

УДК 669.182

Ю. В. КОСТЕЦКИЙ (канд. техн. наук, доц.),**И. В. КВАСОВ, И. В. ДЕГТЯРЕНКО**

ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет»

МЕТОД КОНТРОЛЯ РЕЖИМОВ ПРОДУВКИ СТАЛИ ИНЕРТНЫМ ГАЗОМ НА ПЕЧИ КОВШЕ

Приведены результаты лабораторных исследований метода виброакустического контроля процесса продувки стали инертным газом на установке «ковш-печь» с целью улучшения удаления неметаллических включений из металла. Показано, что на основе анализа спектра вибросигнала в определенном диапазоне частот можно фиксировать переход от пузырькового к струйному режиму истечения газа в жидкость.

установка «ковш-печь», неметаллические включения, аргон, продувка, сталь

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 этого процесса в значительной степени зависят многие показатели технологии.

Обычно оператор установки ковш-печь управляет режимом продувки металла инертным газом на основе показаний датчика расхода газа и визуального наблюдения за размером, так называемого «продувочного пятна». Данный метод контроля не является эффективным. Так как при одном и том же видимом уровне турбулентности на поверхности металла интенсивность перемешивания в объеме расплава может быть различной. А в некоторых случаях, например, при продувке с малым расходом газа визуальный контроль затруднен или вообще невозможен. В результате часто операторы устанавливают больший, чем необходимо в конкретных условиях, расход продувочного газа. Слишком интенсивная продувка ведет к дополнительному загрязнению металла неметаллическими включениями за счет повышенной поверхностной турбулентности.

В НПО «Доникс», в сотрудничестве с Донецким национальным техническим университетом, был разработан экспериментальный образец системы виброакустического мониторинга процесса продувки металла инертным газом на установке «ковш-печь» [1, 2]. Данная система обеспе-

чивает повышение эффективности управления технологическим процессом внепечной обработки стали на установке «ковш-печь» за счет предоставления оператору дополнительных данных об интенсивности перемешивания металла в ковше и работе продувочных устройств.

При этом практический интерес представляет возможность различать пузырьковый и струйный режимы работы продувочного устройства [3]. Для максимального удаления неметаллических включений заданного размера необходимо поддерживать определенный режим продувки, так как степень удаления неметаллических включений, в процессе промывки металла инертным газом, зависит от количества и размера газовых пузырей [4, 5, 6].

Теоретический анализ показывает, что в спектре вибросигнала, снимаемого с поверхности сталеразливочного ковша, должна присутствовать информация о характере истечения газа в объем металла. При пузырьковом режиме истечения газа в спектре регистрируемого вибросигнала должен присутствовать частотный пик, отвечающий величине собственных колебаний пузырьков. При переходе к струйному характеру истечения газа данный частотный пик должен исчезнуть

Рассматривая линейные колебания газового пузыря в жидкости резонансную частоту пульсаций отдельного пузырька можно оценить из соотношения [7]:

$$f_{рез} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{12 K p_0}{\rho_{ж} d_n^2}}, \quad (1)$$

где K – константа, p_0 – давление, Па; d_n – диаметр пузырька, м; $\rho_{ж}$ – плотность жидкости, кг/м³.

Размер отдельного пузыря можно рассчитать по известному уравнению Сано-Мори [8]:

$$d_n = \sqrt[6]{\left(\frac{6\sigma d_0}{\rho_{ж} g}\right)^2 + 0.0248 (Q^2 d_0)^{0.867}}, \quad (2)$$

где σ – поверхностное натяжение, Н/м; d_0 – диаметр сопла, м; $\rho_{ж}$ – плотность жидкости, кг/м³; Q – расход газа, м³/с.

Используя уравнения 1, 2 можно оценить информативный диапазон, в котором будет присутствовать упомянутый частотный пик, отвечающий величине $f_{рез}$ для пузырьков выбранного размера.

Исследование влияния различных режимов продувки на амплитудно-частотную характеристику вибросигнала было выполнено на водяной модели. Схема лабораторной установки показана на рисунке 1. Для продувки использовали газ CO_2 , который через фурму с соплом диаметром 1 мм вдували снизу в стеклянный сосуд с внутренними размерами 400×800 мм, заполненный водой. Контроль расхода газа осуществляли с помощью мыльно-пленочного (до 1 л/мин.) и шарикового (до 40 л/мин.) расходомеров. Виброактивность установки в ходе продувки регистрировали с помощью вибродатчика AP 2030, сигнал от которого через согласующее устройство (переходная коробка AG 01-3) поступал на вход звуковой карты компьютера для последующей обработки.

