

УДК 669.162.267.642.669.721

С. А. Шевченко, В. И. Елисеев, Л. А. Флеер, А. Ф. Шевченко

Институт чёрной металлургии НАН Украины им. З.И. Некрасова, г. Днепр

ДИНАМИКА ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОЛН ПРИ ИНЖЕКЦИОННОЙ ОБРАБОТКЕ РАСПЛАВА С ПОМОЩЬЮ ПОГРУЖНЫХ ФУРМ

Интенсификация процессов ковшевого рафинирования передельного чугуна инъекционными способами ограничена бурностью процесса волнообразования на поверхности ванны, крайняя степень которой приводит к выплескам расплава из ковша. Поэтому актуальным является установить ключевые факторы, влияющие на динамику процессов волнообразования на открытой поверхности ванны расплава и их взаимосвязь между собой.

Для проведения исследований за основу был взят процесс рафинирования чугуна в ковше зернистым магнием, где реагент вводится на глубину жидкой ванны путем инъекции в струе инертного газа через погружную фурму.

В этом случае основными возможными источниками возмущения верхнего слоя жидкой ванны могут быть различные процессы: схлопывание пузырей на поверхности, колебание фурменного устройства, отрыв пузырей в прифурменной зоне, всплытие пузырей, гидродинамические потоки в объеме жидкой ванны и т.п., что имеют различные амплитудно-частотные характеристики.

В литературе известно достаточно много работ различных авторов, посвященных изучению колебанию жидкости в емкостях. В которых, принципиально важным упрощением при рассмотрении динамики тел с жидкими слоями, является представление колеблющихся слоев в виде маятников. Такая постановка не раскрывает полностью процесс взаимодействия, однако на общем физическом уровне показывает важные детали развития движения рассматриваемой колебательной системы. В данной работе использован этот подход для рассмотрения взаимодействия колеблющегося слоя расплава в ковше с фурмой и участием генератора колебания заданной частоты.

Математическая модель колебания данной системы, как и в классической форме уравнения колебания маятника входит равенство сил – инерционной и упругой. В нашем случае добавлено еще силы взаимодействия между двумя телами: силу сопротивления и силу, связанную с присоединенной массой. Таким

образом, на основе уравнений движения жидкости и фурмы, а также уравнений собственной частоты жидкой ванны и фурмы было выведено уравнение собственной частоты системы в целом:

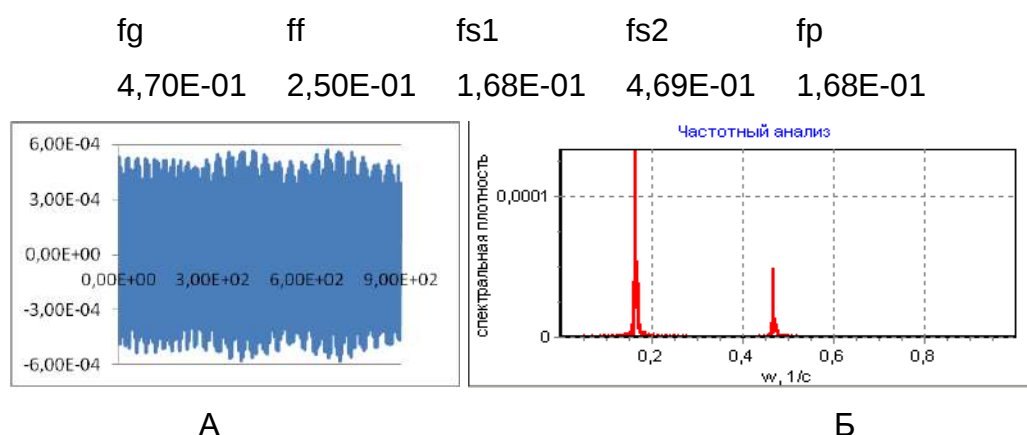
$$f_s^2 = -\frac{1}{2}(1+m_G+m_F)^{-1} \left\{ \left[(1+m_F)f_G^2 + (1+m_G)f_F^2 \right] \pm \sqrt{\left[(1+m_F)f_G^2 + (1+m_G)f_F^2 \right]^2 - 4f_G^2 f_F^2 (1+m_G+m_F)} \right\}$$

где $m_G = M_P / M_G$ и $m_F = M_P / M_F$, выраженные через присоединенную массу массы фурмы и массы жидкого слоя, а f_F и f_G их соответствующие резонансные частоты.

