

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** **2 299 425** <sup>(11)</sup> <sup>(13)</sup> **C1**

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,  
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ  
(51) МПК  
[G01N 27/00 \(2006.01\)](#)

**(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ**

Статус: не действует (последнее изменение статуса: 17.12.2010)

(21)(22) Заявка: [2005138259/28](#), 08.12.2005(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
08.12.2005(45) Опубликовано: [20.05.2007](#) Бюл. № 14

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: Г.В.Тягунов и др. Измерение удельного электросопротивления методом вращающегося магнитного поля. Ж. "Заводская лаборатория". Диагностика материалов. - М., 2003, №2, т.69, с.35-37. RU 2165089 С2, 10.01.2001. US 4755744 А, 05.07.1988. DE 3628015 А, 26.02.1987. Филиппов С.И. и др. Физикохимические методы исследования металлургических процессов. - М.: Металлургия, 1968, с.299.

Адрес для переписки:

620002, г.Екатеринбург, ул. Мира, 19, ГОУ  
ВПО "УГТУ-УПИ", Центр  
интеллектуальной собственности, Н.П.  
Невраевой

(72) Автор(ы):

**Поводатор Аркадий Моисеевич (RU),  
Вьюхин Владимир Викторович (RU),  
Цепелев Владимир Степанович (RU),  
Тягунов Андрей Геннадьевич (RU)**

(73) Патентообладатель(и):

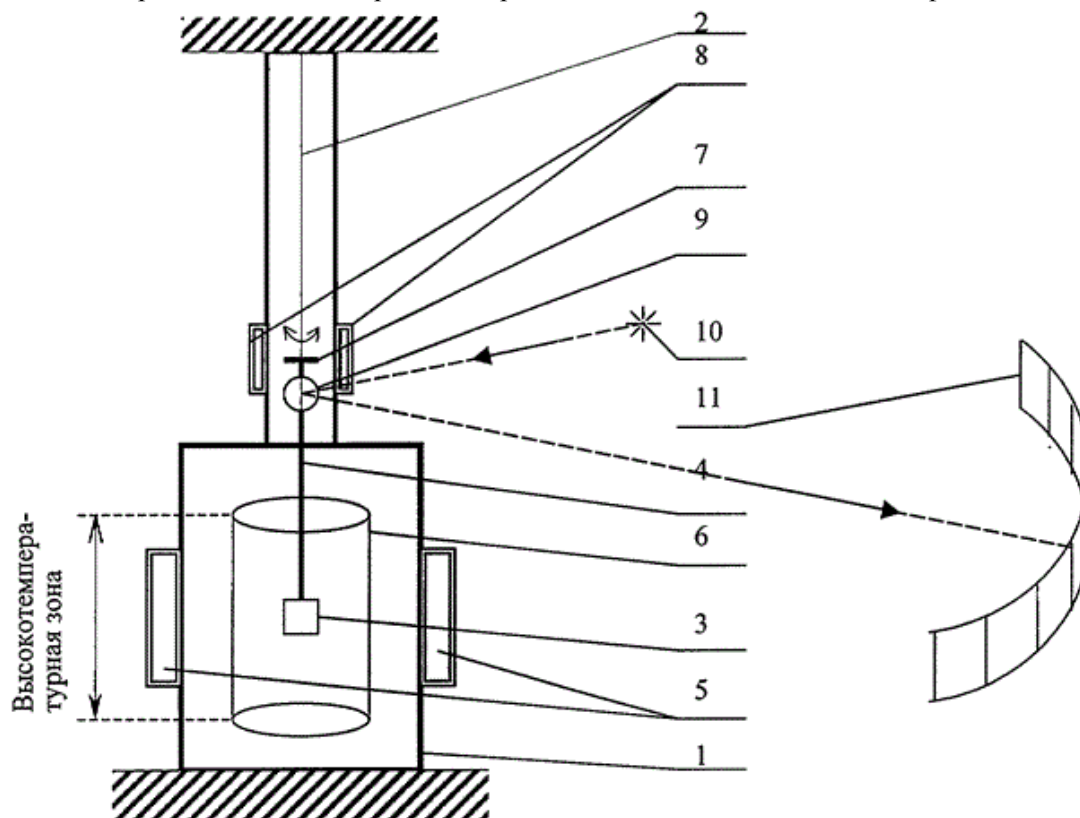
**Государственное образовательное  
учреждение высшего профессионального  
образования "Уральский государственный  
технический университет-УПИ" (RU)**

