

С.А.Шевченко, А.Ф.Шевченко, Б.В.Двоскин, А.В.Остапенко

ГАЗОДИНАМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ИНЖЕКЦИОННОЙ СИСТЕМЫ КОВШЕВОГО РАФИНИРОВАНИЯ ЖИДКОГО ЧУГУНА

Представлены принципы компоновки тракта инжекционной системы и выбора оптимальных параметров работы инжекционных систем ковшевого рафинирования гранулированным реагентом. Предложена методика расчетной оценки энергетических параметров системы и проверка корректности ее модели на промышленных установках.

С развитием мировой металлургической промышленности широкое распространение получил инжекционный метод ковшевого рафинирования расплава дисперсными реагентами через погружные фурмы. Было создано множество комплексов для вдувания различных типов реагента, в основе которых лежит инжекционная система, принципиальная схема строения которой представлена на Рис.1. Основными составляющими ее (с точки зрения газодинамики) являются дозирующее устройство бункера и система каналов материалопровода от дозатора реагента до выхода из погружаемой фурмы.

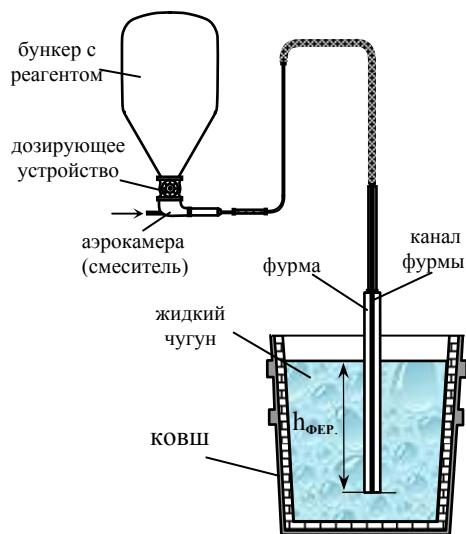


Рис.1. Принципиальная схема системы для вдувания реагента в расплав.

Производственная и экономическая ситуация требуют постоянного поиска путей повышения эффективности работы этих систем. Согласно [1], [2] к современным инжекционным системам предъявляются следующие основные требования:

- Стабильность обработки – равномерная, бесперебойная инжекция реагента на глубину жидкометаллической ванны;

- Успокоение процесса – уменьшение выплесков металла, возможность обрабатывать более полные ковши;
- Гибкий цикл – сокращение времени обработки за счет увеличения интенсивности подачи реагента;
- Повышение степени усвоения реагента расплавом;
- Снижение энергетических затрат – уменьшение расхода транспортирующего газа и газодинамического сопротивления системы.

Пути решения этих проблем включают выбор оптимальных параметров расхода газа и реагента, конфигурации тракта материалопровода инжекционных систем. В основе работы инжекционной системы лежит равномерная транспортировка и инжекция твердых частиц в потоке газа. В сравнении с мелкими частичками порошкообразных реагентов меньше 0,5мм, гранулированные представляют собой сферические гранулы 0,5 – 1,6 мм, обладающие относительно большей скоростью витания (скоростью газа, необходимой для устойчивого пневмотранспортирования частиц). Недостаточная скорость газовой фазы приводит к оседанию реагента, его скоплению на участках пневмотрассы. Это вызывает пульсации в работе системы и приводит к выплескам расплава или завариванию (забиванию) канала фурмы. В свою очередь, повышение скорости газа может привести к неоправданному энергетическим затратам. Скорость газа согласно [3] зависит от объемных расходов газовой и твердой фаз, площади сечения канала, величины местного давления. Поскольку материалопровод представляет собой последовательность каналов различного сечения с изменяющимся давлением по всей длине, то и скорость газа на участках будет разной.

Значительное влияние на движение двухфазного потока оказывает геометрия тракта материалопровода, которая характеризуется газодинамическим сопротивлением (ΔP , Па). Опыт исследования установок показал, что сокращение длины трассы, уменьшение числа элементов газодинамического сопротивления (поворотов, внезапных сужений и расширений тракта) снижает газодинамическое сопротивление трассы, улучшает пневмотранспортировку, и повышает стабильность обработки. Это дает возможность понизить общий расход газа и увеличить концентрацию реагента в потоке.

