

УДК 669.184 + 534.222.2

АКУСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КОНВЕРТЕРА**Тучина У.Н., аспирант, Сокол Г.И., к.т.н., доцент, Тучин В.Т.***Днепропетровский национальный университет
г. Днепропетровск, Украина***ВВЕДЕНИЕ**

Основным и решающим фактором продувки в кислородных конвертерах является взаимодействие струи кислорода с жидким металлом и шлаком. Характер этого взаимодействия определяет практически все процессы, протекающие в ванне конвертера – скорость окисления отдельных элементов, уровень окисленности металла и шлака, соотношение компонентов в составе отходящих газов, тепломассообмен в процессе выплавки металла.

В настоящее время принципы организации дутьевого режима являются одинаковыми для конвертеров самой различной ёмкости, хотя ёмкость их отличается на порядок и выше. При этих условиях уменьшение относительного количества циркулирующего металла с увеличением ёмкости неизбежно. Циркуляция определяет в значительной мере скорость процессов переноса, в частности скорость реакции углерода с кислородом. Физико-химические превращения, происходящие в сталеплавильной ванне, представляют сложный гетерогенным процесс, включающий в себя несколько стадий. Суммарная скорость этого процесса определяется скоростью наиболее медленных стадий. Так как относительно медленным обычно является процесс подвода-отвода реагентов от места реакции, то результирующая скорость процесса чаще всего лимитируется скоростью переноса. В этом случае перемешивание металла влияет на общую скорость гетерогенного превращения. Что подтверждает актуальность выбранной темы исследований.

Целью настоящей работы является разработка акустической модели конвертера для определения параметров влияющих на циркуляцию и перемешивание металла.

Ранее авторами [1] разработана гидродинамическая модель ванны металла. но колебательный процесс при этом не учитывался. В [2] рассмотрена модель перемешивания ванны металла за счет движения пузырьков, что характерно только для высоких частот. В [3] представлены измерения внешнего шума в цехах предприятий черной металлургии. Зафиксировано, что в спектре шума преобладают инфразвуковые составляющие. На рост уровней инфразвука при продувке конвертера влияние оказывает факт воздействия мощной струи кислорода, направленной в замкнутую полость конвертера, имеющую резонансные свойства. Авторы предполагают, что источником колебаний является система "струя+жидкий металл", но теоретическая модель процесса не представлена. В [4] моделировали реакции между кислородом и каплями металла при пульсирующем дутье в ходе конверторной плавки. Отмечено, что при пульсирующем дутье имеет место более полное использование кислорода для первичных реакций кислород-примеси металлического расплава. Для интенсификации процесса выплавки авторы применяли акустические колебания на ультразвуковой частоте. Физическая и математическая модели интенсификации процесса путем воздействия на расплав акустических колебаний не разработаны.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Считаем, что конвертер с находящимися в нём продуктами плавки колеблется как единое целое под действием внешней возбуждающей силы – под динамическим воздействием кислородной струи. Геометрия конвертера такова, что его можно аппроксимировать резонатором Гельмгольца.

В данной работе предлагается принять модель конвертера (рисунок 1), как емкости, имеющей два объема, соединенных последовательно. 1 – объем в котором заключена воздушная среда конвертера, аппроксимируемый резонатором Гельмгольца, 2 – объем конвертера, в котором заключен жидкий металл, аппроксимируемый трубой заполненной жидкостью, закрытой с одного конца. Ограничимся рассмотрением только продольных колебаний.

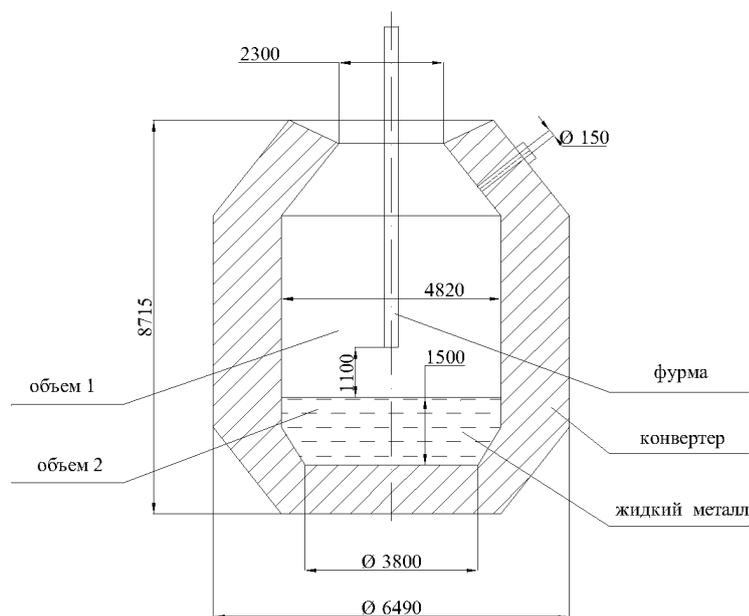


Рис. 1

МЕТОД РАСЧЕТА РЕЗОНАНСНЫХ ЧАСТОТ КОНВЕРТЕРА

Рассчитаем частоту возникновения колебаний жидкого металла.

