

*Журнал физической химии, том XLVI, 3, Москва, 1972, с.784-787.*

## **ВИБРАЦИОННЫЙ ВИСКОЗИМЕТР ДЛЯ ОКИСНЫХ РАСПЛАВОВ**

*В. Г. Скрябин, И. А. Новохатский*

*Разработана новая система электрического вибрационного резонансного вискозиметра, обладающего существенно более высокой чувствительностью и точностью измерений.*

В настоящее время для измерения динамической вязкости окисных расплавов широко применяют вибрационные резонансные вискозиметры [1—3]. Они имеют значительно большую по сравнению с ротационными вискозиметрами чувствительность, но обладают сравнительно узким диапазоном измеряемых величин вязкости (без изменения режимов питания вибратора) и недостаточно стабильны в работе. Отсутствие экранировки у описанных в работах [1—3] приборов не позволяет надежно фиксировать вязкость исследуемой среды без отключения на некоторое время питания печи; отсутствие тепловой защиты у вибрационных вискозиметров описанных типов приводит к существенному изменению резонансной частоты и расстройству работы всей системы прибора в процессе измерений. Жесткое сочленение якоря вибратора и рабочего шпинделя ограничивает чувствительность такой системы вискозиметров.

Мы разработали новую систему электрического вибрационного резонансного вискозиметра, обладающего существенно более высокой чувствительностью и точностью измерений. Эффективная электрическая и магнитная экранировка, а также термостатирование вибрационной части установки обеспечивают высокую стабильность работы вискозиметра. Основная вибрационная система вискозиметра представлена на рис.1. Вибрационная система вискозиметра состоит из электромагнитного вибратора, системы шпинделя, магнитоэлектрического датчика амплитуды, экранирующего и термостатирующего корпуса.

Электромагнитный вибратор состоит из цилиндрического магнитопровода *1*, выполненного из железа армко, двух катушек *2*, полого якоря *3*, выполненного из железа армко, собранного на полой дюралевой оси *4* и подвешенного на полосчатых гофрированных пружинах *5* из бериллиевой бронзы. Через полость оси якоря *4* свободно проходит дюралюминиевый шток *6*, подвешенный на двух консольных плоских пружинах *7*. На верхнем конце штока *6* закреплена катушка магнитоэлектрического датчика амплитуды *8*. Нижний конец штока *6* сочленен с дюралюминиевой цангой *9*. Якорь вибратора и шпиндель соединены упругой связью: полосчатой пружиной *10* из бериллиевой бронзы. Для того чтобы тепловое излучение печи не воздействовало (через нижнее отверстие в корпусе) на пружинные подвески вибрационной системы, на цангу *9* навинчивают дисковый алюминиевый экранчик. Все упомянутые выше подвижные детали вибрационной системы изготовлены максимально облегченными.

В цанге *9* зажимают рабочий шпиндель из молибденовой (для работы в инертных или восстановительных газах) или платиновой (для работы в инертных или окислительных газах) проволоки диаметром 1 мм и длиной 300 мм. Катушка<sup>1</sup> магнитоэлектрического датчика *8* свободно колеблется в магнитном поле системы, состоящей из постоянного магнита и магнитопровода. Магнитную систему<sup>2</sup> датчика амплитуды *8* крепят па скобе, которая жестко соединяется с фланцем вибратора. С помощью последнего вибрационную систему жестко крепят в корпусе-экране *11* из мягкой стали.

<sup>1</sup> Ширина намотки 10 мм, 200 витков (4 ряда) ПЭЛ 0,05 мм.

<sup>2</sup> Выполнена на базе магнитной системы электродинамического громкоговорителя

