

## Исследование на холодной модели виброакустического метода контроля процесса флотации неметаллических включений

Чуев Н.Я. (МЧМ-09вм), Клопов М.А. (МЧМ-06в)\*  
Донецкий национальный технический университет

Одним из ключевых элементов технологии обработки стали на установках «ковш-печь», является продувка металла инертным газом. Вдувание газа в объем металла, как правило, осуществляют через продувочные пробки, установленные в днище сталеразливочного ковша. От эффективности процесса продувки в значительной степени зависят основные показатели технологии.

На данный момент отсутствуют методы оперативного контроля процессов образования и удаления неметаллических включений непосредственно в процессе внепечной обработки. Практическую ценность представляет создание технологии контроля процесса продувки и удаления неметаллических включений, которая позволила бы повысить эффективность внепечной обработки с точки зрения гарантированного обеспечения необходимого содержания неметаллических включений в готовом металле. Для решения данной задачи могут быть использованы возможности метода виброакустического контроля.

Сущность этого метода заключается в том, что вибросигнал, регистрируемый на поверхности сталеразливочного ковша, несет в себе информацию о характере колебаний газовых пузырей, всплывающих в объеме металла. Ее можно выявить в спектре регистрируемого сигнала в виде частотного пика, который соответствует частоте собственных колебаний пузырьков газа. Собственную частоту колебаний пузырька газа можно рассчитать по формуле:

$$f_{\text{рез}} = \frac{1}{\pi D_b} \sqrt{\frac{3K}{\rho_{\text{ж}}} \left[ p_0 + \frac{4\sigma}{D_b} \left(1 - \frac{1}{3K}\right) - \frac{8\mu_k^2}{D_b} \right]} \quad (1)$$

где  $f_{\text{рез}}$  – собственная частота колебаний пузырька газа, Гц,  $D_b$  – диаметр пузырька газа, м,  $\rho_{\text{ж}}$  – плотность жидкости, кг/м<sup>3</sup>,  $P_0$  – атмосферное давление, Па,  $\sigma$  – поверхностное натяжение, Н/м,  $\mu$  – коэффициент кинематической вязкости, м<sup>2</sup>/с.

В процессе флотации включение, закрепившееся на стенке всплывающего газового пузыря демпфирует его колебания, что ведет к изменению амплитуды и частоты собственных колебаний газовых пузырей.

Для оценки уровня корреляции между энергией вибросигнала в информативном диапазоне частот и присутствием твердых включений в объеме жидкости во время продувки были проведены лабораторные исследования.

---

\* Руководитель – к.т.н., доцент кафедры ЭМС Костецкий Ю.В.

Для этого была рассчитана и построена специальная установка холодного моделирования. Учитывая, что основным объектом наблюдения во время моделирования выступает собственный размер пузырька, интенсивность продувки и физические свойства жидкости, выбор параметров модели осуществляли исходя из следующих условий:

$$e = f(\text{Re}, \text{We}, \text{Fr}) \quad (2)$$

$$\text{We} = \frac{\rho_i \cdot Q_i^2}{d_i^3 \cdot \sigma_i} = \frac{\rho_i \cdot Q_i^2}{d_i^3 \cdot \sigma_i} \quad (3)$$

$$\text{Fr} = \frac{Q_i^2}{d_i^5 \cdot g} = \frac{Q_i^2}{d_i^5 \cdot g} \quad (4)$$

где  $\text{Re}$  – критерий Рейнольдса,  $\text{We}$  – критерий Вебера,  $\text{Fr}$  – критерий Фруда,  $\rho_m, \rho_n$  – плотность жидкой фазы на модели и в реальных условиях соответственно,  $\text{кг/м}^3$ ,  $Q_m, Q_n$  – расход газа на модели и в реальных условиях,  $\text{м}^3/\text{час}$ ,  $d_m, d_n$  – диаметр отверстия продувочного устройства,  $\text{м}$ ,  $g$  – ускорение силы тяжести,  $\text{м/с}^2$ .

В процессе моделирования стеклянную емкость заполняли водой и продували газом с постоянным расходом 2,4 л/мин. Вибросигнал, возникающий на поверхности емкости в процессе продувки жидкости газом, регистрировали с помощью вибродатчиков. Через определенные интервалы времени в объём жидкости вводили порции угольной пыли. Продувку осуществляли с постоянным расходом газа.

В ходе экспериментов были получены спектры вибросигналов. После их обработки установлено, что в районе 2300 Гц амплитудный пик, отвечающий резонансной частоте собственных колебаний пузырьков, уменьшается с увеличением количества твердых частиц, вводимых в объём жидкости. При добавке до 200 мг угольной пыли изменение амплитуды резонансной частоты практически отсутствовало, в то время как при добавке 400 и более миллиграмм пыли амплитудный пик практически полностью исчезал.

Результаты экспериментов показали, что уровень содержания включений в жидкой ванне при продувке газом влияет на спектр регистрируемого вибросигнала. Таким образом можно говорить о том, что на основе метода виброакустического мониторинга, можно создать систему контроля развития в расплаве процесса флотации неметаллических включений в режиме реального времени, что даст возможность правильно организовать продувку и снизить загрязненность металла продуктами раскисления, повысить его качество, особенно при выплавке марок сталей ответственного назначения.