

УДК 669.162.267.6:669.721.002.5

В.И. Большаков, А.Н. Башмаков, А.Ф. Шевченко, Ю.И. Черевик,

АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИЙ ФУРМ И УСТРОЙСТВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ДЛЯ ДЕСУЛЬФУРАЦИИ ЧУГУНА

Выполнен анализ существующей конструкции фурм и устройств, используемых для десульфурации чугуна. Предложены пути дальнейших исследований и разработок, которые повышают производительность и обеспечивают стабильность конечных результатов десульфурации.

Фурма и устройства её ввода в ковш и удержания в процессе десульфурации являются одними из основных устройств, обеспечивающих результативность процесса десульфурации чугуна магнием. Для выполнения поставленной задачи она должна обеспечивать реализацию следующих требований [1]:

- осуществлять надежный ввод реагента в жидкий чугун на глубину 2,0–3,5 метра необходимого количества магния, имеющего относительно низкую температуру кипения;
- обеспечивать достаточно высокую массовую скорость ввода реагентов при реализации спокойного протекания процесса десульфурации, то есть без выплесков чугуна из ковшей или других емкостей;
- обладать достаточно высокой конструктивной прочностью, при длительном воздействии динамических нагрузок, возникающих при барботаже жидкого чугуна;
- обеспечивать высокую стойкость огнеупорной футеровки в условиях многократных нагревов и охлаждений и механических воздействий жидкого металла.

Достижение вышеупомянутых требований обеспечивается путем обоснованного выбора конструктивных параметров фурм, которые можно условно разделить на две группы:

- фурмы для вдувания различных порошковых немагниевых реагентов и порошковых магниесодержащих смесей;
- фурмы для вдувания чистого магния без наполнителей и добавок.

Фурмы первой группы, предназначенные для вдувания в жидкий чугун порошковой извести или карбида кальция, смеси порошкового магния с известью или доломитом, имеют, как правило, канал постоянного или мало изменяющегося сечения. Конструкция этих фурм предусматривает обеспечение высокой проходимости и проникающей способности двухфазной струи. Газодинамические характеристики и конструктивные параметры этих фурм обеспечивают достижение скорости газопорошковой струи на выходе из канала фурмы на уровне 100–120 м/сек и более. Диаметр канала трубопровода на выходе в зависимости от требуемой интенсивности подачи порошков может изменяться от 15 до 35 мм. При расходах

транспортирующего газа от 40 до 160 м³/ч и давлении в сети газоснабжения 0,4–0,5 МПа (4,0–5,0 ати) обеспечивается регулируемость интенсивности дувания порошков в пределах до 200 кг/мин.

При обработке и освоении технологических процессов десульфурации чугуна применялись фурмы с постоянным диаметром канала (рис.1, а и б), сужающимся на выходе (рис.1, в) и двухканальным (рис.1, г), в которых по центральному каналу осуществлена подача двухфазного потока, а по наружному – чисто газового различного состава. В освоенных процессах по различным технологиям десульфурации чугуна порошкообразными реагентами по первой группе фурм практическое распространение получили фурмы с постоянным диаметром канала [2]. Такая фурма не могла обеспечить надежный ввод в жидкий чугун чистого магния без наполнителей, так как её канал часто заваривался на нижнем срезе застывшим металлом.

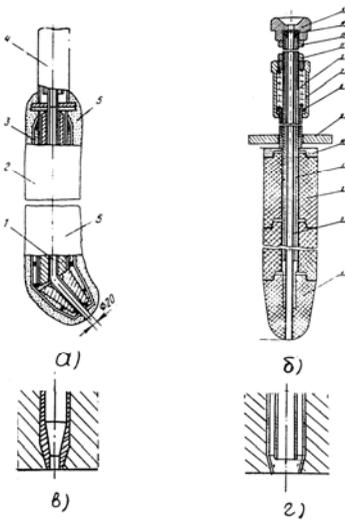


Рис.1. Фурмы для дувания различных порошковых немагнитных реагентов и порошковых магнийсодержащих смесей: а и б – фурмы с постоянным диаметром канала; в – фурмы с сужающимся на выходе диаметром канала; г – двухканальные фурмы.