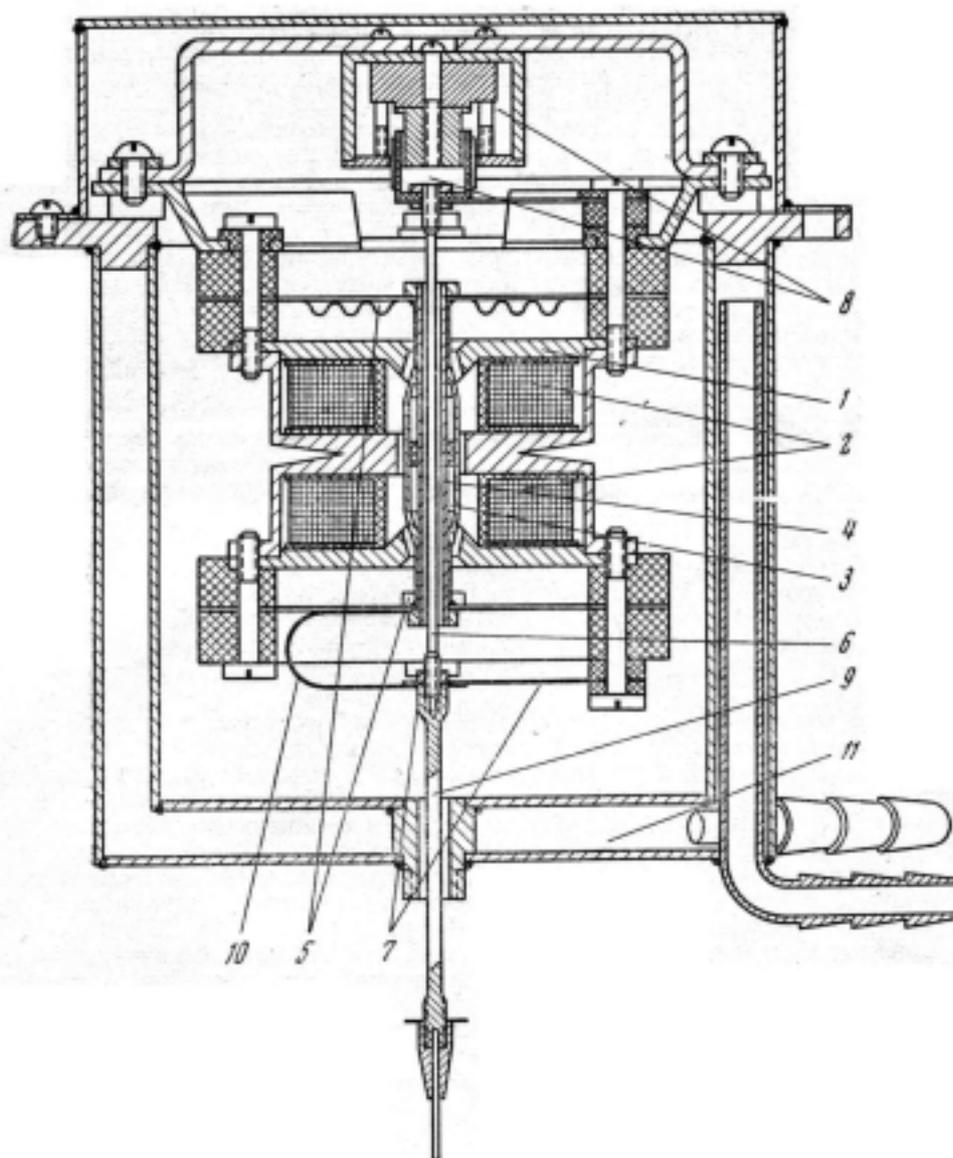


Рис. 1

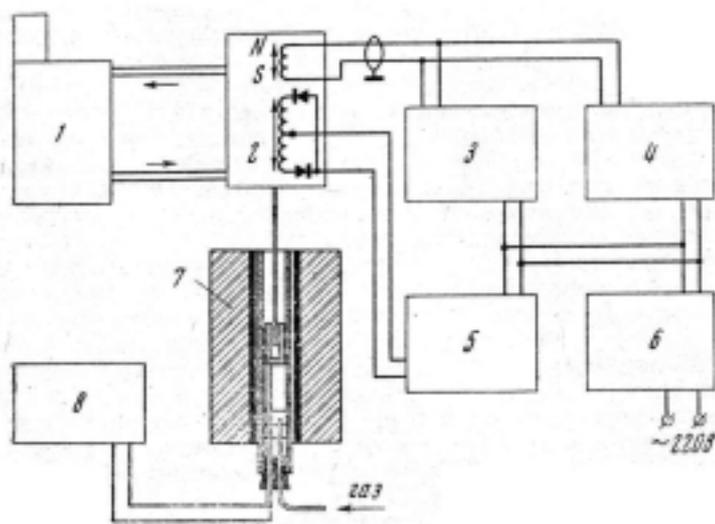


Рис. 2

Корпус-экран имеет двойные стенки, между которыми вваривают два штуцера для подвода и отвода циркулирующей воды ( $20 \pm 0,5^\circ \text{C}$ ), подаваемой из термостата 1 типа ТС-16 м (рис. 2). Корпус вискозиметра закрепляют в головке специальной стойки. Головка с помощью зубчатой передачи может перемещаться по вертикали на фиксированное расстояние.

Экранировка вибрационной системы позволяет измерять вязкость окисных расплавов без выключения печи сопротивления с графитовым трубчатым нагревателем. Термостатирование же позволяет сохранить постоянными как механические характеристики пружин подвески, так и электромагнитные параметры вибратора и стабилизировать таким образом резонансную частоту всей вибрационной системы прибора.

