



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2013120195/06, 06.05.2013

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
06.05.2013

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 06.05.2013

(43) Дата публикации заявки: 20.11.2014 Бюл. № 32

(45) Опубликовано: 20.01.2015 Бюл. № 2

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: SU 969956 A1, 30.10.1982 . RU 2458002 C2, 10.08.2012 . SU 1134776 A1, 15.01.1985 . EP 1612416 B1, 06.08.2008

Адрес для переписки:

125009, Москва, ул. Моховая, 11, стр. 7, Институт радиотехники и электроники им.В.А.Котельникова

(72) Автор(ы):

Каманцев Александр Павлович (RU),
Жихарев Алексей Михайлович (RU),
Коледов Виктор Викторович (RU),
Морозов Евгений Вячеславович (RU),
Фон Гратовски Светлана Вячеславовна (RU),
Антонов Роман Андреевич (RU),
Шавров Владимир Григорьевич (RU),
Шеляков Александр Васильевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН Российской академии наук (RU)

(54) АКТЮАТОР НА ОСНОВЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО МАТЕРИАЛА

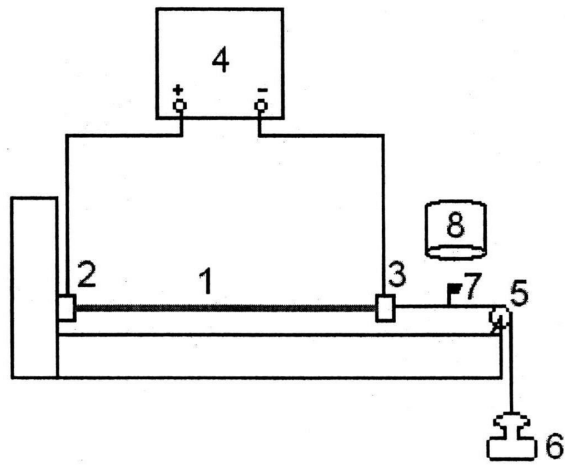
(57) Реферат:

Изобретение относится к области приборостроения, механики и технике исполнительных элементов на основе функциональных материалов, изменяющих свои форму и размеры под воздействием различных физических полей. Актюатор на основе функционального материала содержит активный элемент, выполненный из функционального материала, механически соединенный с упругим элементом, систему электродов, соединенных с

активным элементом, источник электропитания, подсоединенный к системе электродов для контроля актюатора. В качестве функционального материала выбран аморфный металл или сплав. Технический результат заключается в повышении эффективности актюатора, в частности в повышении его быстродействия и выходной механической мощности, а также в повышении надежности и технологичности. 2 з.п. ф-лы, 5 ил.

RU 2 539 605 C 2

RU 2 539 605 C 2



Фиг. 1

R U 2 5 3 9 6 0 5 C 2

R U 2 5 3 9 6 0 5 C 2



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) ABSTRACT OF INVENTION

(21)(22) Application: 2013120195/06, 06.05.2013

(24) Effective date for property rights:
06.05.2013

Priority:

(22) Date of filing: 06.05.2013

(43) Application published: 20.11.2014 Bull. № 32

(45) Date of publication: 20.01.2015 Bull. № 2

Mail address:

125009, Moskva, ul. Mokhovaja, 11, str. 7, Institut radiotekhniki i ehlektroniki im.V.A.Kotel'nikova

(72) Inventor(s):

Kamantsev Aleksandr Pavlovich (RU),
Zhikharev Aleksej Mikhajlovich (RU),
Koledov Viktor Viktorovich (RU),
Morozov Evgenij Vjacheslavovich (RU),
Fon Gratovski Svetlana Vjacheslavovna (RU),
Antonov Roman Andreevich (RU),
Shavrov Vladimir Grigor'evich (RU),
Sheljakov Aleksandr Vasil'evich (RU)

(73) Proprietor(s):

Federal'noe gosudarstvennoe bjudzhetnoe uchrezhdenie nauki Institut radiotekhniki i ehlektroniki im. V.A. Kotel'nikova RAN Rossijskoj akademii nauk (RU)

