

**А.Ф.Шевченко, А.В.Остапенко, Б.В.Двоскин, С.А.Шевченко,  
А.П.Толстопят**

### **ПРОГНОЗНАЯ ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ ВДУВАНИЯ ГРАНУЛ МАГНИЯ В ЖИДКИЙ ЧУГУН ЧЕРЕЗ ДВУХСОПЛОВУЮ ФУРМУ**

Целью исследования является изучение возможности увеличения интенсивности ввода магния в жидкий чугун при его внепечной десульфурации для повышения производительности процесса. Показано, что применение двухсопловой фурмы в процессе вдувания зернистого или гранулированного магния в заливочные ковши способствует лучшему распределению вдуваемого магния и газа в прифурменной зоне и создает предпосылки для более активного его диспергирования. Это позволяет сократить длительность процесса.

**десульфурация чугуна, повышение производительности, двухсопловая фурма**

**Современное состояние вопроса.** В ранее выполненных работах Института черной металлургии [1–9] сформулированы основные положения и параметры осуществления процесса вдувания зернистого или гранулированного магния в заливочные ковши без применения испарительной камеры на окончании фурмы и при исключении разубоживающих (пассивирующих) добавок к вдуваемому магнию. Расчетная оценка этих параметров свидетельствует о том, что вдувание магния через фурму с одним каналом и одним соплом на выходе достаточно надежно реализуется при следующих режимах инжектирования:

1. Масса чугуна в ковшах –  $140 \div 280$  т (в зависимости от типоразмера ковша).
2. Глубина погружения фурмы в расплав чугуна –  $2,7 \div 3,8$  м.
3. Интенсивность подачи магния –  $6 \div 13$  кг/мин.
4. Расход инжектирующего газа –  $120 \div 150$  нм<sup>3</sup>/ч ( $2 \div 2,5$  м<sup>3</sup>/мин).
5. Концентрация магния в несущем газе –  $3 \div 6$  кг/нм<sup>3</sup> ( $9 \div 20$  кг/м<sup>3</sup>).
6. Объемное содержание магния в несущем газе –  $0,51\text{--}1,1$  %.
7. Скорость потока, истекающего из сопла фурмы:
  - при погружении фурмы в расплав – близко к критической;
  - в период вдувания магния –  $90\text{--}120$  м/с.
8. Скорость частиц магния при истечении из сопла фурмы –  $70 \div 84$  м/с.
9. Высота свободного пространства в ковше (не заполненное расплавом) –  $0,25 \div 0,7$  м.

**Постановка задачи.** В указанных условиях процесс обработки чугуна магнием в ковше протекает технологично и без выплесков расплава, но при этом интенсивность ввода магния ограничена и, например, для ковшей 200 т и более не превышает 14 кг/мин. Увеличение интенсивности ввода магния выше  $13\text{--}15$  кг/мин, как правило, сопровождается существ-

венным повышением бурности процесса обработки, что по ряду причин неприемлемо в производственной практике. При анализе изложенной ситуации пришли к выводу, что основной причиной ограничения интенсивности ввода магния в расплав чугуна является недостаточное распределение вводимого магния в тепло–массообменной зоне расплава, что приводит к достаточно локализованному парообразованию с последующим повышением бурности процесса обработки. Ограничение интенсивности ввода магния в расплав чугуна, в свою очередь, сопровождается такими недостатками как увеличение продолжительности процесса ввода магния, ограничение глубины десульфурации чугуна, снижение пропускной способности комплекса рафинирования и рядом других недочетов.

Для устранения ряда из указанных трудностей американская фирма ESM [10,11] для сокращения цикла десульфурации чугуна порошковыми смесями практикует (при обработке большегрузных ковшей) оснащение каждого поста десульфурации двойной системой подготовки и вдувания реагентов в один ковш через две отдельные фурмы (рис.1). Это позволяет увеличить интенсивность вдувания порошковой магнийсодержащей смеси и сократить продолжительность продувки чугуна в 350–тонном ковше до 5–16 мин [11]. Следует обратить внимание на то, что такое конструктивно–техническое решение характеризуется невысокой степенью усвоения реагентов (< 45 %), ограниченностью в применении, недостаточной стабильностью процесса, существенными капитальными и текущими эксплуатационными затратами.