Катушки 2 вибратора (рис. 1) включают по дифференциальной схеме; на них подают синусоидальное напряжение от звукового генератора через полупроводниковые диоды, которые включают так, что на одну катушку подается положительный полупериод напряжения, а на другую — отрицательный. Поэтому якорь вибратора и шпindel колеблются с частотой, задаваемой звуковым генератором. Вибратор вискозиметра 2 (рис. 2) питается напряжением 20 В, частотой 30 гц. Эту частоту подбирают таким образом, чтобы напряжение датчика амплитуды при свободных колебаниях шпинделя (двойная амплитуда 5 мм) составляло 300 мВ. Опыт эксплуатации прибора показал, что наиболее стабильная его работа обеспечивается при частоте, несколько меньшей, чем резонансная, когда э.д.с. датчика амплитуды при вынужденных колебаниях системы шпинделя меньше 95% от таковой для колебаний на резонансной частоте.

Отличительной особенностью данной вибрационной системы, таким образом, является соединение якоря вибратора и системы шпинделя упругой связью 10. Применение такой связи (пружина с относительно малой жесткостью) позволило резко уменьшить массу, а, следовательно, и инерционность системы шпинделя и значительно увеличить амплитуду его колебаний (двойная амплитуда колебаний шпинделя 5 мм при двойной амплитуде колебаний вибратора 2 мм). Благодаря этим особенностям вискозиметр обладает высокой чувствительностью, широким диапазоном измерений (0,03—250 пз), а с применением термостатирования и экранизации вибрационной системы — большой стабильностью работы.

Напряжение, снимаемое с магнитоэлектрического датчика амплитуды (пропорциональное амплитуде колебаний системы шпинделя), измеряют двумя ламповыми милливольтметрами: Ф534-5 и МВЛ-3 4, показанными на блок-схеме вискозиметрической установки (рис. 2). Применение двух ламповых милливольтметров обусловлено измерением вязкости в двух диапазонах: от 0,03 до 10 пз — Ф534, а от 10 до 250 пз — МВЛ-3. Звуковой генератор 5 и ламповые милливольтметры 3 и 4 питаются от стабилизатора 6 П-71М (см. рис. 2).

В качестве калибровочной жидкости выбрали раствор канифоли (30 масс.%) в касторовом масле, помещаемый в стеклянный цилиндр внутренним диаметром 30 мм и длиной 300 мм с водяной рубашкой. Температуру калибровочного состава задавали термостатом ТС-16М. Раствор выдерживали при заданной температуре в течение 10 мин. (для стабилизации структуры раствора) и затем измеряли вязкость по методу Стокса (по скорости падения шарика известного диаметра). Затем опускали в раствор на  $20 \pm 0,3$  мм нижний конец шпинделя вискозиметра и фиксировали э.д.с. датчика амплитуды, характеризующую степень уменьшения амплитуды колебания шпинделя в данной среде. На указанном растворе прибор калибровали от 10 до 250 пз. Калибровку же вискозиметра от 0,03 до 10 пз производили на нескольких растворах касторового масла в изобутиловом спирте. Погрешность самого вискозиметра не больше  $\pm 0,5$ —1%. При работе с окисными расплавами в интервале  $700$ — $1900^\circ \text{C}$  общая погрешность вискозиметра увеличивается и может быть  $\pm 3$ —5% (из-за дополнительных погрешностей в калибровке прибора и погрешностей в измерении и стабилизации температуры расплава).

Исследуемые окисные расплавы наплавляют предварительно в тиглях из молибдена или двуокиси циркония (высотой не менее 30 мм и диаметром не менее 10 мм) и выдерживают при заданной температуре в токе аргона до полного обезгаживания. Тигли с расплавом помещают

на колпачке термопары в корундовой защитной трубе в печи сопротивления 7 с трубчатым графитовым нагревателем (рис. 2). Корундовую защитную трубку снизу закрывают резиновой пробкой, через которую пропускают термопарный колпачок и трубу для подвода инертного газа. Пробку защищают от теплового излучения тремя молибденовыми экранами и обдувают снаружи вентилятором; термо-э.д.с. WRe 5/20 термопары измеряют потенциометром 8 ПП-63.

В заключение следует отметить, что измерение вязкости окисных расплавов с помощью описанной методики следует производить только в токе инертных газов, поскольку все остальные газы, как показано в [3], могут оказывать значительное влияние на результаты измерений. Описанная методика может быть применена и для изучения влияния различных газов на вязкость окисных расплавов.

*Донецкий физико-технический институт АН УССР*

*Поступила 24.VII.1970*

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. *Б. В. Линчевский, Техника металлургического эксперимента, «Металлургия», М., 1967, стр. 239.*
2. *С. В. Михайликов, С. В. Штенгельмейер, Г. С. Ершов, Изв. АН СССР. Металлургия и горное дело, № 1, 1964.*
3. *А. М. Коваленко, И. А. Новохатский, Г. С. Ершов, А. К. Петров, Изв. АН СССР. Металлы, № 6, 1969.*