Собственная частота колебаний объема 1 рассчитывается по формулам [5].

$$f_1 = \frac{1}{2\pi} \omega_{01} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{c_v m_v}},$$

где ω_{01} – круговая частота колебаний объема 1, рад/с; c_v – податливость объема 1, $c^2/\text{кг}$; m_v – масса воздуха заключенного в горле. Воздушный объем 1 резонирует на инфразвуковой частоте $f_1 = 16\text{Гц}$.

Собственная частота колебаний объема 2 рассчитывается исходя из предположения, что $\lambda = 4(1 + \pi R^2/4)$ для трубы закрытой с одного конца [6].

$$f_2 = \frac{C_0}{\lambda},$$

где C_0 - скорость звука в металле, м/с; λ - длина волны, l - длина трубы, $l=h$ - высота столба жидкости, заключенной в трубе, м; R - радиус трубы, м.

Собственная частота колебаний всего конвертера, представляющего собой систему из двух объемов соединенных между собой последовательно находится по формуле

$$f = \frac{1}{2\pi} \omega_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{c(m_g + m_{ж})}},$$

где $c = \frac{c_{ж}c_g}{c_g + c_{ж}}$ – податливость всей системы "воздух+жидкий металл", $c^2/\text{кг}$; c_g и $c_{ж}$ – податливость объемов 1 и 2 соответственно, $c^2/\text{кг}$; $m_{ж}$ и m_g – масса жидкости и воздуха соответственно, кг.

Для рассматриваемого конвертера $f_1 = 16 \text{ Гц}$, $f_2 = 58 \text{ Гц}$, $f = 58 \text{ Гц}$.

ФИЗИЧЕСКАЯ И МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ВОЗДЕЙСТВИЯ ПЕРИОДИЧЕСКИХ УДАРНЫХ ВОЛН НА ЖИДКИЙ МЕТАЛЛ

Авторы [7] разработали способ, в котором эффективность технологического процесса повышается за счет воздействия на рабочие тела периодическими ударными волнами, переходящими в акустические колебания. Так как масса расплава и объем конвертера большие, то для интенсификации процесса выплавки необходимо использовать низкочастотные колебания. Для этого используется акустическая фурма.

Сложность процесса взаимодействия струи дутья с металлической ванной определяется во-первых, тем, что взаимодействие струи с металлом практически не поддается изучению прямым экспериментом и, во-вторых, тем, что при исследовании приходится иметь дело с явлениями, подчиняющимися различным закономерностям. В настоящей работе схема взаимодействия струи с металлом принята следующей.

Струя кислорода, вытекающая из сопла при определенных давлении и расходе с весьма высокими скоростями, при встрече с металлом образует на его поверхности полость (кратер). Размеры полости, а также характер перемешивания металла с газом определяются характеристиками струи. В полости кратера (его металлическими "стенками" и брызгами, возникающими при ударе струи о металл) усваивается кислород струи металлом и в дальнейшем осуществляется перенос кислорода от реакционной зоны в объем ванны.

По мере распространения в полости конвертера от фурмы до поверхности расплава ударная волна большой мощности постепенно теряет свою амплитуду. При встрече ударной волны с поверхностью расплава имеют место поглощение и отражение энергии волны, поэтому она переходит в акустическую ударную волну с амплитудой $p_{ак}$. На рисунке 2 представлен вид ударной волны, полученный на основе измерений [8].

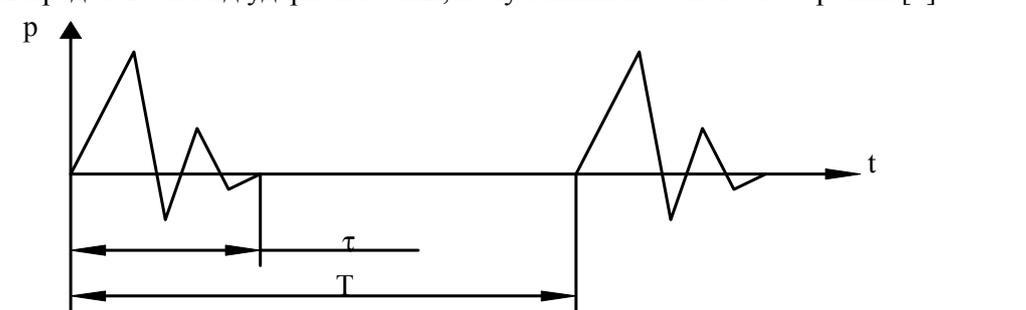


Рис. 2

Для описания математической модели воздействия периодических ударных волн на поверхность расплава вводится импульсная функция периодического избыточного давления $f(t)$ кислорода в зависимости от времени, которая представлена двумя составляющими: периодом следования ударных волн T и промежутком времени « τ », когда ударная волна действует на расплав.