(54) ACTUATOR BASED ON FUNCTIONAL MATERIAL

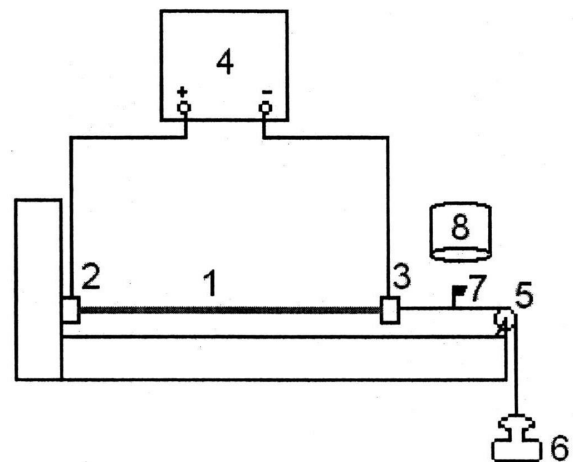
(57) Abstract:

FIELD: machine building.

SUBSTANCE: invention relates to device engineering, mechanics and technique of the actuators based on functional materials changing shape and dimensions under action of various physical fields. The actuator based on the functional material contains active element out of the functional material mechanically linked with the resilient element, electrodes system connected with active element, power source connected to electrodes system to control the actuator. The amorphous metal or alloy is selected as functional material.

EFFECT: increasing of the actuator efficiency, in particular increasing of its response speed and output mechanical power, as well as increasing of the reliability and produceability.

3 cl, 5 dwg



Фиг. 1

RU 2 539 605 C 2

RU 2 539 605 C 2

Изобретение относится к области приборостроения, механики и технике исполнительных элементов на основе функциональных материалов, изменяющих свою форму и размеры под воздействием различных физических полей, например электрического, магнитного, теплового, и может найти применение в машиностроении, приборостроении, микромеханике, в технологии датчиков для испытания технических систем и др.

Известен аналог (Панич А.Е., Пьезокерамические актюаторы. Ростов 2008 г. С.153.) [1] предлагаемого технического решения - актюатор на основе функционального материала, в качестве которого использован пьезокерамический элемент, способный испытывать деформацию при приложении электрического поля, система электродов и источник электрического напряжения, подключенный к системе электродов, для управления деформацией актюатора.

Недостатками актюатора согласно аналогу [1] являются низкая технологичность и эффективность вследствие недостаточной деформации за счет воздействия электрического поля на функциональный материал - пьезоэлектрическую керамику (типичное значение относительной деформации - 10^{-4}) и низкая блокирующая сила, под которой понимается максимальное механическое напряжение, которое развивает актюатор при электроиндуцированной деформации, и, как следствие, малая производимая механическая мощность, низкая надежность вследствие хрупкости керамики.

Прототипом предлагаемого технического решения, то есть наиболее близким по конструкции актюатором на основе функционального материала, является актюатор, описанный в работе (А.И. Полетучий. Тепловой двигатель. А.С. СССР №969956, МКИ³ F03G 7/02. Опубл. 30.10.82, Бюл. №40) [2]. В этой работе описан актюатор на основе активного элемента, выполненного из функционального материала - сплава TiNi с эффектом памяти формы (ЭПФ), соединенного механически с упругим элементом, системы электродов, подсоединенных к активному элементу, и источника электрического напряжения, подсоединенного к системе электродов. Работа актюатора согласно прототипу основана на том, что необходимое для совершения актюатором какого-либо механического действия, например замыкания контактов или срабатывания клапана, возбуждение в активном элементе из сплава с ЭПФ создается в результате нагрева Джоулевым теплом пропускаемого через него электрического тока и механического напряжения, развиваемого упругим элементом. Подробное описание физической природы явления термоупругого мартенситного перехода и ЭПФ в сплавах семейства TiNi дано, например, в книге (А.Г. Хунджуа. Введение в структурную физику сплавов с эффектом памяти формы. МГУ, 1991) [3].

