the treatment process is reduced by half. The parameters of the process of injection.

Keywords

desulphurization, injection, intensity of the injection, surface mass transfer

Поступила 04.02.13

**Продолжается подписка
на журнал «Металл и литье Украины»
на 2013 год**

Для того, чтобы подписаться на журнал через редакцию необходимо направить письмо-запрос по адресу:
03680, г. Киев-142, ГСП, бул. Вернадского, 34/1, ФТИМС
или по факсу: (044) 424-35-15.

Счет-фактуру согласно запросу редакция высылает письмом или по факсу

Стоимость одного журнала – 30 грн.
Годовая подписка – 360 грн. (для Украины).
Годовая подписка для зарубежных стран – 90 \$.

К сведению читателей и подписчиков!

Изменен телефон редакции
журнала «Металл и литье Украины»:

(044) 424-04-10