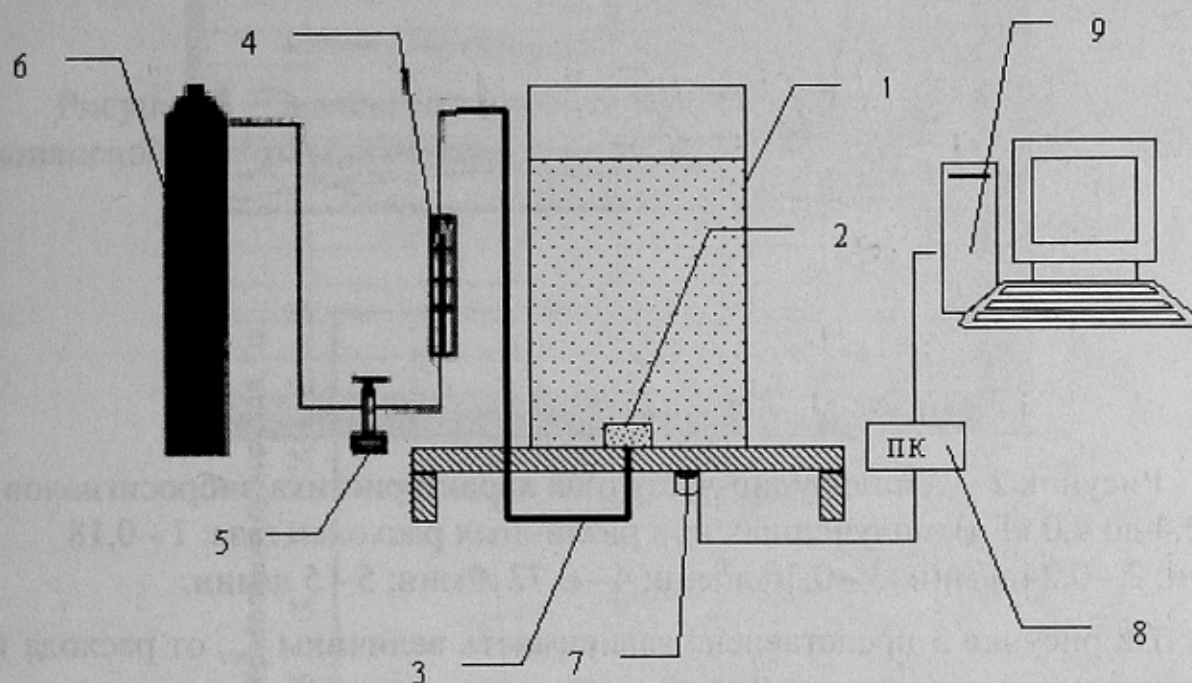


Рисунок 1 – Схема лабораторной установки: 1 – сосуд с водой; 2 – фурма; 3 – газопровод; 4 – расходомер; 5 – вентиль; 6 – газовый баллон; 7 – вибродатчик (AP 2030); 8 – согласующее устройство (переходная коробка AG 01-3); 9 – компьютер.

В ходе экспериментов использовалась звуковая карта ESS-ES1938S-Solo-1, рабочий частотный диапазон которой 20 – 15000 Гц.

Было проведено несколько серий экспериментов, в ходе которых расход газа изменяли от 0,18 до 40 л/мин. При этом размер пузырьков является функцией расхода газа и расчет по уравнениям 1, 2 показывает, что значение частоты собственных колебаний пузырей для системы газ CO_2 - вода лежит в диапазоне частот 3 – 3,5 кГц.

На рисунке 2 представлена полученная амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) вибросигналов в диапазоне от 2 до 4 кГц, полученных при различных расходах газа. В данном диапазоне на АЧХ действительно наблюдается пик, который дрейфует в сторону более низких частот при изменении расхода газа от 0,18 до 5 л/мин. При больших расходах газа, когда визуально наблюдается переход от пузырькового к струйному режиму истечения газа в жидкость, данный частотный пик постепенно сглаживается (рисунок 2 позиции 4, 5).

