

С.В. Бейцун, доцент, к.т.н.

Н.В. Михайловский, доцент, к.т.н.

А.С. Седяров, магистр

И.Г. Тригуб, доцент, к.т.н.

ВЕЙВЛЕТ-АНАЛИЗ КОЛЕБАНИЙ ПОВЕРХНОСТИ РАСПЛАВА ПРИ КОВШЕВОМ ВАКУУМИРОВАНИИ СТАЛИ

Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепропетровск

Як результат статистичного аналізу даних промислового експерименту, що було виконано на ковшовому вакууматорі, одержано залежність між витратою аргону на продувку та амплітудою хвиль розплаву в ковші під час вакуумної обробки сталі, виділено основні частоти коливань поверхні розплаву та розподіл амплітуд хвиль. Це дозволить вести вакуумування без виплесків розплаву.

В результате статистического анализа данных промышленного эксперимента, выполненного на ковшовом вакууматоре, получена зависимость между расходом аргона на продувку и амплитудой волн расплава стали в ковше при вакуумной обработке, выделены основные частоты колебаний поверхности расплава и распределение амплитуд волн. Это позволит вести вакуумирование без выплесков расплава.

Введение. В металлургическом производстве имеются процессы, в которых возникает опасность выплесков расплава. Одним из таких процессов является ковшовая вакуумная обработка стали с продувкой инертным газом (аргоном). Контроль динамического состояния поверхности расплава наилучшим образом обеспечивают радиолокационные уровнемеры [1]. Однако в ряде случаев недостаточно только контролировать уровень расплава, необходимо еще прогнозировать возникновение опасных ситуаций и вырабатывать адекватные управляющие воздействия.

Постановка задачи. Целью исследований является определение взаимосвязи между амплитудой колебаний расплава и расходом инертного газа (аргона) на продувку в процессе вакуумной обработки стали в ковше для предотвращения выплесков.

Основной материал исследований. В работе [2] была выполнена оценка колебаний поверхности расплава посредством анализа данных радиолокационного зондирования с использованием преобразования Фурье. При этом была установлена зависимость амплитуд волн от расхода аргона на продувку.

В настоящее время появились более совершенные инструменты для исследования нестационарных сигналов, в том числе вейвлет-анализ, который позволяет анализировать также нестационарные процессы.

Вейвлет-анализ основан на разложении исследуемого сигнала по базисным функциям – вейвлетам, полученным из некоторого прототипа путем сжатий, растяжений и сдвигов. В отличие от спектрального анализа, вейвлет-преобразование позволяет выявлять структуру исследуемого сигнала на коротких временных интервалах. Это дает возможность анализировать процесс в различном масштабе времени, а также выявлять ряд важных особенностей сигналов, связанных с изменением их структуры при переходе от одного масштаба времени к другому.

На ПАО «Интерпайп-Нижнеднепровский трубопрокатный завод» колесные и бандажные марки стали подвергают внепечной вакуумной обработке. Комплекс для вакуумирования стали в 120-т ковшах установлен фирмой «MESSO» (Германия). Контроль уровня металла в ковше во время вакуумной обработки предполагалось осуществлять при помощи видеокамеры, направленной под углом к оси ковша, что дает лишь качественную характеристику поведения металла в ковше.

При наличии в работе ковшей с относительно малой величиной «запаса высоты ковша» ΔH – расстояния от поверхности расплава до верхней кромки ковша – возникает требование оперативного контроля уровня расплава в процессе вакуумирования, что вызвало необходимость дополнительной установки радиолокационной системы контроля уровня расплава [3].

Данная система основана на радиолокационном методе измерения с использованием миллиметрового диапазона волн. Сущность измерения заключается в непрерывном излучении частотно-модулированного радиосигнала, приеме его отражения от поверхности расплава и расчете средневзвешенной частоты разностного сигнала, пропорциональной расстоянию до объекта [3]. Радиолокационная часть системы состоит из СВЧ-блока, который обеспечивает непрерывное излучение и прием радиосигнала, и блока обработки, в котором происходят фильтрация помех и математическая обработка информации с преобразованием ее в аналоговый сигнал для дальнейшего отображения на дисплее оператора и регистрации на вторичном приборе. Испытаниями радиолокационной системы было установлено, что погрешность измерения системы не превышает 20 мм, что соответствует техническим требованиям [4].