Недостатком прототипа является низкое быстродействие, обусловленное тем, что псевдопластическая деформация функционального сплава с ЭПФ требует преодоление как времени тепловой инерции, так и характерного времени протекания мартенситного перехода. Кроме того, низкая максимальная производимая механическая мощность, которая есть следствие малого быстродействия, также относится к недостаткам прототипа.

Цель предлагаемого изобретения заключается в повышении эффективности актюатора, в частности в повышении его быстродействия и повышении выходной механической мощности, а также в повышении надежности и технологичности и в упрощении массового производства.

Поставленные цели достигаются тем, что в актюаторе на основе функционального материала, включающем активный элемент, выполненный из функционального

материала, механически соединенный с упругим элементом, систему электродов, соединенных с активным элементом, источник электропитания, подсоединенный к системе электродов для контроля актюатора, согласно изобретению в качестве функционального материала выбран аморфный металл или сплав.

5 Поставленные цели достигаются также тем, что в актюаторе на основе функционального материала, согласно изобретению, активный элемент, выполненный из функционального материала, заключен в объем, обеспечивающий охлаждение элемента потоком жидкости или газа.

10 Поставленные цели достигаются также тем, что в актюаторе на основе функционального материала, согласно изобретению, активный элемент выполнен из аморфного быстрозакаленного сплава Ti_2NiCu в виде ленты.

15 Новым в предложенном техническом решении, по сравнению с известным, является то, что впервые в качестве функционального материала, изменяющего свои размеры под воздействием теплового поля, создаваемого Джоулевым теплом тока, протекающего через активный элемент, используется сплав в аморфном состоянии, например, Ti_2NiCu . Хотя традиционно сплав Ti_2NiCu в технологии датчиков и исполнительных элементов находит применение в кристаллическом состоянии и демонстрирует ЭПФ, однако в аморфном состоянии у него отсутствует упорядоченная кристаллическая структура, и, следовательно, термоупругое мартенситное превращение и присущий ему ЭПФ не
20 наблюдаются. Однако, как показано в настоящей работе, за счет теплового расширения аморфного сплава, которое заметно превышает расширение кристаллических металлов и сплавов, возможно получение достаточно сильной термоуправляемой деформации, а высокая прочность, малая толщина и малая инерция теплового расширения
25 быстрозакаленного аморфного сплава позволяют в совокупности получить преимущество в быстродействии и достигаемой удельной мощности по сравнению с прототипом.

В дальнейшем предлагаемое техническое решение поясняется в связи с чертежами.

30 Фиг.1 - схема актюатора на основе нового функционального материала - аморфной ленты быстрозакаленного сплава и схема измерения термомеханических свойств аморфных сплавов. 1 - быстрозакаленная аморфная лента сплава Ti_2NiCu , 2, 3 - электрические контакты, 4 - источник стабилизированного напряжения, 5 - неподвижный блок, 6 - нагрузка, 7 - измерительный флажок, 8 - микроскоп.

35 Фиг.2 - дифрактограмма (а) и микрофотография (б), доказывающие аморфное состояние сплава.

Фиг.3 - зависимости деформации удлинения аморфного сплава (а) от температуры и механического напряжения (б) при разных значениях электрического тока (а) и относительного удлинения аморфного сплава от величины электрического тока (б).

40 Фиг.4 - схема актюатора на основе функционального материала в виде аморфной быстрозакаленной ленты, принудительно охлаждаемой потоком теплообменной жидкости или газа. 1 - быстрозакаленная аморфная лента сплава Ti_2NiCu , 2, 3 - электрические контакты, 9 - источник электрических импульсов, 10 - стеклянная трубка, 11 - динамометр, 7 - измерительный флажок, 12 - источник света и фотоприемник, 13 - теплообменная жидкость.

45 Фиг.5 - временная зависимость управляемой деформации актюатора согласно предлагаемого технического решения, выполненного из быстрозакаленного аморфного сплава Ti_2NiCu .