Результаты расчетов, приведенные на рисунке, демонстрируют насколько изменяются амплитуды колебаний системы первой и второй моды (fs1 и fs2) в зависимости от задаваемой частоты возмущения fp и собственных частот колебания жидкой ванны fg и фурменного устройства ff.

Дополнительно были проведены на холодной модели экспериментальные исследования колебаний свободно подвешенного стального стержня, погруженного в жидкость в колеблющемся сосуде.

Пример первый.



Пример второй.

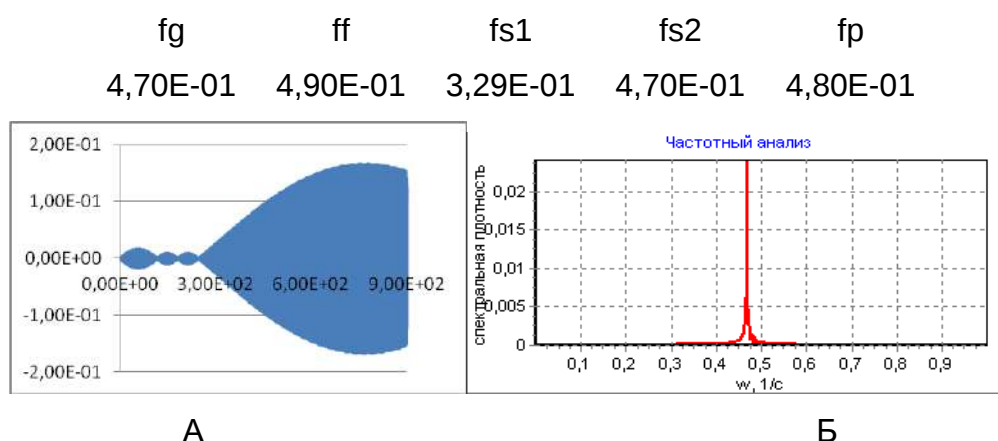


Рис. Колебания слоя расплава. А – кривая изменения во времени X_G ; Б – амплитудно-частотная характеристика X_G , полученная после быстрого преобразования Фурье

Длина маятника была выбрана таким образом, чтобы частота его собственных колебаний в покоящейся жидкости была заведомо меньше или лежала внутри задаваемого диапазона частот колебаний платформы.

Благодаря исследованиям установлено, что при приближении частоты колебаний жидкости к собственной частоте колебаний маятника длиной 60 мм частота его колебаний в некоторой области остается практически постоянной, в то время как частота колебаний маятника длиной 119 мм достаточно близко следует частоте колебаний сосуда.

На основе расчетно-аналитических и экспериментальных исследований колебаний маятников рассмотрена система, состоящая из слоя жидкости и фурмы. Получено, что помимо собственных частот этих элементов, система имеет еще две собственные величины. Ввиду того, что масса расплава значительно больше массы фурмы частота, близкая к резонансной частоте ванны практически определяет поведение системы при ее возмущении, т.е. система откликается практически только на те возмущения, у которых частота близка к собственной частоте жидкой ванны. Это важный результат говорит о том, что в практической деятельности необходимо знать резонансные частоты жидкой ванны, фурменного устройства и всех иных источников колебаний, соответственно с этим, стараться демпфировать амплитуду с этой возбуждающей частотой. Это можно делать, как конструктивно, так и технологически, изменяя режимы продувки. Однако необходимо указать, что спектр частот колебаний в прифурменной зоне довольно широк и, естественно, содержит в себе опасные низкие частоты.