В процессе вакуумной обработки стали в ковше обслуживающий персонал получает информацию о текущих значениях давления в вакуум-камере, расходе продуваемого аргона и изменении уровня расплава. При достижении необходимого уровня вакуума оператор управляет расходом аргона путем его ступенчатого увеличения в ходе вакуумирования, используя информацию о запасе высоты ковша ΔH .

Медленные изменения уровня за счет выделения растворенных газов, а также увеличения объема пузырей аргона, вдуваемого для перемешивания, впервые изучены в работе [5]. Однако особый интерес представляет изучение волнения поверхности расплава при вакуумной обработке для предотвращения его выплесков из ковша.

Для решения данной задачи был проведен ряд промышленных экспериментов, в ходе которых в процессе вакуумной обработки на магнитографе фиксировали изменения давления в вакуум-камере, расход продуваемого аргона и соответствующие изменения уровня расплава в ковше.

В результате анализа более двадцати опытов установлено, что по ходу вакуумирования четко фиксируется характер колебаний уровня расплава в зависимости от особенностей протекания процесса. На рис. 1,а приведен график изменения параметра ΔH в ходе вакуумирования и соответствующие изменения давления P и расхода аргона Q_{Ar} . Так, набор вакуума сопровождается увеличением, а сброс вакуума – снижением уровня металла в ковше. Рост расхода аргона на продувку приводит к усилению волнения поверхности расплава.

Большая амплитуда колебаний уровня расплава объясняется тем, что радар установлен практически над продувочной пробкой, и радиолуч захватывает поверхность буруна, который возникает на месте выхода аргона. К моменту

достижения стенок ковша волны заметно затухают за счет их демпфирования слоем шлака. Однако вследствие отражения волн от стенок и взаимного наложения их амплитуда может значительно увеличиваться, что приводит к выплескам расплава при ударах о стенки ковша.

Проведенный нами спектральный анализ колебаний поверхности расплава при вакуумировании показал, что в амплитудно-частотном спектре четко выделяется частота равная 1,0 Гц, что соответствует данным визуального наблюдения.