При дувании магния без наполнителей и добавок, неотъемлемым элементом реализации механизма взаимодействия магния с серой расплава явилось применение фурм с испарительной камерой (ИК) на выходе, обеспечивающей расширение поперечного сечения подающего канала на выходе в 30–35 раз и достижения рассредоточенной подачи магния к поверхности расплава на глубине 2,0÷4,0

метра в емкости, ковше или ванне. Наличие в несущем газе нейтральных к магнию составляющих исключает потери магния в объеме расширительной камеры при его нагреве, плавлении и испарении. В случае применения природного газа такая фурма обеспечивает надежное дувание паров магния в чугун без заматливания и заваривания канала, при одновременном охлаждении зоны ввода реагента, в результате чего в значительной степени улучшаются условия растворения паров магния в расплаве. Поэтому конструкцию фурмы изменили, выполнив ее нижнюю часть – испарительную камеру в форме конуса (рис.2а, б, в) или в форме цилиндра (рис.2г) с гладким нижним срезом. При погружении таких фурм в жидкий чугун их канал не стал непосредственно контактировать с расплавом,

благодаря наличию испарительной камеры, заполненной сжатым газом, противодействующим ферростатическому давлению металла [3].

Такая конструкция фурмы исключает заваривание канала, а камера, ограниченная сверху и с боков стенками колокола, а снизу – жидким металлом, стала служить испарителем частиц магния, инжектируемых через подающий канал. Площадь поверхности жидкого чугуна, ограниченная испарительной камерой, должна быть достаточной для обеспечения теплом испарения на ней всего магния, вводимого в камеру. Высота камеры должна быть такой, чтобы канал фурмы не заплескивало металлом.

В процессе эксплуатации фурм с гладким нижним срезом, из-за наваривания на нем металла и шлака, он приобретает сложный бугристый профиль, в результате чего поступление паров магния по периметру нижнего среза происходит в виде локальных неорганизованных потоков различной интенсивности, то есть нарушается равномерность поступления паров магния в обрабатываемый объем металла. Это приводит к снижению эффективности использования магния, появлению значительных колебаний колокола фурмы в горизонтальной плоскости и, как следствие, дополнительных динамических нагрузок.

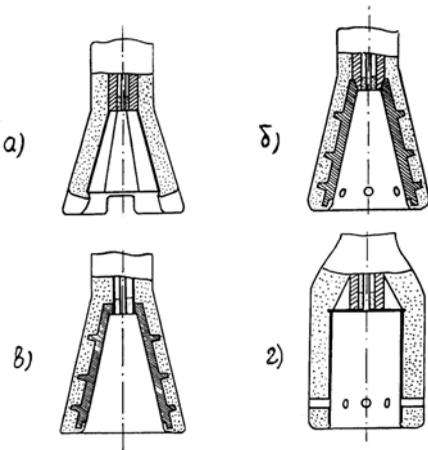


Рис.2. Испарительные камеры фурмы, выполненные в виде колокола в форме: а – конуса с нижней зубчатой кромкой; б – конуса с цилиндрическими отверстиями по периметру; в – конуса с гладкой нижней кромкой; г – цилиндра с отверстиями по периметру.

Для устранения этого недостатка были разработаны, изготовлены и испытаны фурмы, у которых нижний срез был выполнен в виде зубчатого профиля с высотой зуба 70–100 мм [1].

У этих фурм испарение магния происходит не под нижним срезом испарительной камеры, а непосредственно в ее полости. Впадины между зубьями образуют окна высотой 30–50 мм, через которые пары магния вытесняются в расплав организованно, равномерно и рассредоточено, а обработка чугуна происходит спокойно. Промышленное опробование таких фурм показало, что после обработки 20–30 ковшей геометрия зубьев начинает изменяться: впадины начинают зарастать, а выступы – разрушаться.