**(54) СПОСОБ ДЛЯ БЕСКОНТАКТНОГО ИЗМЕРЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО  
СОПРОТИВЛЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО ТВЕРДОГО ОБРАЗЦА ИЛИ ЕГО РАСПЛАВА  
МЕТОДОМ ВРАЩАЮЩЕГОСЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ И УСТРОЙСТВО ДЛЯ ЕГО  
ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ**

(57) Реферат:

Изобретение относится к области приборостроения, а именно к приборам для исследования материалов на основе бесконтактного определения электрического сопротивления нагреваемого тела в зависимости от температуры. Технический результат - повышение точности измерения. Для достижения данного результата перед измерением угла поворота исследуемого образца осуществляют гашение собственных колебаний подвески. При этом устройство содержит вакуумную печь, в зоне нагрева которой на подвеске закреплен тигель для размещения в нем металлического твердого образца или его расплава. Тигель соединен с упругой частью подвески посредством керамического стержня с зафиксированным в верхней

части керамического стержня зеркалом. 2 н. и 1 з.п. ф-лы, 6 ил.



Фиг. 1

Изобретение относится к физике, а именно - к анализу материалов путем бесконтактного определения электрического сопротивления нагреваемого тела в зависимости от температуры, в частности - к определению относительной электропроводности металлов и сплавов в жидком и/или твердом состоянии.

Известен способ бесконтактного измерения электропроводности жидких металлов по разбалансу моста, одним из плеч которого является контур из молибденовой проволоки с помещаемым внутри него образцом. При нагреве образца меняется его сопротивление и появляется разбаланс контура, который выделяется соответствующей схемой.

Недостатком способа является невысокая точность из-за изменений параметров контура при нагреве и деформации молибденовой проволоки (Филиппов С.И. и др. Физикохимические методы исследования металлургических процессов. М.: Металлургия, 1968 г., с.299).

Известно устройство для измерения индуктивности контура, предназначенное для высокотемпературных измерений до 1600°C в твердой и жидкой фазах оксидов и солей в тиглях (Патент РФ № 2165089, МПК G01R 21/26, опубл. 10.04.2001). Устройство содержит тигель с расплавом оксидов и солей и платиновые электроды, погружаемые в расплав.

Недостатком устройства является контактный способ с погружением платиновых электродов непосредственно в измеряемую среду и недостаточный для металлов и сплавов температурный диапазон.

Наиболее близким к предлагаемому изобретению по технической сущности и достигаемому результату является способ бесконтактного измерения удельного электросопротивления металлов и сплавов в жидком и/или твердом состоянии методом вращающегося магнитного поля. (Г.В.Тягунов и др. Измерение удельного электросопротивления методом вращающегося магнитного поля. Ж. Заводская лаборатория. Диагностика материалов. М., 2003, № 2, том.69, с.35-37), заключающийся в том, что тигель с измеряемым образцом или эталоном подвешивается на упругой, например, нихромовой, нити внутри вакуумной печи сопротивления во вращающееся постоянное магнитное поле, создаваемое тремя парами катушек, питающихся от трехфазной силовой сети 50 Гц, при этом индукционные токи в образце создают магнитный момент. Образец взаимодействует с внешним магнитным полем, создается вращательный механический момент, которому противодействует упругость нити. Угол поворота образца при этом функционально связан с электросопротивлением, амплитудой и частотой магнитного поля и с

коэффициентом упругости нити. При фиксированном значении параметров магнитного поля и нити, а также геометрии, массы и плотности эталонного и изучаемого образца электросопротивление однозначно связано с углом отклонения (или закручивания) как эталона, так и образца, который определяется визуально по отклонению отраженного светового луча на радиальной или линейной шкале. Таким образом, изменение электросопротивления при изменении температуры расплава однозначно определяется величинами отклонений отраженного светового луча.