Таким образом, с целью улучшения пневмотранспортирования реагента и уменьшения энергопотерь системы, необходимо исследовать распределение давления по всей ее длине, и оценить влияние каждого участка на общее сопротивление системы. Нами была разработана и опробована методика расчетно-экспериментального исследования газодинамического сопротивления на промышленной инжекционной системе комплекса десульфурации чугуна гранулированным магнием.

Предварительно была проведена по выражениям [4] расчетная оценка величины сопротивления основных элементов конфигурации тракта: прямые цилиндрические каналы, повороты на 90^0 , внезапные и конусные сужения, и расширения тракта. Расчеты проведены для работы систем с расходом газа (V_T) = 30–160 $\text{нм}^3/\text{час}$ при диаметрах каналов (D_k)=6–25мм. Сопоставительный анализ полученных данных показал следующее:

- с уменьшением диаметра сопротивление канала увеличивается, а в случаях прямого участка при $D_k \leq 10$ мм и длине 1 метр может достигать 0,1 МПа;
- повороты на 90^0 , имеющиеся в инжекционных системах (при указанном изменении параметров), с $R_{\Pi}=0,1$ м оказывают сопротивление движению чистого газа на 18–70% больше, чем прямолинейный участок такой же длины, при $R_{\Pi}=0,3$ м на 4–15%, и при $R_{\Pi}=0,5$ м на 2–7%;
- сопротивление конусного сужения канала (конфузора) при степени уменьшения диаметра (D_{\min}/D_{\max}) 0,9–0,5 составляет 20–65% от сопротивления внезапного сужения, в случае конусного расширения (диффузор) под углом 60–90 0 оно на 40–10% больше сопротивления внезапного расширения канала.

Исследования включали расчетную и экспериментальную части. Расчетная часть выполнена по модели. Газодинамическое сопротивление системы равняется разнице давлений на ее границах (входном и выходном сечениях) ΔP и представляет собой сумму перепадов давления на всех элементарных участках системы:

$$\sum_1^n \Delta P = \Delta P_1 + \Delta P_2 + \dots + \Delta P_n,$$

где n – число участков.

Таким образом, конфигурация трассы представляется в виде последовательности основных элементов. Ее расчет осуществляется по выражениям [4]. Согласно принятой модели величина давления газа в начальном участке трассы (в аэрокамере) представляет собой сумму давлений внешнего сопротивления ($P_{\text{атм}}$ и $P_{\text{фер}}$ – атмосферное и ферростатическое давления на глубине погружения фурмы h) и сопротивления трассы ΔP . На основе модели была создана программа расчета. Введя в нее конфигурацию и параметры трассы, используемые на Тангшаньской установке, получили распределение давления по всей трассе для расходов газа 50–200 $\text{нм}^3/\text{час}$, и глубины погружения 0–1–2 м. Анализ данных показал, что с увеличением глубины погружения на 1 м сопротивление трассы падает на 28–10% при сохранении расхода газа. Это объясняется уменьшением скорости газа в каналах, за счет его сжатия при увеличении давления.

