

УДК 53

## АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ ВЯЗКОСТИ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ РАСПЛАВОВ

© 2011 г. В. В. Коначков, В. С. Цепелев, В. В. Вьюхин, А. М. Поводатор, А. И. Подольская

Уральский федеральный университет им. Первого президента России Б.Н. Ельцина

Россия, 620002, Екатеринбург, ул. Мира, 19

E-mail: ipml@ustu.ru

Поступила в редакцию 02.06.2010 г.

После доработки 04.10.2010 г.

Описывается комплекс для изучения затухания крутильных колебаний тигля с расплавом. Проанализированы причины погрешностей и их величина. Разработаны и реализованы запатентованные технические решения, уменьшающие погрешности измерений кинематической вязкости до 3.0%. Комплекс позволяет сократить время измерений и упростить работу оператора установки.

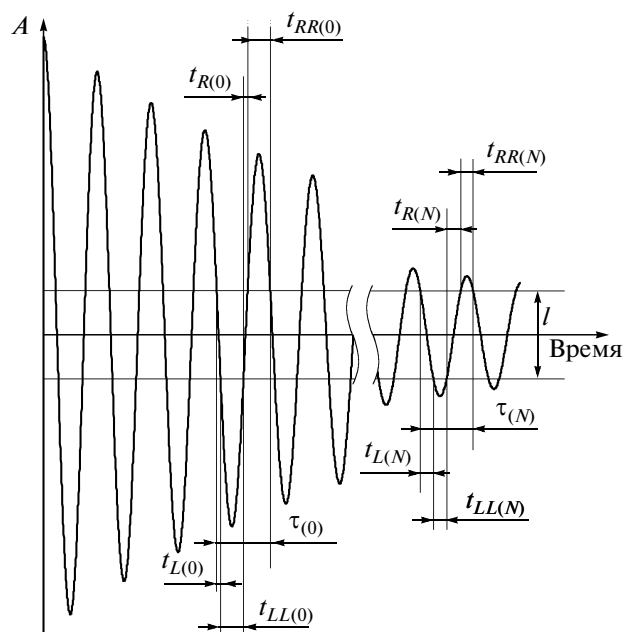
Кинематическая вязкость  $\nu$  является одной из важных характеристик металлических расплавов и основной измеряемой величиной при регистрации крутильных колебаний. Определение методом крутильных колебаний основано на измерении декремента затухания колебаний  $\delta$ . Для расчета  $\nu$  по известному  $\delta$  разработан ряд моделей и программ [1]. При таких расчетах используют сравнение результатов образцов с разной массой, геометрией и плотностью. Стандартное оборудование для измерения  $\delta$  отсутствует, поэтому используют различные технические решения [1–5].

Обычно при регистрации крутильных колебаний подвески наблюдают за траекторией светового луча, отражающегося от колеблющейся подвесной системы, и оценивают скорость колебаний путем измерения времени прохождения световым лучом фиксированного отрезка  $l$  (рисунок) в окрестности положения равновесия подвесной системы, много меньшего амплитуды колебания  $A_i$ .

Нами использованы два фотосенсора TSL250R с временем срабатывания 10 мкс. Сигналы вводятся в компьютер через LPT-порт. Такое решение упрощает конструкцию и повышает надежность работы автоматики. Задержка сигналов постоянная и не влияет на погрешность измерения времени прохождения светового луча. В качестве таймера использован счетчик тактов процессора компьютера.

Источник света влияет на качество измерений, причем, лампа накаливания предпочтительна в сравнении с лазером или галогенной лампой из-за простоты начальной регулировки направления светового луча и возможности регулировки яркости [6].

Раскачка подвесной системы осуществляется магнитным полем, при этом в начале каждого полупериода раскачки коммутируется полярность питания катушек, создающих это поле. Это позволяет уменьшить время раскачки и магнитное поле, что приводит к уменьшению поперечных колебаний при раскачке [7]. Момент коммутации



Затухающие колебания при измерениях декремента и периода.  $A$  – координата светового пятна,  $t_L, t_R$  – времена прохождения светового пятна между двумя фотоэлементами,  $t_{LL}, t_{RR}$  – времена нахождения светового пятна соответственно слева и справа от блока фотоприемников,  $l$  – расстояние между фотоэлементами,  $\tau$  – период колебаний.

рассчитывается отдельно для каждого полупериода по временам  $t_{RR}$  и  $t_{LL}$  (рисунок) предыдущего полупериода, что позволяет использовать разные подвесные системы.