Наиболее близким к предлагаемому изобретению по технической сущности и достигаемому результату по технической сущности и достигаемому результату является устройство для бесконтактного измерения удельного сопротивления методом вращающегося магнитного поля. (Г.В.Тягунов и др. Измерение удельного электросопротивления методом вращающегося магнитного поля. Ж. Заводская лаборатория. Диагностика материалов. М., 2003, № 2, том.69, с.35-37), содержащее вакуумную печь, в зоне нагрева которой на подвеске закреплен тигель для размещения в нем исследуемого металлического твердого образца или его расплава, соединенный с упругой частью подвески с помощью керамического стержня, с зафиксированным на верхней части керамического стержня зеркалом, и источник вращающегося постоянного магнитного поля, магнитная система которого размещена вокруг вакуумной печи.

Недостатком этих способа и устройства является длительное - порядка десяти минут, затухание колебаний упругой нити и достижение установившегося значения угла отклонения при периоде собственных колебаний всей подвесной системы около 7-10 секунд. Это затрудняет отсчет углов отклонения при высокой крутизне изменения электросопротивления на некоторых участках изменения температуры и ведет к пропуску ряда точек измерения - невысокое быстродействие измерений ведет к уменьшению точности построения кривой зависимости электросопротивления расплава от температуры.

Задачей предлагаемого изобретения является повышение быстродействия и в результате - повышение точности измерений в условиях быстроменяющейся величины электрического сопротивления расплава при изменениях температуры.

Для решения поставленной задачи предлагаются способ и устройство для бесконтактного измерения электрического сопротивления высокотемпературных металлических расплавов методом вращающегося магнитного поля.

В способе бесконтактного измерения электрического сопротивления металлического твердого образца или его расплава методом вращающегося постоянного магнитного поля, при котором определяют угол поворота исследуемого металлического твердого образца или его расплава, расположенного на конце подвески во вращающемся постоянном магнитном поле, создаваемом основным магнитным узлом, размещенным в зоне нагрева исследуемого металлического твердого образца или его расплава, предлагается перед измерением угла поворота исследуемого металлического твердого образца или его расплава осуществлять гашение собственных колебаний подвески временным воздействием на подвеску тормозящего магнитного поля, создаваемого дополнительным магнитным узлом, расположенным вне зоны нагрева исследуемого металлического твердого образца или его расплава и вне зоны действия вращающегося постоянного магнитного поля.

В устройстве для бесконтактного измерения электрического сопротивления металлического твердого образца или его расплава методом вращающегося постоянного магнитного поля, включающее вакуумную печь, в зоне нагрева которой на упругой подвеске закреплен тигель для размещения в нем исследуемого металлического твердого образца или его расплава, соединенный с упругой частью подвески с помощью керамического стержня с зафиксированным на верхней части керамического стержня зеркалом, и основной источник вращающегося постоянного магнитного поля, магнитная система которого расположена вокруг вакуумной печи, введены жестко зафиксированный относительно керамического стержня магнитный элемент и дополнительный источник невращающегося постоянного магнитного поля или дополнительный источник вращающегося магнитного поля с частотой вращения, по крайней мере, на порядок отличной от частоты собственных колебаний подвески с тиглем, магнитная система дополнительного источника расположена вокруг магнитного элемента, причем магнитная система дополнительного источника и магнитный элемент размещены вне зоны нагрева металлического твердого образца или его расплава, а также вне зоны действия вращающегося постоянного магнитного поля основного источника.

При этом источник дополнительного магнитного поля через регулятор тока и выключатель может быть соединен с отдельным источником электропитания.

Отличительные признаки предложенных технических решений - способа и устройства, обеспечивают возможность отсчета углов поворота исследуемого образца при высокоградиентных изменениях электросопротивления от температуры примерно на порядок чаще, что увеличивает быстродействие и в конечном итоге - достоверность и точность измерения электросопротивления металлического твердого образца или его расплава.