Были также изготовлены и испытаны фурмы с цилиндрической испарительной камерой, оснащенной системой боковых отверстий диаметром

30÷35 мм, расположенных на расстоянии 150мм от нижнего среза. Количество отверстий изменялось от 5–6 и более. Испытание этих фурм показало, что рассредоточенный выход паров магния через отверстия в боковой стенке положительно сказывается на всех показателях обработки чугуна. В процессе эксплуатации таких фурм было установлено, что боковые отверстия также подвержены зарастанию и зашлаковыванию, поэтому они требуют постоянного ухода и обслуживания. Длительный опыт эксплуатации фурм показал, что зарастание внутренних поверхностей испарительных камер происходит медленнее, а наросты и зашлаковывания удаляются значительно легче, если поверхности этих полостей выполняются чисто металлическими. При регулярной очистке подколольного пространства у таких фурм удается поддерживать первоначальный объем испарительных камер, что способствует получению стабильных результатов продувок.

Таким образом, одной из важных задач, стоящих перед разработчиками оборудования, предназначенного для десульфурации жидкого чугуна, является правильный выбор конструктивных и технологических параметров испарительной камеры.

Проведенными исследованиями установлено [4], что для гарантированной работы испарительной части фурмы диаметр магниепровода от расходного бункера до входа в испарительную камеру целесообразно выполнять ступенчато сужающиеся с 20 до 12 мм, а оптимальными конструктивными параметрами ИК являются следующие: – внутренний диаметр конической части нижнего среза – 400÷450 мм; высота камеры – 700÷800 мм.

Такие конструктивные параметры ИК в комбинации с вышеупомянутым диаметром магниепровода позволяют снизить расход транспортирующего газа до 30,0÷40,0 м³/час, обеспечив при этом вдувание магния на глубину до 4,0м при концентрации магния в газе свыше 12 кг/м³ с регулируемой интенсивностью вдувания магния в пределах 4,0–25,0 кг/мин со степенью усвоения магния 90% и выше.

Конструкции фурм с испарительными камерами, наиболее часто используемые на металлургических заводах Украины и за рубежом, представлены на рис.1, 3 (а и б). Фурма представляет собой жесткую металлоконструкцию с огнеупорным покрытием. Она состоит из двух совмещенных частей: верхней – ствола и нижней – испарительной камеры. В центральной части ствола проходит канал, выполненный из металлической трубки, по которой пневмотранспортируется реагент, доходящий до испарительной камеры.

Верхний конец трубки стыкуется с каналом штанги с помощью шарового соединения. Для обеспечения жесткости и прочности, а также для удержания огнеупорной обмазки фурма имеет металлический каркас, который состоит из несущей трубы с фланцем для крепления в верхней части к штанге, а в нижней – с корпусом испарительной камеры. К наружной

части несущей трубы приварена арматура из стальных прутьев для удержания огнеупорной футеровки, используется также дополнительное армирование панцирной сеткой.

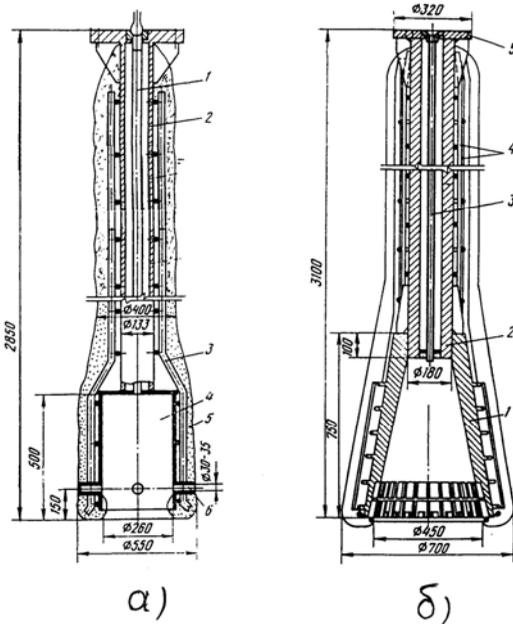


Рис.3. Конструкции фурм с испарительными камерами, наиболее часто используемые на металлургических заводах Украины и за рубежом: а – с цилиндрической испарительной камерой; б – с конической испарительной камерой.