Начало и конец разгона определяются по амплитудам колебаний [8], при этом количество колебаний подвесной системы, по которым производится расчет  $\delta$ , не задано. Задаются две амплитуды, между которыми производится измерение, с оптимальным отношением между ними [8]. Число колебаний на один замер  $\delta$  составляет 10–20. Определение  $\delta$  осуществляется следующим образом: по временам прохождения методом наименьших квадратов вычисляются коэффициенты  $a$ ,  $b$  уравнения экспоненты  $ae^{bx}$ , по которому вычисляется  $\delta$ . Время одного измерения составляет 40–60 с.

Измерения времен прохождения и вычисление  $\delta$  проводятся отдельно для “прямого” (справа налево) и “обратного” (слева направо) хода светового луча с получением двух независимых измерений  $\delta_1$  и  $\delta_2$ . Предполагается [4], что различие между  $\delta_1$  и  $\delta_2$  вызвано поперечными колебаниями подвесной системы. На наш взгляд, причиной различия является дрейф нулевой линии (изолинии) в ходе эксперимента [9]. Этот дрейф наблюдается как неравенство и изменение соотношения времен  $t_{LL}$  и  $t_{RR}$  (рисунок) в ходе опыта и связан с неконтролируемыми факторами, например, тепловым расширением элементов подвесной системы. Поэтому необходимо контролировать положение изолинии в ходе опыта.

Главным источником случайной погрешности единичного измерения является погрешность измерения  $\delta$ . При этом для изучения тонких эффектов в жидкости важно уменьшить именно случайную погрешность. Декремент  $\delta$  является функцией времен  $t_{R(0)}-t_{R(N)}$  или  $t_{L(0)}-t_{L(N)}$ , которые измеряются напрямую (рисунок):

$$\begin{aligned} \delta_R &= f(t_{R(0)}, t_{R(1)}, \dots, t_{R(N)}), \\ \delta_L &= f(t_{L(0)}, t_{L(1)}, \dots, t_{L(N)}). \end{aligned} \quad (1)$$

Трудности расчета погрешности по этим формулам состоят в следующем: для расчета по формулам (1) необходимо провести серии измерений, при этом различия времен будут связаны не толь-

ко с погрешностью, но и с различием начальных амплитуд  $t_{(0)}$  в сериях. Обеспечить равенство начальных амплитуд методически сложно. Кроме того, нельзя аналитически взять частные производные  $\partial\delta/\partial t$ , поскольку при расчете  $\delta$  по временам используется метод наименьших квадратов. Поэтому была проведена серия из 300 измерений  $\delta$ , из них выбраны группы с одинаковой начальной амплитудой  $A$ , и по самой большой группе (15 измерений) вычислены  $\Delta t$  и  $\partial\delta/\partial t$ . Дифференцирование произведено численными методами. Относительная случайная погрешность, обусловленная точностью измерений  $\delta$  и периода  $T$ , составляет 0.8% (при  $\Delta\delta = 0.6\%$ ), а полная погрешность  $\Delta_v = 3.0\%$ .

Установка положительно зарекомендовала себя при эксплуатации в Институте физики металлических жидкостей УрФУ (Екатеринбург).

Работа выполнена при поддержке гранта Президента Российской Федерации МК-1597.2010.3.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бельтюков А.Л., Ладьянов В.И., Олянина Н.В. // Расплавы. 2009. № 6. С. 19.
2. Тягунов Г.В., Цепелев В.С., Кушнир М.Н., Яковлев Г.Н. // Завод. лаб. 1980. № 10. С. 919.
3. Егоров Д.В., Цепелев В.С., Тягунов Г.В., Пастухов С.В. // Завод. лаб. Диагностика материалов. 1998. № 11. Т. 64. С. 46.
4. Бельтюков А.Л., Ладьянов В.И. // ПТЭ. 2008. № 2. С. 155.
5. Вьюхин В.В., Конашков В.В., Поводатор А.М., Цепелев В.С. Патент РФ № 69249 РФ (полезная модель). 2007 // Бюл. 2007. № 34.
6. Цепелев В.С., Конашков В.В., Вьюхин В.В., Поводатор А.М. Патент № 2349898 РФ. 2009 // Бюл. 2009. № 8.
7. Цепелев В.С., Конашков В.В., Вьюхин В.В., Поводатор А.М. Патент № 2366925 РФ. 2009 // Бюл. 2009. № 25.
8. Поводатор А.М., Конашков В.В., Вьюхин В.В., Цепелев В.С. Патент № 2386948 РФ. 2010. // Бюл. 2010. № 11.
9. Поводатор А.М., Конашков В.В., Вьюхин В.В., Цепелев В.С. Положит. решение по заявке № 2009121038 от 03.06.2010 на патент РФ.