Предлагаемое изобретение поясняется чертежами, на которых изображены:

фиг.1. Блок - схема измерительного комплекса;

фиг.2. Форма колебаний отраженного светового луча, отражающая угол поворота подвески с образцом.

фиг.3. Форма колебаний отраженного светового луча при использовании дополнительного магнитного поля для торможения подвески (момент включения 16 и выключения 17 дополнительного магнитного поля).

фиг.4. Экспериментальные зависимости электросопротивления образцов от температуры: а - сплав  $Ni_3Al$ ; б - сталь 72Х2ГСАФ.

фиг.5. Временная динамика экспериментов (дополнительное магнитное поле отсутствует): изменение удельного электросопротивления в ходе изотермической выдержки при различных температурах для сплава  $Ni_3Al$ . Приведены времена релаксации, соответствующие каждой температуре выдержки.

фиг.6. Временная динамика эксперимента (использовалось дополнительное магнитное поле): изменение удельного электросопротивления в ходе изотермической выдержки при температуре  $1560^{\circ}C$  стали марки 17Г1С.

Устройство для бесконтактного измерения сопротивления металлического твердого образца или его расплава содержит вакуумную печь 1, в зоне нагрева которой на подвеске 2 коаксиально подвешен тигель 3 для размещения в нем исследуемого образца, соединенный с упругой частью подвески 2 с помощью керамического стержня 4. Основным источником 5 вращающегося постоянного магнитного поля, магнитная система которого расположена вокруг вакуумной печи 1, расположен в области высокотемпературной зоны, создаваемой коаксиальным цилиндрическим нагревателем 6, питающимся от трехфазной силовой сети (на фиг.1 не показано). На верхнем конце керамического стержня 4 жестко зафиксирован магнитный элемент 7, например, выполненный в виде стержня или цилиндра. Дополнительный источник 8 магнитного поля, магнитная система которого расположена вокруг магнитного элемента 7, размещен вне зоны нагрева тигля 3 для размещения в нем исследуемого металлического твердого образца или его расплава и действия вращающегося постоянного магнитного поля основного источника 5. Оптическое измерительное устройство состоит из зеркала 9, закрепленного на верхнем конце керамического стержня 4, источника света 10 и измерительной шкалы - линейки 11.

В качестве упругой части подвески 2 используется нихромовая нить длиной около 650 и диаметром 0,08 мм. Объем исследуемого металлического твердого образца или его расплава в тигле 3 составляет 0,5 см куб., масса магнитного элемента 7, выполненного из ферромагнетика, например стали, в виде, например, цилиндрического тела или стержня, меньше или равна массе тигля 3 с размещенным в нем металлическим твердым образцом или его расплавам. Магнитная система основного источника 5 вращающегося постоянного магнитного поля выполнена в виде парных катушек трехфазной системы, аналогично статору трехфазного электродвигателя переменного тока промышленной частоты с суммарной потребляемой мощностью, примерно, 650 Вт и запитана от трехфазного стабилизатора питания (на схеме не показан) через трехфазный трехпозиционный переключатель направления вращения магнитного поля с разрывом электрической цепи в среднем положении (на схеме не показан). Магнитная система дополнительного источника 8 магнитного поля выполнена в виде статора однофазного электродвигателя, например, постоянного тока с потребляемой мощностью, примерно, 70 мВт, соединенного через регулятор тока и выключатель с отдельным стабилизированным источником питания (на схеме не показаны). Этот источник питания может быть выполнен как в виде источника постоянного тока, так и в виде источника переменного тока с частотой, по крайней мере, на порядок отличающейся от частоты колебаний системы "упругая подвеска 2 - исследуемый металлический твердый образец или его расплав в тигле 3", например - 1 кГц, причем вариант с постоянным током предпочтителен. Коаксиальный цилиндрический нагреватель 6, выполненный из тугоплавкого немагнитного металла, например, молибдена, и обеспечивающий изотермическую зону, включен постоянно в течение всего эксперимента. Зеркало 9 имеет площадь 1 см кв., свет попадает на него от источника света 10, например лампы накаливания, через окно-иллюминатор (на схеме

не показано) и отражается на полупрозрачную оптическую шкалу - линейку 11 с ценой деления 1 мм и размером 500 мм (с нулем шкалы посередине).