$$f(t) = \begin{cases} p_M(t) & \text{для } 0 \leq t \leq \tau \\ 0 & \text{для } \tau \leq t \leq T \end{cases}, \quad (1)$$

где $p_M(t)$ - переменное значение амплитуды в ударной волне.

Интенсивность перемешивания максимальна при совпадении резонансной частоты ванны с частотой одной из гармонических составляющих функции описывающей периодическую ударную волну.

Действие периодической возбуждающей силы исследуем с помощью гармонического анализа. В общем случае $f(t)$ можно представить в виде ряда Фурье

$$f(t) \approx F(\omega, t) = A_0 + \sum_n (A_n \cos n\omega t + B_n \sin n\omega t),$$

где A_0, A_n, B_n - коэффициенты ряда Фурье, которые находятся по формулам [9].

Гармонические составляющие функции, определенной согласно (1) рассчитаны с помощью программы Mathcad. На рисунке 3 представлены результаты проведенного расчета. C_n - амплитуды спектральных составляющих, H/m^2 , n - номер гармоники. При $n = 1$ частота процесса составляет 56 Гц, при этом $T=0,017\text{c}$, $\tau=0,4\text{c}$.



Рис. 3

Спектральный анализ функции периодической ударной волны показал, что значительными в спектре являются низкочастотные составляющие. Поэтому именно они способствуют улучшению перемешивания жидкого металла в ванне, резонансная частота которой совпадает с частотой первой гармоники. Такой выбор обусловлен тем, что на этом режиме улучшить перемешивание можно за счет волн меньшей интенсивности, чем на других частотах.

Значения величин T и τ обеспечивают совпадение по частоте одной из низкочастотных составляющих в спектре с резонансной частотой ванны, поэтому именно они должны быть заложены в основу процесса организации следования периодических ударных волн в струе кислорода.

ВЫВОДЫ

1. Предложена акустическая модель конвертера.
2. Рассчитаны собственные частоты колебаний как составляющих частей конвертера (f_1 и f_2) так и всего конвертера (f).
3. Составлены физическая и математическая модели процесса воздействия периодических ударных волн на жидкий металл.
4. Получены амплитуды и частоты спектральных составляющих функции избыточного давления в периодических ударных волнах при их воздействии на поверхность ванны жидкого металла.
5. Проведенные исследования позволили определить условия интенсификации процесса, когда резонансная частота совпадает с вынужденной частотой, т.е. с частотой той гармоники функции силы избыточного давления в периодической ударной волне, которая имеет максимальную амплитуду.

ЛИТЕРАТУРА

1. Коваль В.П., Потапов А.В. Математическое моделирование движения жидкости в осесимметричной ванне под действием вдуваемой струи – ИЖФ, 1977, т.32 №3, с. 443-448.
2. Явойский В.И., Дорофеев Г.А., Повх И.Л. Теория продувки сталеплавильной ванны – М.: Металлургия, 1974, 496с.
3. Бринза В.Н., Подлевских М.Н., Слободяник Т.М. Защита от инфразвука на предприятиях черной металлургии – М.: Металлургия, 1992. 64 с.
4. Явойский В.И., Явойский А.В., Сизов А.М. Применение пульсирующего дутья при производстве стали. – М.:Металлургия, 1985. 176с.
5. Лепендин Л.Ф. Акустика. – М.: Высш. школа, 1978г. 448 с.
6. Справочник по судовой акустике/ Под ред. И.И. Клюкина и И.И. Боголепова. - Л.: Судостроение, 1978. - 503с.
7. Сокол Г.И., Тучина У.Н. Импульсная функция в процессах выплавки металла //Космічна наука і технологія. Додаток. - 2005.- №11, т.1. - с. 64-69.
8. Справочник по технической акустике. /Под ред. Хекла и Мюллера - М.: Наука, 1985. - 370с.
9. Швайко М.Ю. Основи теорії коливань механічних систем – Д.: РВВ ДДУ, 2000. – 268с.