Анализ существующих конструкций фурм показывает, что центральная часть ствола представляет собой массивную несущую трубу длиной $2,5 \div 2,6$ метра с наружным диаметром 0,180–0,194 м и толщиной стенки 0,040–0,045 м. Вес такой трубы колеблется от 360,0 до 470,0 кг. Считалось, что такие конструктивные па-

раметры этой трубы обеспечивают фурме необходимую прочность и жесткость.

Кроме этой трубы у фурмы имеется несущий металлический каркас, представляющий собой объемную жесткую конструкцию, состоящую из двух рядов арматурных стержней диаметром 18–20 мм, обвязанных кольцами и приваренных к несущей трубе и корпусу испарительной камеры. Анализ прочностных характеристик каркаса фурмы показал, что он имеет коэффициент запаса прочности более 10. Можно сохранить существующий коэффициент запаса прочности, уменьшив одновременно вес несущей трубы.

Одной из существенных составляющих веса каркаса фурмы является вес колокола испарительной камеры, который зависит от его геометрических размеров и способа изготовления. В процессе длительных исследований и практических опробований было установлено, что при увеличении наружного диаметра колокола с 0,45 до 0,55 метра уменьшается количество выбросов металла из ковша. В фурмах с высотой камеры 0,35–0,40 метра часто наблюдаются случаи заваривания подводящего канала. При увеличении высоты камеры до 0,55–0,60 метра заваривание канала прекращается. В процессе исследования влияние объема ИК на процесс десульфурации были изготовлены и испытаны фурмы с увеличенной вы-

сотой ИК до 1,0м. Это позволило при устойчивом протекании процесса десульфурации повысить массовую скорость ввода магния на 22%, но привело к увеличению веса фурмы до 2800 кг.

Оптимальным вариантом оказалась литая конструкция колокола с высотой ИК равной 0,75м и внутренним диаметром 0,45м, которая получила в последствии широкое практическое использование [1]. Вес такого колокола колеблется от 450 до 520 кг. Промышленное использование фурм с литыми колоколами и увеличенным объемом ИК показали их высокую надежность в работе, а утяжеление фурмы за счет массы литого колокола привело к уменьшению амплитуды его колебания при продувке, что способствовало успокоению процесса барботирования металла при продувке и увеличению стойкости футеровки.

Одним из основных элементов фурмы, определяющих длительность ее нахождения в жидком чугуна, является ее огнеупорная футеровка. Для футеровки каркасов фурм удобными являются пластические огнеупорные смеси повышенной влажности, нанесение которых на каркас не вызывает затруднений. Для этого подходят коксо–глинистые и коксо–карборундовые огнеупорные смеси, плотность которых составляет 1460–1540 кг/м³, соответственно. Расход огнеупорной массы на одну фурму составляет 1200–1300кг. Особенность эксплуатации фурм с такой футеровкой заключается в том, что время продувки на них не превышает 5,0 мин. Кроме того, они требуют, особенно вначале, тщательного ухода по заделыванию трещин [5].

Стойкость фурм, футерованных коксо–глинистой массой достигала 200 продувок при времени одной продувки не более 4,0 мин. Основной причиной выхода их из строя было растрескивание и разрушение футеровки во время погружения в металл. Существенное повышение стойкости фурм было достигнуто добавкой в коксо–глинистую смесь отходов карборундового производства. Стойкость таких фурм повысилась до 400–600 нагружений при увеличении времени продувки до 5,0 мин. При своевременном и качественном обслуживании футеровки срок службы такой фурмы, например, на меткомбинате им. Ильича достигал 800 погружений.