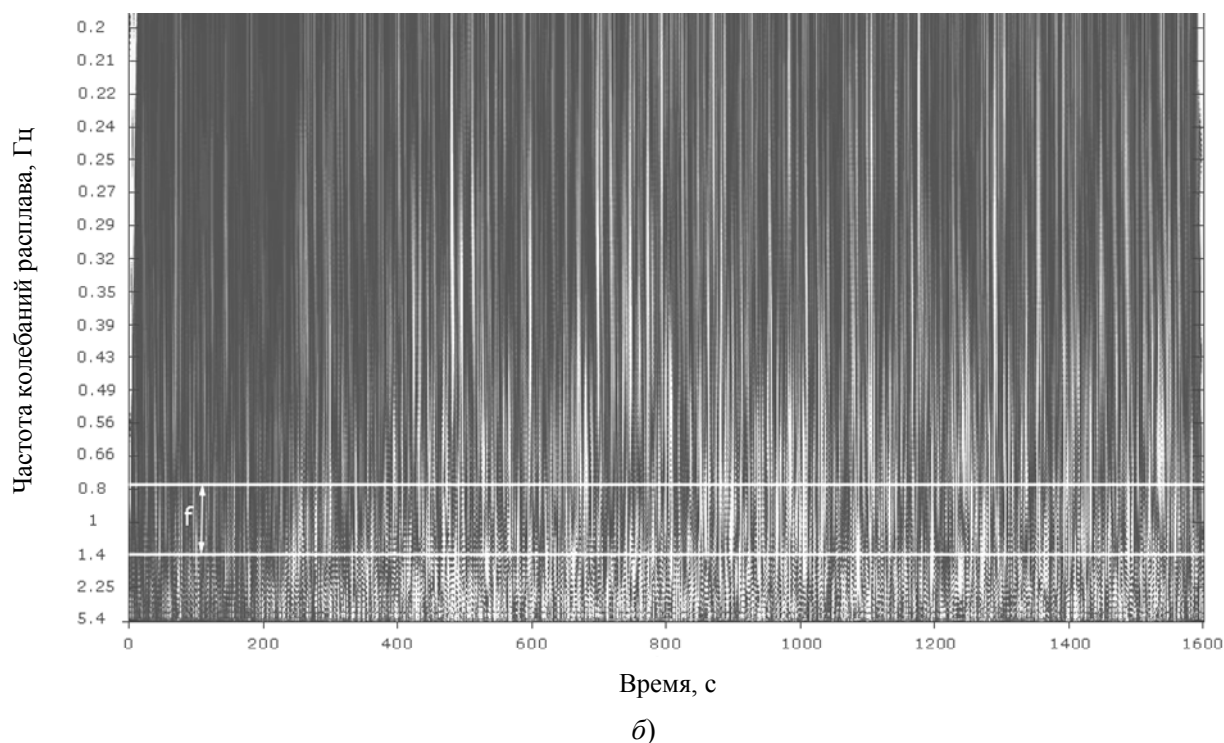
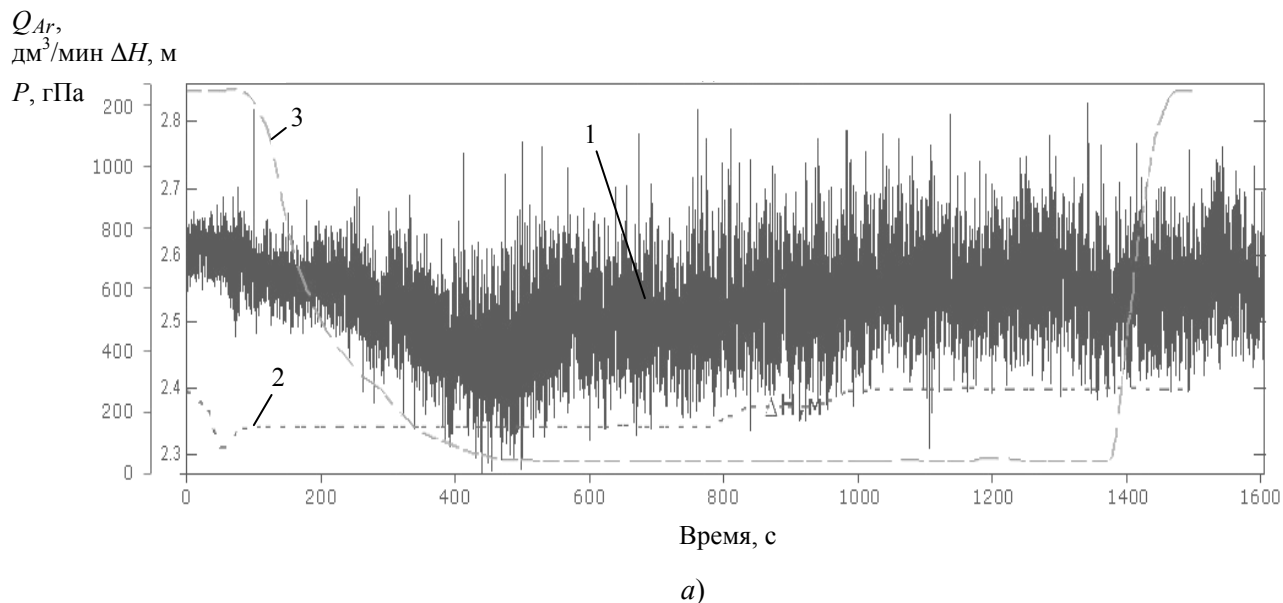


Рисунок 1 – Анализируемый сигнал (а) и его спектрограмма (б)

1 - ΔH ; 2 - Q_{Ar} ; 3 - P ; f - исследуемая область частот

Вейвлет-анализ сигнала осуществляли в программном пакете «Mat Lab» с использованием вейвлета Добеши. Этим методом были проанализированы зарегистрированные плавки. Результаты вейвлет-преобразования одной из плавки приведены на рис. 1,б. Наиболее яркие части изображения соответствуют максимальным значениям весовых коэффициентов.

На рис. 2 показано изменение расхода аргона в ходе продувки ванны, а также средней амплитуды колебаний поверхности расплава.