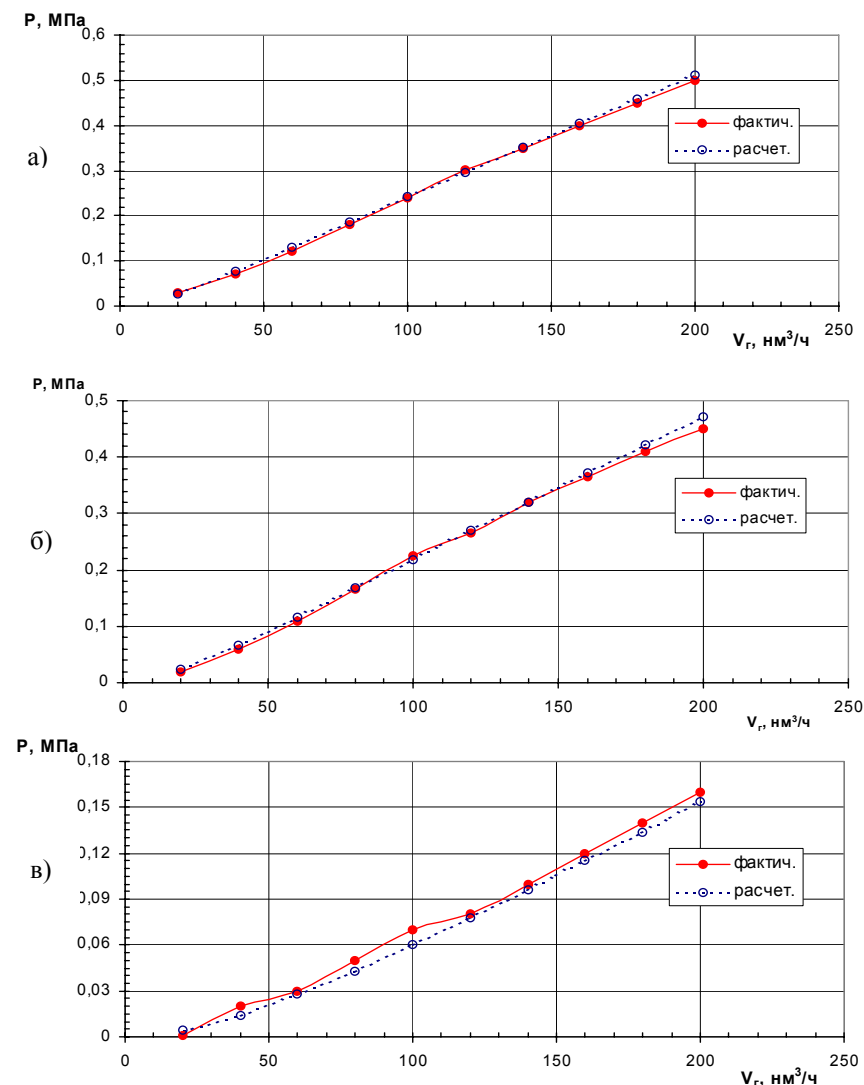


Рис.2. Сопоставление расчетных и экспериментальных данных исследования газодинамического сопротивления при различных расходах транспортирующего газа:
а) магнеспровод с каналом фурмы;
б) канал фурмы;
в) магнеспровод без канала фурмы.

Среди всех элементов инжекционной трассы наибольшим сопротивлением обладает канал фурмы. При длине 9 м, диаметре 12 мм его доля от общего сопротивления составила 84–79%, согласно упомянутому пределу изменения условий. Этот факт объясняется значительной длиной канала, малым диаметром, и высокой скоростью потока газа на выходном участке канала фурмы. Остальная доля připадает на элементы пневмотрассы: прямолинейные участки гибкого рукава и стальных патрубков, участки стыков каналов разного диаметра. Оказывая незначительное влияние на газодинамическое сопротивление, при низких скоростях транспортирующего газа, элементы трассы, изменяющие геометрию тракта (повороты и стыки каналов разного диаметра), являются серьезным препятствием для равномерного транспортирования гранулированного реагента по пневмотрассе.

С целью проверки модели, в рамках этой работы был проведен экспериментальный замер газодинамического сопротивления магнитопровода с каналом фурмы, канала фурмы и магнитопровода отдельно, при расходах газа 20–200 нм³/час и нормальном давлении (без погружения фурмы). Сопоставление экспериментальных данных с рассчитанными, по тем же параметрам (Рис.2), подтверждает корректность проведенных расчетов.

Таким образом, проводя расчеты газодинамического сопротивления магнитопровода инжекционной системы ковшевого рафинирования чугуна магнием, определили влияние параметров инжектирования и конструкции материалопроводов на распределение давления на всех участках трассы, что в свою очередь позволяет оценить величину скорости газового потока на этих участках. Опираясь на полученные результаты проведенных исследований, можно обеспечить достаточно корректный подход к решению задач устойчивого пневмотранспортирования и вдувать реагент с минимальным расходом газа.

1. *Повышение качества черных металлов / В.И. Мачикин, А.М. Зборщик, Е.Н.Складановский // Киев, «Техника», 1981г. – 160с.*
2. *Шевченко А.Ф. Разработка и развитие теории и технологии процессов внепечной десульфурации чугуна в ковшах вдуванием диспергированных реагентов.// Докторская диссерт. Днепропетровск. 1997. – 457 с.*
3. *Расчетная оценка скорости газового потока при условии вдувании магния в жидкий чугун / А.Ф. Шевченко, В.И. Елисеев, А.П. Толстопят, С.А.Шевченко// Сб. ИЧМ «Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии». Киев. Наукова думка. 2003. Вып.6.*
4. *Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям.// Москва, «машиностроение», 1975г.*

Статья рекомендована к печати д.т.н. В.И.Большаковым