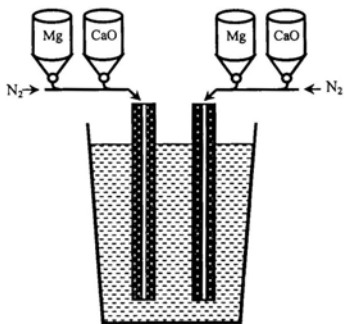


Рис.1. Принципиальная схема вдувания порошковых магнийсодержащих смесей через 2 фурмы (процесс ESM, США).

**Изложение основных материалов исследования.** Разрабатываемое нами технологическое решение имеет существенное

и принципиальное отличие от известных процессов, так как предусматривается вдувание зернистого (или гранулированного) магния без различных добавок при обеспечении ввода магния в расплав через одну фурму с двумя соплами на выходе при особых газодинамических параметрах (рис. 2). Для подготовки и осуществления вдувания магния по этому принципу используется одна, а не две фурмы, и одна инжекционно–дозировочная система (а не две). Рациональное разделение и диспергирование магнийсодержащего двухфазного потока осуществляется как до его истечения из фурмы, так и непосредственно в расплаве чугуна. Этим обеспечиваются более благоприятные условия взаимодействия магния с жидким чугуном. Запрограммировано соответственно увеличение

интенсивности ввода магния в жидкий чугун вплоть до 25–30 кг/мин, что позволяет сократить продолжительность процесса вдувания магния, например, в большегрузных ковшах до 3–6 мин.

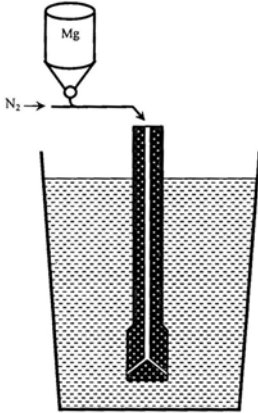


Рис.2. Принципиальная схема вдувания гранулированного или зернистого магния через двухсопловую фурму.

С учетом фактически полученных параметров устойчивого вдувания гранулированного магния через односопловую фурму при расходе азота 120–150  $\text{нм}^3/\text{ч}$  [1,4,6] и диаметре сопла 12 мм можно ожидать, что проблему устойчивости процесса вдувания магния через двухсопловую фурму можно решить при этих же расходах инжектирующего газа, если обеспечить аналогичные скоростные характеристики истекающего потока из каждого сопла. Дополнительным технологическим резервом лучшего распределения вдуваемого потока в расплав чугуна является организация истечения потока из сопла в чугун не вертикально вниз, а под углом  $\alpha = 30\text{--}60^\circ$  к вертикальной оси фурмы, чем обеспечивается лучшее диспергирование вдуваемого двухфазного потока [5] и одновременно достигается более устойчивый и рациональный характер процесса барботирования расплава в ковше [13]. В приведенных условиях можно ожидать изменения реальных расходов инжектирующего газа в пределах от 80 до 160  $\text{нм}^3/\text{ч}$  (на оба сопла, с равномерным распределением на каждое из них).

В соответствии с ранее разработанной методикой [6,7,9] в табл.1 приведены полученные расчетные значения скорости потока, истекающего из односопловой фурмы, погруженной в расплав на глубину 3 м, при различных расходах инжектирующего азота и различном диаметре сопла. Установленные [1,4,3] пределы расхода инжектирующего азота, обеспечивающие устойчивое вдувание магния при диаметре сопла односопловой фурмы на выходе  $D_c = 12$  мм, соответствуют условиям  $V_{\text{N}_2} \geq 120 \text{ нм}^3/\text{ч}$ . Увеличение расхода азота на вдувание магния допустимо до 140–150  $\text{нм}^3/\text{ч}$  [3,4]. Более высокие расходы инжектирующего азота нерациональны, так как сопровождаются ощутимым повышением бурности процесса обработки чугуна и снижением степени усвоения магния [1,4].

Как видим из табл.1, устойчивые условия вдувания магния через односопловую фурму диаметром 12 мм обеспечиваются при скорости потока на выходе из фурмы в пределах 96–112 м/с. Это же будет достигаться и

при бóльшей скорости потока, но увеличение скорости  $W_{\text{п}}$  более указанных величин энергетически неэкономично.

Уменьшение диаметра сопла фурмы менее 12 мм при сохранении  $W_{\text{п}}$  в пределах 95–115 м/с позволяет снизить расход инжектирующего газа. Таким образом обеспечивая требуемую скорость потока на выходе из фурмы, но уменьшив сечение сопла, можно достичь устойчивого вдувания магния через двухсопловую фурму при невысоком общем расходе инжектирующего газа. Квалифицированное же решение задачи устойчивого вдувания магния через, например, двухсопловую фурму позволяет организовать в объеме рафинируемой ванны две отдельные массообменные зоны (рис. 3).