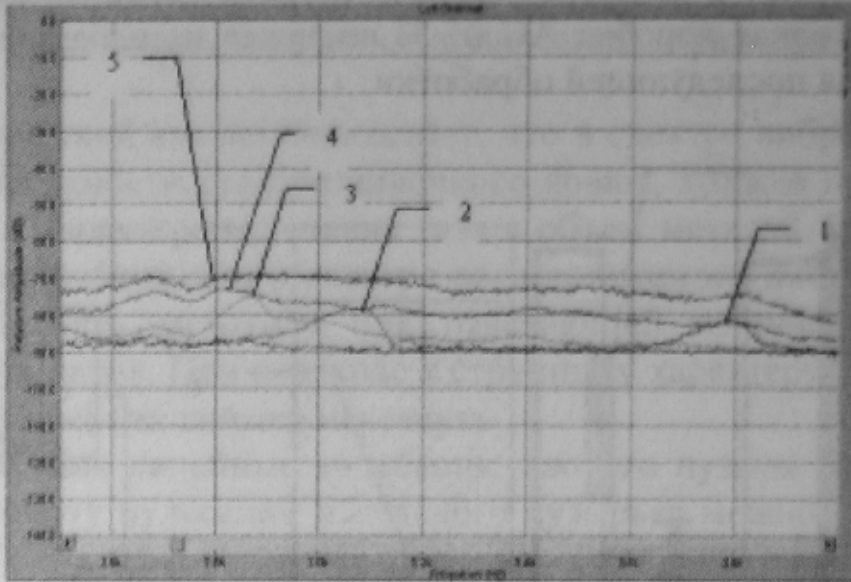


Рисунок 2 – Амплитудно-частотная характеристика вибросигналов (от 2,4 до 4,0 кГц), полученных при различных расходах газа: 1 - 0,18 л/мин; 2 - 0,24 л/мин; 3 - 0,36 л/мин; 4 - 0,72 л/мин; 5 - 5 л/мин.

На рисунке 3 представлена зависимость величины $f_{рез}$ от расхода газа, полученной на основе экспериментальных данных и теоретического расчета.

При малых расходах газа (до 0,36 л/мин.) наблюдается хорошее совпадение экспериментальных и расчетных значений, в то время как при больших расходах расхождения существенные. Согласно экспериментальным данным резонансная частота собственных колебаний пузырьков и соответственно размер пузырей практически не изменяются с увеличением расхода газа, так как происходит плавный переход к струйному режиму истечения газа в жидкость.

На рисунке 4 представлена зависимость частоты образования пузырьков от расхода газа, полученной на основе теоретического расчета и по экспериментальным данным.

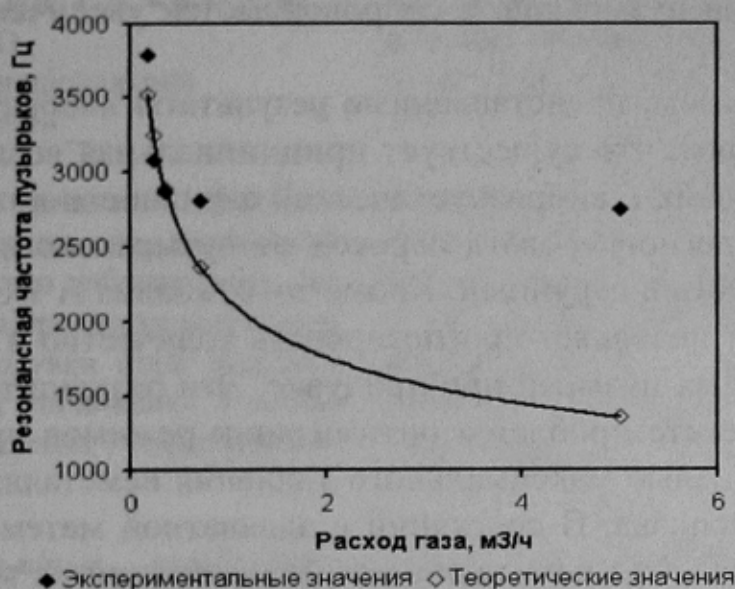


Рисунок 3 – Зависимость экспериментальных и расчетных значений резонансной частоты собственных колебаний пузырьков от расхода газа.