Анализ принципиальных схем и существующих конструкций фурм показывает, что необходимо изыскивать новые технические решения по увеличению времени продувки, уменьшению веса фурмы и повышению ее устойчивости при работе. Изучение фурм существующих конструкций показало, что они обладают рядом конструктивных и технологических недостатков. К технологическим недостаткам относится низкая термостойкость огнеупорной футеровки, из-за которой время одной продувки ограничивается 3–5 минутами. Выполнение нижнего среза испарительной камеры из огнеупорной массы приводит к тому, что при опускании и подъеме фурмы огнеупорная футеровка, формирующая нижний срез ИК, из-за частого ударного взаимодействия с образовавшейся на поверхности коркой металла или застывшего шлака, растрескивается, выкрашивается

или откалывается, образуя трещины, надколы и раковины, искажающие поверхность нижнего среза. Из-за наваривания металла, формируются наросты и бугры, искажающие поверхность нижнего среза и приводящие к неравномерному распределению паров магния по периметру колокола при продувке.

К конструктивным недостаткам относится отсутствие управления общим весом фурменного устройства при увеличении веса фурмы в процессе эксплуатации, а также наличие в центральной части ствола фурмы массивной несущей трубы с большой толщиной стенки (40–45 мм). Это снижает устойчивость фурмы из-за смещения ее центра тяжести к поверхности расплава, а также увеличивает вес фурмы на лишних 150÷200 кг. То есть, имеется реальная возможность уменьшения веса фурмы. Не совсем удачный способ крепления фурмы со штангой, болтовым соединением через фланцы, усложняет процесс замены отработавшей фурмы на новую, так как занимает достаточно много времени.

Многолетняя практика использования литых металлических колоколов показала, что они достаточно долговечно и надежно работают в условиях высоких температур, при добросовестном уходе и обслуживании выдерживая 600–800 продувок. Легко очищаются от откладывающейся на внутренней металлической поверхности испарительной камеры корки нитридов и окислов магния, достигающей толщины 30 мм и более.

Исследования показали [6], что интенсивность нагрева частиц магния в значительной мере зависит от степени их рассеивания на поверхности жидкого чугуна, которая определяется углом раскрытия струи, высотой испарительной камеры и скоростью ввода реагента. У фурм существующих конструкций угол раскрытия струи не регулируется, поэтому диаметр площади рассеивания гранул магния зависит только от высоты испарительной камеры. Расширить технологические возможности фурмы можно путем профилирования выхода в испарительную камеру. У существующих фурм величина диаметра рассеивания определяется зависимостью $d_p = 0,143h$ [6]. При использовании сопел этот диаметр можно увеличить в 2,0 раза и более, что может способствовать более рациональному использованию потенциальных возможностей системы ввода магния в чугун.

Многие огнеупорные массы, из которых изготавливаются фурмы не могут обеспечить продувку чугуна продолжительностью более 5 минут. Это приводит к усложнению конструкции участков, на которых обрабатываются ковши с чугуном и снижает возможности получения чугуна с низким содержанием серы (0,005÷0,001%). Поэтому весьма актуально применение огнеупорных футеровок, обеспечивающих продолжительность времени одной продувки 10,0 мин и более. Одним из путей решения этой задачи является использование в качестве материала для футеровки специальных огнеупорных бетонов.

Одним из важных конструктивных параметров фурмы, является правильный выбор расположения ее центра тяжести. Критерием оценки правильности выбора этого параметра может служить условие, при котором погруженная в жидкий металл фурма должна занимать устойчивое вертикальное положение в свободном состоянии. Это может быть достигнуто в том случае, если центр тяжести фурмы в рабочем положении будет расположен как можно ниже поверхности расплава. Определение места расположения центра тяжести фурмы существующей конструкции с коническим литым колоколом весом 450 кг и центральной толстостенной трубой $\varnothing 180 \times 40$ и весом 360 кг показывает, что при погружении фурмы на глубину 2,0 м, он находится на расстоянии 935 мм от поверхности расплава.

Конструкция фурмы была усовершенствована путем установки центральной трубы $\varnothing 180 \times 20$ и увеличения веса колокола до 600 кг. Такая модернизация фурмы привела к тому, что расстояние между поверхностью расплава и центром тяжести фурмы составило 1280 мм, то есть увеличилось на 345 мм. Это свидетельствует о том, что положение фурмы в вертикальной плоскости стало более устойчивым, чем было раньше. Практика эксплуатации таких фурм показывает, что увеличение их веса за счет утяжеления массы литого колокола приводит к тому, что процесс продувки протекает более спокойной, уменьшается амплитуда колебаний колокола, увеличивается срок службы футеровки.