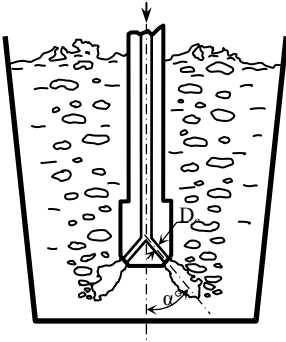


Рис.3. Гидродинамическая обстановка в ковше при вдувании магния через двухсопловую фурму (холодная модель).

В табл.2 приведены во взаимосвязи расчетные значения суммарного расхода инжектирующего азота ( $V_{\Sigma N_2}$ ), скорости потока на выходе из фурмы ( $W_{\text{п}}$ ) и диаметров сопел ( $D_c$ ) для условий вдувания зернистого или гранулированного магния в жидкий чугун через двухсопловую фурму. Из таблицы следует, что при сохранении требований  $V_{N_2} < 140 \text{ нм}^3/\text{ч}$  и  $W_{\text{п}} > 95 \text{ м/с}$  надежное вдувание магния через двухсопловую фурму обеспечивается при внутреннем диаметре каждого из сопел  $D_c \leq 9 \text{ мм}$ , когда при расходе азота  $140 \text{ нм}^3/\text{ч}$  достигается условие  $W_{\text{п}} \geq 99 \text{ м/с}$ . С учетом целесообразности минимальных расходов вдуваемого газа-носителя, более высокого усвоения магния, увеличения интенсивности вдувания магния до 22–28 кг/мин и устойчивости работы инжекционно-дозировочной системы в режиме вдувания диспергированного магния рациональным выбран диаметр сопел двухсопловой фурмы  $D_c = 8,0\text{--}8,5 \text{ мм}$ . При таких параметрах каналов, правильной технологической компоновке инжекционно-дозировочной системы и собственно погружаемой фурмы можно обеспечить хорошее распределение вдуваемого магния в расплаве и увеличение интенсивности вдувания магния вплоть до 28–30 кг/мин при одновременном снижении расхода инжектирующего газа вплоть до  $80 \text{ нм}^3/\text{ч}$ .

Таблица 2. Скорость потока ( $W_n$ ) на выходе из сопел двухсопловой фурмы при различном общем расходе инжектирующего азота ( $V_{N_2}^{\Sigma}$ ) и различных диаметрах сопел ( $D_c$ ). Глубина погружения фурмы в расплав чугуна 3 м.

$V_{N_2}^{\Sigma}$ мм <sup>3</sup> /ч	Скорость потока $W_n$ (м/с) на выходе из сопел двухсопловой фурмы различного диаметра ( $D_c$ )					
	$D_c = 12$ мм	11 мм	10 мм	9 мм	8 мм	7 мм
80	32,1	38,2	45,9	56,7	70,2	91,6
100	40,0	47,6	57,4	70,9	87,7	114,6
120	48,1	57,2	69,0	85,1	105,3	137,4
140	56,1	66,7	80,4	99,3	122,8	160,4
160	64,1	76,3	91,9	113,4	140,3	183,2
180	72,0	85,6	103,3	127,6	157,9	206,3
200	80,0	95,2	114,8	141,8	175,4	229,2
220	88,0	104,7	126,3	156,0	192,9	252,1
240	96,1	114,4	138,0	170,2	210,6	274,8

### Заключение.

Выполненный анализ и проработки показывают, что применение двухсопловой фурмы для лучшего распределения ддуваемого магния и газа в прифурменной зоне сопровождается вполне реализуемыми корректировками инжекционно-дозировочной системы. Совершенствование процесса ддувания рафинирующей магнийсодержащей среды в расплав чугуна создает предпосылки для более активного его диспергирования, за счет чего реализуется решение задачи увеличения интенсивности ввода магния в жидкий чугун, сокращение длительности процесса ддувания и, если необходимо, то увеличение расхода магния для более глубокой десульфурации чугуна.