Известно, что момент сил  $M$ , действующих на тигель 3 с исследуемым металлическим твердым образцом или его расплавом с удельной электропроводностью  $1/\rho$  в однородном поле напряженностью  $H$  пропорционален частоте  $f$ , квадрату напряженности поля  $H$  и удельной электропроводности. Филиппов С.И. и др. Физикохимические методы исследования металлургических процессов., М.: Металлургия, 1968, с.300, формула XX-20). Иными словами, момент закручивания упругой нити на данный угол при стабилизированных параметрах тока в катушках и, следовательно, магнитного поля, однозначно связан с электропроводностью или электросопротивлением образца. Известна расчетная формула для вычисления удельного электросопротивления  $\rho$  (Г.В.Тягунов и др. Измерение удельного электросопротивления методом вращающегося магнитного поля. Ж. Заводская лаборатория. Диагностика материалов. М., 2003, №2, том.69, с.36, формула 1):

$$\rho = \rho_0 \left( \frac{m d_0}{m_0 d} \right)^{1,76} \left( \frac{\Phi_0 / I_0^2}{\Phi / I^2} \right), \quad (1)$$

где  $m$ ,  $m_0$  - массы исследуемого и эталонного образцов соответственно;

$d$ ,  $d_0$  - плотности исследуемого и эталонного образцов соответственно;

$\rho_0$  - удельное электросопротивление эталона;

$\phi$ ,  $\phi_0$  - углы закручивания исследуемого и эталонного образцов соответственно,

(отклонения отраженного светового луча на шкале 11);

$I$ ,  $I_0$  - ток, проходящий по катушкам основного источника 5 вращающегося

постоянного магнитного поля при исследовании образца и эталона соответственно.

Измерение удельного электросопротивления на предлагаемой установке осуществляется следующим образом: подготавливаются равноразмерные эталонный и изучаемый образцы, у которых определяют массу и плотность. Затем проводятся два одинаковых эксперимента - градуировочный, с эталоном, например с монокристаллом вольфрама с известными электросопротивлением и плотностью, а после - с измеряемым образцом. Эталонный образец в тигле 3 подвешивается в вакуумную печь 1 в район высокотемпературной изотермической зоны, включается оптическая измерительная система и отраженный световой луч от зеркала 9 устанавливается котирующим механизмом на середину оптической шкалы 11. Затем создается вакуум до 0,01 Па, после чего производится нагрев изотермической зоны коаксиальным цилиндрическим нагревателем 6 до температуры, с которой начинается процесс снятия данных для измерений. При прогреве до нужной температуры включается основной источник 5 вращающегося постоянного магнитного поля, например, с частотой силовой сети 50 Гц. Постоянство величины магнитного поля обеспечивается стабилизацией тока, питающего магнитную систему источника 5 вращающегося постоянного магнитного поля.

Форма колебательной траектории 12, описываемой отраженным световым лучом во время измерений при вращательных колебаниях подвески 2 с тиглем 3 для размещения в нем исследуемого металлического твердого образца или его расплава, от момента включения основного источника 5 вращающегося постоянного магнитного поля до установления стационарного значения угла поворота подвески 2 с тиглем 3 без включения отдельного дополнительного источника 8 магнитного поля приведена на фиг.2. Из нее видно, что собственные колебания имеют период  $T=7$  сек., а затухают достаточно долго - порядка 10 мин. Поэтому стандартная процедура определения угла поворота требовала определенного навыка и состояла в определении нескольких экстремумов колебаний, например два максимума (13 и 14) и один минимум (15), соответствующие первому, третьему и второму углу отклонения отраженного светового луча на шкале 11, после чего определяли усреднением величину угла, примерно равную установившемуся через 10 минут конечному значению  $\phi_k$ . Политермы, полученные этим способом, показаны на фиг.4. Временная динамика эксперимента без дополнительного магнитного поля приводится на фиг.5. Все эти данные получены на установке, описанной как прототип.