Устройства и механизмы, предназначенные для погружения фурмы в жидкий чугун и применяемые на действующих установках десульфурации чугуна; весьма разнообразны, но основным их недостатком является то, что они не обеспечивают решения в полном объеме ряда важных технических и технологических требований. Так, еще не решена задача постоянного обеспечения стабильного расположения фурмы в расплаве в заданном рабочем положении. Применяемые приводы перемещения фурм передают большие динамические нагрузки вынужденных колебаний на металлоконструкции и помещения с приборами и аппаратурой, ухудшающие работу последних и обслуживающего персонала.

Компоновка рабочих стендов не обеспечивает рационального совмещения процессов десульфурации и очистки чугуна от высокосернистых ковшевых шлаков. Применяемые системы дозирования обессеривающих реагентов базируются на дозаторах аэродинамического типа с режимами подачи, чувствительными к воздействию внешних возмущений [2]. Это придает режимам их работы пульсирующий характер и приводит к неустойчивому процессу вдувания магния. Наличие указанных недостатков, а также отсутствие системы автоматического управления работой установок, не позволяет последним достигнуть высоких производственных показателей и требуемой стабильности конечных результатов.

Выполненные исследования показывают целесообразность совершенствования оборудования установок десульфурации в следующих направлениях:

- совершенствование конструкции фурм и механизмов их перемещения;
- определение спектра частот внешних возмущений, расчет частотных характеристик системы подвески фурмы и выбор параметров, предотвращающих возникновение резонансных явлений;
- модернизацию аппаратуры и оборудования системы дозирования и пневмотранспорта, расширение диапазона регулирования расходов магния и несущего газа;
- увеличение объем параметров, контролируемых автоматизированной системой, степени их обработки и удобства представления персоналу.

Решение этих задач позволит создать оборудование установок внепечной обработки чугуна нового поколения с улучшенными техническими и технологическими параметрами, использование которого повысит технико-экономических показателей процесса десульфурации, уменьшит эксплуатационных и ремонтных затрат.

1. *Воронова Н.А.* Десульфурация чугуна магнием. – *Металлургия*. 1980.–239с.
2. *Шевченко А.Ф.* Разработка и развитие теории и технологии процессов внепечной десульфурации чугуна в ковшах вдуванием диспергированных реагентов: Диссерт. докт.техн.наук. – Днепропетровск. 1997. – 426с.
3. *Развитие* внепечной обработки чугуна и создание современного оборудования для десульфурации чугуна магнием / А.Ф.Шевченко, В.И.Большаков, Б.В.Двоскин, Л.П.Курилова, В.А.Александров, А.Н.Башмаков, Э.А.Троценко. // *Новини науки Придніпров'я*.–2002. – №6.–С.48–56.
4. *Расчетная* оценка скорости газового потока при условии вдувания магния в жидкий чугун / А.Ф. Шевченко, С.А. Шевченко, А.П. Толстопят, В.И. Елисеев // *Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии*. Сб тр. ИЧМ – Киев: Наукова думка, 2003. – Вып. 6. – С. 111–116.
5. *Совершенствование* огнеупорной футеровки погружных фурм для ковшевой обработки чугуна / Н.Н. Днепренко, Б.В. Двоскин, А.Ф. Шевченко и др. // *Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии*. – Сб. тр. ИЧМ – Киев. Наукова думка, 2003. – Вып. 6. – С. 116–120.
6. *Работа* подколокольного пространства фурмы как испарительной камеры при вдувании гранулированного магния в чугун. / Е.А.Костицын, Н.А.Воронова // *Интенсификация процессов доменной плавки и освоение печей большого объема*.–Сб. тр. ИЧМ.–Москва. Металлургия, 1978. – Вып.4, – С.66–72.

Статья рекомендована к печати д.т.н. Д.Н.Тогобицкой