Полученные значения среднего значения амплитуды колебаний расплава A_k (мм) в зависимости от расхода аргона на продувку ванны Q_{Ar} (дм³/мин) аппроксимировали полиномиальным уравнением второго порядка:

$$\hat{A}_k = -0,0004 \cdot Q_{Ar}^2 + 0,35 \cdot Q_{Ar} + 23,9. \quad (1)$$

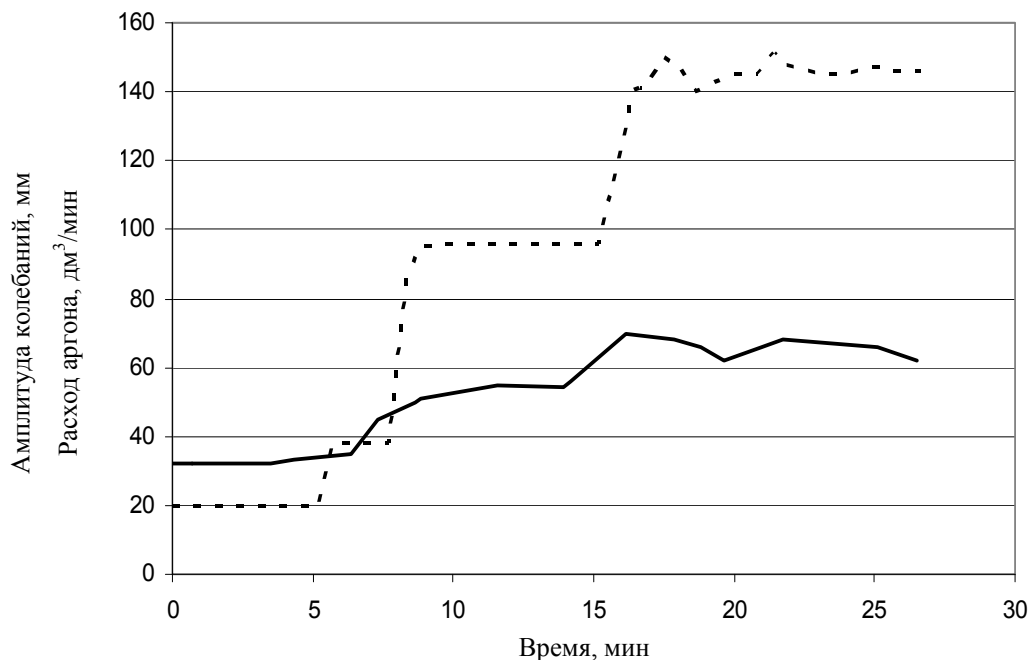


Рисунок 2 – Расход аргона на продувку ванны (—) и амплитуда колебаний поверхности расплава (.....)

Эта зависимость близка к полученной в работе [2], при этом характер кривой связан с естественным ограничением амплитуды колебаний расплава в объеме ковша.

Выводы. При помощи нового математического аппарата – вейвлет-преобразования – проведен частотный анализ колебаний поверхности расплава при ковшевом вакуумировании. Полученная информация может быть использована для оценки интенсивности хода процесса вакуумирования, что позволит управлять данным процессом без выплесков расплава.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Радиолокационный контроль металлургических процессов [Текст] : монография / В. И. Головки, О. Н. Кукушкин, Н. В. Михайловский и др. – Днепропетровск : Журфонд, 2010. – 428 с. – Библиогр. : с. 402-426. – ISBN 978-966-1696-29-6.
2. Оценка колебаний поверхности расплава при ковшевом вакуумировании / С. В. Бейцун, А. В. Жаданос, Н. В. Михайловский, С. В. Шаталюк // Металургія : наукові праці Запорозької державної інженерної академії. – Запоріжжя : ЗДІА. – 2004. – Вип. 10. – С. 13-17.
3. Микроволновая система контроля уровня расплава в ковшевом вакууматоре / О. Н. Кукушкин, В. И. Головки, С. В. Бейцун и др. // Электронная техника. Сер. «СВЧ-техника». – М. : ЦНИИ Электроника. – 1998. – Вып. 1 (471). – С. 30-32.
4. Точность радиолокационного контроля уровня ванны в вакууматоре / О. Н. Кукушкин, В. И. Головки, В. В. Смоктий и др. // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 1999. – № 1 (252). – С. 86-89.

5. Математическая модель изменения уровня металла при ковшевом вакуумировании / *С. В. Бейцун*, О. Н. Кукушкин, Н. В. Михайловский и др. // Теория и практика металлургии. – 2003. – № 1 (32). – С. 27-32.

Стаття надійшла до редакції 07.02.2012

р.

Рецензент, проф. Л.В. Камкина