Для повышения быстродействия и в результате - повышения точности измерений в условиях быстроменяющейся величины электрического сопротивления расплава при изменениях температуры, после включения источника 5 постоянного вращающегося магнитного поля включают выключателем, например кнопкой, дополнительный источник 8 магнитного поля в момент нахождения отраженного светового луча в одном из первых экстремумов (например, точки 13 или 14 или 15 на фиг.2) на шкале

11 и удерживают эту кнопку, наблюдая за лучом, до тех пор, пока отраженный световой луч приблизится к положению, близкому к предполагаемому конечному значению  $\phi_k$ , после чего кнопку отпускают и дополнительный источник 8 магнитного поля выключается. В случае "проскока" предполагаемого конечного значения процедура повторяется. При работе на небольших углах отклонения необходима меньшая величина тока питания дополнительного источника 8 магнитного поля, для чего служит регулятор тока (на схеме не показан).

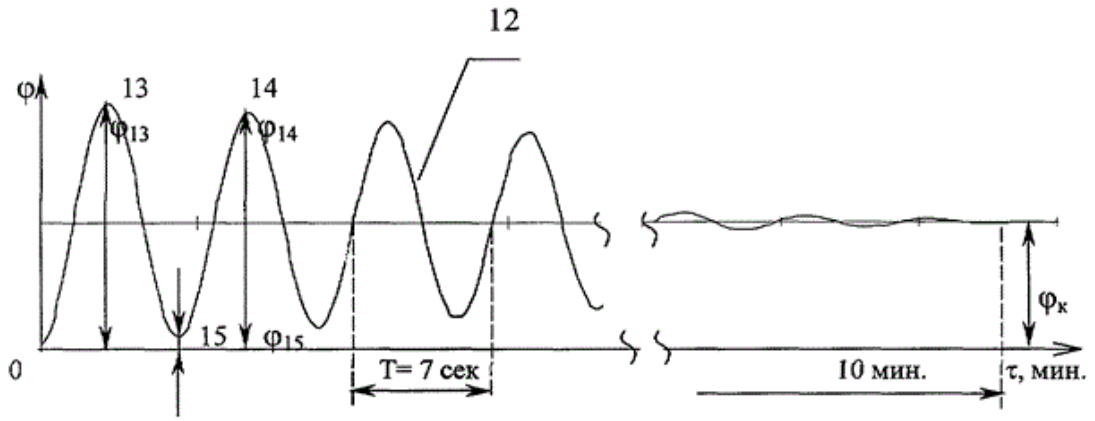
Включение дополнительного источника 8 магнитного поля позволяет на порядок сократить время измерения угла поворота подвески 2 с тиглем 3 для размещения в нем исследуемого металлического твердого образца или его расплава, позволяет повысить быстродействие и в результате - повысить точность измерений в условиях быстроменяющейся величины электрического сопротивления расплава при изменениях температуры, причем сокращается общая продолжительность эксперимента. Пример формы колебаний отраженного светового луча при использовании дополнительного магнитного поля показан на фиг.3, а временная динамика эксперимента проиллюстрирована фиг.6, из которой видно увеличение количества точек измерения в несколько раз. Эти результаты, полученные на установке, приведенной на фиг.1, подтверждают реализацию поставленной задачи - повышение точности измерений при увеличении быстродействия.