1. *Изучение закономерностей взаимодействия холодного двухфазного магнийсодержащего потока су расплавом чугуна при истечении на больших глубинах рафинируемой ванны.* Отчет ИЧМ № госрегистрации 0106U003771. – Днепропетровск. – 2008. – 143 с.
2. *Интенсификация процесса ддувания гранулированного и зернистого магния без добавок в ковши с жидким чугуном.* / А.Ф.Шевченко, Б.В.Двоскин, А.В.Остапенко и др. // *Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии.* Сб.научн.тр. ИЧМ. – 2008. – №18.– С. 79 – 84.
3. *Шевченко А.Ф., Двоскин Б.В., Вергун А.С.* Разработка рационального технологического процесса внепечной десульфурации чугуна. // *Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии.* Сб.научн.тр. ИЧМ. – 2008. – №18.– С.61–78.
4. *Создание и развитие рациональных технологических решений по внепечной десульфурации чугуна.* / В.И.Большаков, А.Ф.Шевченко, Лю Дун Ие и др. //

- Сб. тр. 15-й Всекитайской конференции по выплавке стали. КНР. – Сямэнь. 19–21 ноября 2008. – Изд. НТО металлургов Китая. – С.811–819.
5. *Оценка влияния угла инжектирования затопленной струи на гидродинамику барботируемой ванны.* / С.А.Шевченко, А.П.Толстопят, Т.А.Рузова, А.Ф.Шевченко // *Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии.* Сб.научн.тр. ИЧМ. – Вып.14. – 2007. – С.132–139.
  6. *Шевченко С.А., Елисеева В.И., Шевченко А.Ф.* Оценка скорости фаз при вдувании магния на большие глубины расплава чугуна. // *Тепло- и массообменные процессы в металлургических системах.* Материалы VII международной научно-технической конференции. – Мариуполь. Изд. МОН Украины. ПГТУ, АН высшей школы Украины, 2006. – С.184–189.
  7. *Оценка скорости истечения магнийсодержащей струи при варьировании условий и параметров инжектирования.* / А.Ф.Шевченко, В.И.Елисеева, С.А.Шевченко, А.В.Остапенко // *Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии.* Сб.научн.тр. ИЧМ. – Вып.12. – 2006. – С.118–222.
  8. *Аппаратурно-технологический комплекс десульфурации чугуна вдуванием магния в ковшах различной ёмкости.* / А.Ф.Шевченко, А.М.Башмаков, А.С.Булахтин и др. // *Металл и литье Украины.* – 2005. – № 1–2. – С.10–14.
  9. *Исследование влияния условий инжектирования магнийсодержащих реагентов в жидкий чугун на механизм взаимодействия магния с расплавом и получение особо чистого по сере чугуна (0,001–0,003 %) при десульфурации в заливочных ковшах.* Отчет ИЧМ № госрегистрации 0103U007231. – Днепропетровск. – 2005. – 253 с.
  10. *Perspectives in the field of hot metal desulphurization in ОАО Severstal based on desulphurization agents containing magnesium.* / A.M.Lamuvhin, S.D.Sintschenko, B.G.Ordin, M.V.Filatov. // *The VII International Symposium for desulphurization of hot metal and steel.* – September 26–27. – 2002. – Anif/Austria. – P. 32–33.
  11. *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. // *Сб.докладов. VIII Международного симпозиума по десульфурации чугуна и стали.* – 20–24 сентября 2004. – Нижний Тагил. – С.83–87.
  12. *Ехедбмайер А., Хорнберг Х.* Установки для ввода в чугун десульфураторов и добавок. // *Сб. докладов VII Международного симпозиума по десульфурации чугуна и стали.* – 26/27 сентября 2002. – Аниф/Австрия. – С.3–12.
  13. *Фурма для десульфурации чавуну зернистим магнієм у великовантажних ковшах.* Патент України № 82304. 25.03.2008. Авт. Большаков В.І., Шевченко А.П., Остапенко О.В. та інш.

*Статья рекомендована к печати:  
заместитель ответственного редактора  
раздела «Внепечная обработка чугуна и стали»  
докт.техн.наук А.С.Вергун*

*А.Ф.Шевченко, О.В.Остапенко, Б.В.Двоскін, С.А.Шевченко, А.П.Толстомят*

**Прогнозна оцінка параметрів вдування гранул магнію в рідкий чавун через двохоплову фурму**

Метою дослідження є вивчення можливості збільшення інтенсивності введення магнію в рідкий чавун при його позапічній десульфуратії для підвищення продуктивності процесу. Показано, що застосування двохоплової фурми в процесі вдування зернистого або гранульованого магнію в заливальні ковші сприяє кращому розподілу вдуваного магнію і газу в прифурменій зоні та створює передумови для активнішого його диспергування. Це дозволяє скоротити тривалість процесу.