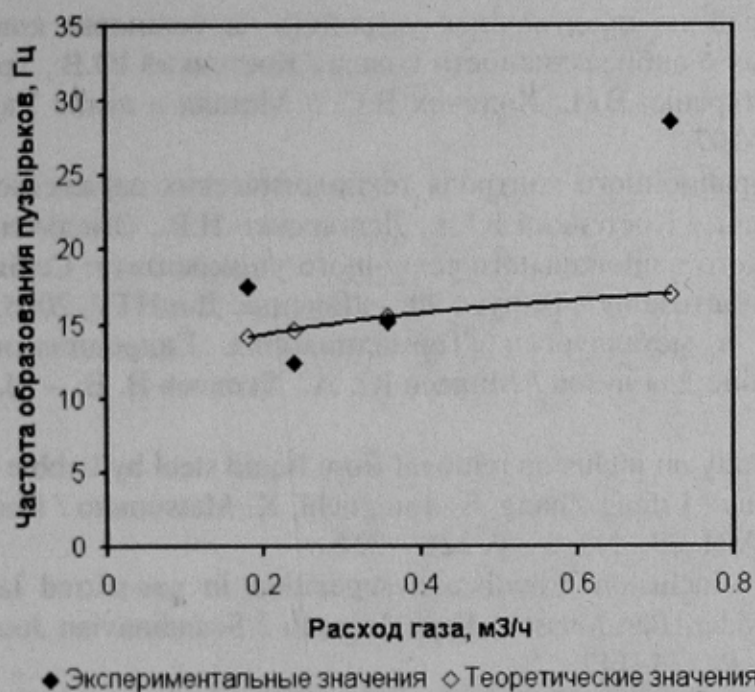


Рисунок 4 – Зависимость частоты образования пузырьков от расхода газа

Представленные данные хорошо иллюстрируют характер пузырькового режима истечения газа в жидкость - при малых расходах газа увеличение интенсивности продувки сопровождается ростом размеров пузырьков и уменьшением частоты их образования, но до определенного предела. Дальнейшее увеличение расхода газа не влечет за собой существенное из-

менение размеров пузырьков, а сопровождается увеличением частоты их образования.

Таким образом, представленные результаты лабораторных экспериментов показывают, что существует принципиальная возможность, на основе анализа данных о виброакустической активности кожуха сталеразливочного ковша, регистрировать переход от пузырькового режима истечения газа в жидкость в струйный. Кроме того, анализ АЧХ в определенном диапазоне частот позволяет прогнозировать количество и преимущественный размер газовых пузырей при продувке. Эти результаты имеют важное значение в контексте проблемы оптимизации режимов продувки металла газом в ковше с целью максимального удаления неметаллических включений из ванны расплава. В сочетании с адекватной математической моделью процесса удаления неметаллических включений из металла при продувке газом путем флотации, можно более точно задавать необходимый расход газа и прогнозировать оптимальное время продувки.

Список литературы

1. Мониторинг работы продувочных устройств на установке ковш-печь на основе анализа данных о виброактивности ковша / Костецкий Ю.В., Троянский А.А., Кукуй Д.П., Дегтяренко В.И., Ходячих В.С. // Металл и литье Украины. – № 3-4. – 2005. – С. 106-107.
2. Алгоритм вибрационного контроля технологических параметров плавки на установке ковш-печь / Костецкий Ю.В., Дегтяренко И.В., Омельченко А.А. // Наукові праці Донецького національного технічного університету: Серія «Обчислювальна техніка та автоматизація», Випуск 90. – Донецьк: ДонНТУ, 2005. – С. 15-19
3. Физикохимия в металлургии (Термодинамика. Гидродинамика. Кинематика): Учебное пособие для вузов / Минаев Ю. А., Яковлев В. В. – М.: МИСИС, 2001 – 320 с.
4. Water model study on inclusion removal from liquid steel by bubble flotation under turbulent conditions / Lifeng Zhang, S. Taniguchi, K. Matsumoto / Ironmaking and Steelmaking 2002 - Vol. 29 - No. 5 – P. 326 – 336.
5. Modeling micro-inclusion growth and separation in gas-stirred ladles / Dong-Yuan Sheng, Mats Söder, Pär Jönsson, Lage Jonsson / Scandinavian Journal of Metallurgy 2002 - No. 31 – P. 134–147.
6. Prediction of the Optimum Bubble Size for Inclusion Removal from Molten Steel by Flotation / Laihua WANG, Hae-Geon LEE, Peter HAYE / ISIJ International – Vol. 36 (1 996) - No. 1 - P. 7-16.
7. Распространение волн в газо- и парожидкостных средах / Накоряков В.Е., Покусаев В.Е., Шрейбер И.Р. / Новосибирск. 1983.
8. M. Sano and K. Mori: Trans. Jpn. Inst. Met., 1976, 17, 344–352.

Надійшла до редколегії 23.09.2008.

**Ю. В. КОСТЕЦЬКИЙ, І. В. КВАСОВ,
І. В. ДЕГТЯРЕНКО**
ДВНЗ «Донецький національний
технічний університет»

Метод контролю режимів продувки сталі інертним газом на печі-ківші. Приведені результати лабораторних досліджень методу віброакустичного контролю процесу продувки сталі інертним газом на установці «піч-ківш» з метою покращення видалення неметалічних включень з металу.

*установка «ківш-піч», неметалічні
включення, аргон, продувка, сталь*

**U. V. KOSTECKIY, I. V. KVASOV,
I. V. DEGTYARENKO**
SHSI «Donetsk National Technical Univer-
sity»

The Method of Controlling Gas Stirring Modes in a Ladle Furnace. The article provides the results of laboratory investigations of vibro-acoustic method of ladle gas stirring process control in order to increase the amount of nonmetallic inclusion removed from liquid.

*ladle-furnace, nonmetallic inclusions, ar-
gon, stirring, steel*

© Ю. В. Костецкий, И. В. Квасов, И. В. Дегтяренко, 2009