#### Формула изобретения

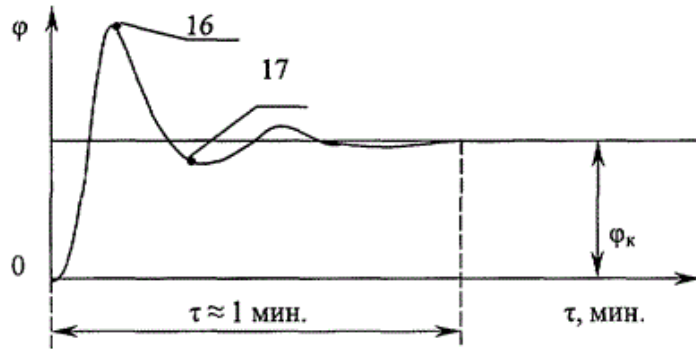
1. Способ бесконтактного измерения электрического сопротивления металлического твердого образца или его расплава методом вращающегося постоянного магнитного поля, при котором определяют угол поворота исследуемого образца, расположенного на конце подвески во вращающемся постоянном магнитном поле, создаваемом основным магнитным узлом, размещенным в зоне нагрева исследуемого образца, отличающийся тем, что перед измерением угла поворота исследуемого образца осуществляют гашение собственных колебаний подвески воздействием на подвеску временного тормозящего магнитного поля, создаваемого дополнительным магнитным узлом, расположенным вне зоны нагрева исследуемого образца и вне зоны действия вращающегося постоянного магнитного поля.

2. Устройство для бесконтактного измерения электрического сопротивления металлического твердого образца или его расплава методом вращающегося постоянного магнитного поля, включающее вакуумную печь, в зоне нагрева которой на подвеске закреплен тигель для размещения в нем металлического твердого образца или его расплава, соединенный с упругой частью подвески посредством керамического стержня с зафиксированным в верхней части керамического стержня зеркалом, и основной источник вращающегося постоянного магнитного поля, магнитная система которого расположена вокруг вакуумной печи, отличающееся тем, что в него введены жестко зафиксированный относительно керамического стержня магнитный элемент и дополнительный источник невращающегося постоянного магнитного поля или дополнительный источник вращающегося магнитного поля с частотой вращения, по крайней мере, на порядок отличной от частоты собственных колебаний подвески с тиглем для размещения в нем металлического твердого образца или его расплава, магнитная система дополнительного источника магнитного поля расположена вокруг магнитного элемента, причем магнитная система дополнительного источника магнитного поля и магнитный элемент размещены вне зоны нагрева, а также вне зоны действия вращающегося постоянного магнитного поля основного источника.

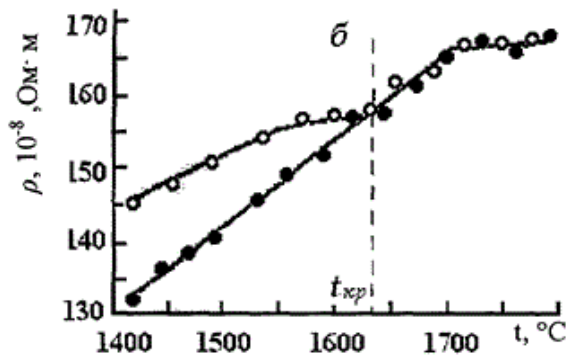
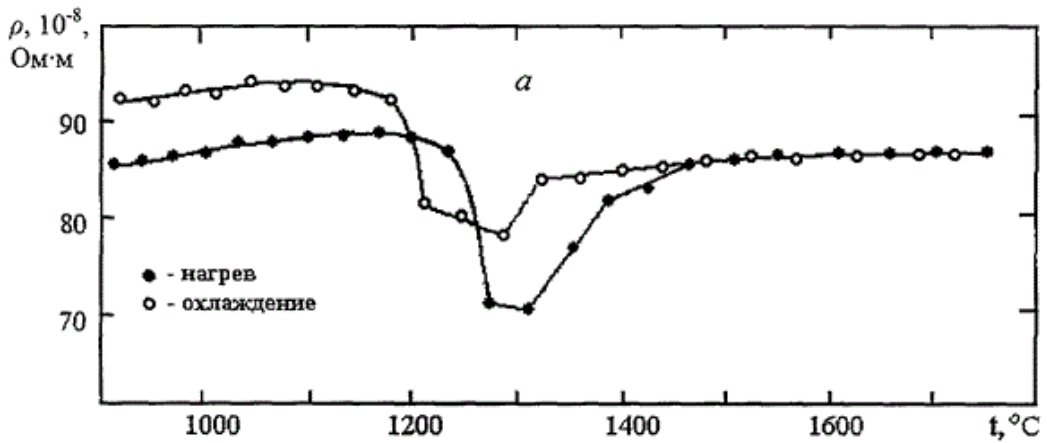
3. Устройство по п.2, отличающееся тем, что дополнительный источник магнитного поля соединен с отдельным источником электропитания через регулятор тока и выключатель.



Фиг. 2

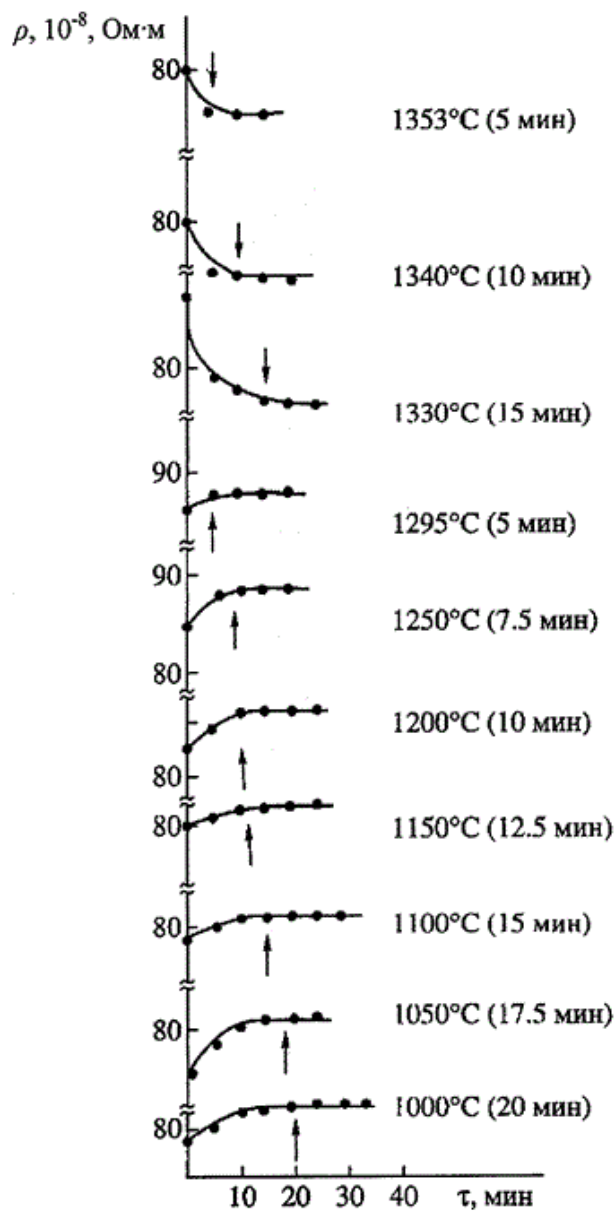


Фиг. 3

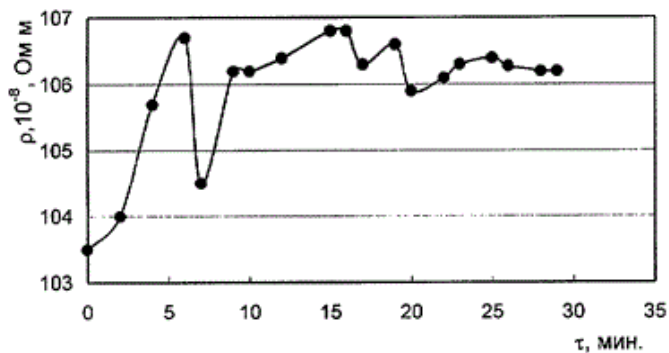


Фиг. 4





Фиг. 5



Фиг. 6

## ИЗВЕЩЕНИЯ

**ММ4А - Досрочное прекращение действия патента СССР или патента Российской Федерации на изобретение из-за неуплаты в установленный срок пошлины за поддержание патента в силе**

(21) Регистрационный номер заявки: [2005138259](#)

Дата прекращения действия патента: 09.12.2007

Извещение опубликовано: [10.11.2009](#) БИ: 31/2009