Сущность предлагаемого технического решения (см. фиг.1) состоит в том, что,

активный элемент из аморфной ленты быстрозакаленного сплава 1, подключенный при помощи контактов 2 и 3 к источнику электрического тока 4, испытывает нагрев и тепловое расширение, вследствие нагрева Джоулевым теплом электрического тока. Натяжение ленты через механическую систему 5 осуществляется источником силы, например грузиком или пружиной 6. Удлинение ленты при нагреве фиксируется датчиком 8 по перемещению флажка 7, жестко связанного с активным элементом 1.

В данном техническом решении предлагается в качестве функционального материала активного элемента применить аморфную быстрозакаленную ленту, например, из сплава Ti_2NiCu . Структурное состояние сплава аттестовано с помощью электронного микроскопа (см. фиг.2). На дифрактограмме (а) и электронной микрофотографии (б) не удается различить признаков кристаллической структуры, что доказывает ее аморфное состояние. Измерение зависимостей относительного удлинения (деформации) $\epsilon = \Delta L/L$, где L - начальная длина аморфной ленты, от внешнего механического напряжения и температуры показывает, что модуль упругости ленты (наклон прямых) практически не зависит от величины электрического тока (температуры) (фиг.3а), в то время как нагрев Джоулевым теплом приводит к значительной деформации сплава до 0,3% (см. фиг.3б) в широком интервале токов.

Технический результат предлагаемого изобретения заключается в повышении эффективности актюатора, в частности в повышении его быстродействия и повышении выходной механической мощности, а также в повышении надежности и технологичности и упрощении массового производства, что достигается за счет свойств нового функционального материала - аморфных быстрозакаленных сплавов. Как известно, во многих случаях аморфные металлы и сплавы отличаются повышенными прочностными свойствами по отношению к кристаллическим сплавам. Это позволяет говорить о повышении надежности активного элемента 1 и развиваемой актюатором силы, ограниченной его прочностью.

Сущность изобретения заключается в следующем. Выходная механическая мощность актюатора равна произведению предельно достижимой развиваемой силы F на перемещение d и на предельную частоту циклов f :

$$P = f F d \quad (1)$$

Таким образом, увеличение прочности функционального материала не только повышает надежность, но и максимальную выходную механическую мощность при периодическом возбуждении.

Дополнительным преимуществом быстрозакаленных сплавов является малая толщина - до нескольких десятых микрон. Быстродействие актюатора (то есть предельная частота циклов f) ограничена характерным временем процесса активации функционального материала. Оно, в свою очередь, определяется наибольшим из двух времен: 1) характерным временем теплообмена актюатора с окружающей средой и 2) характерным временем инерции изменения структуры функционального материала. Тепловое характерное время t_{th} зависит как от свойств среды, например, окружающего актюатор газа или жидкости, так и от характерных времен процессов, связанных с перестройкой структуры t_{str} . В случае прототипа - актюатора с ЭПФ - t_{str} ограничено временем формирования мартенситной структуры. В случае аморфного сплава кристаллическая структура отсутствует, и скорость изменения длины актюатора имеет только ограничение, связанное с распространением тепла. Это характерное время определяется внутренними процессами теплопередачи сплава и свойствами теплоотдачи в

окружающую среду $t_{th\,inv}$. Как известно, характерное время теплопроводности пластины определяется по порядку величины следующим соотношением:

$$t_{th\,int} = h^2 c\rho / \kappa, \quad (2)$$

5 здесь h - толщина пластины или ленты сплава, c - его теплоемкость, ρ - плотность, κ - теплопроводность. Таким образом, уменьшение толщины актюатора при применении быстрозакаленной ленты ведет к очень резкому (обратно пропорционально квадрату толщины) уменьшению времени $t_{th\,int}$. Для уменьшения времени $t_{th\,inv}$ удобно применить
10 принудительное охлаждение теплообменной жидкостью или газом. Для этого в настоящей работе сконструирована специальная экспериментальная установка для испытания прототипа актюатора, показанная на фиг.4.

Установка содержит активный элемент в виде аморфного сплава, погруженный в проточную теплообменную жидкость 13. Для регистрации быстрого изменения длины актюатора применены фотоэлемент с источником света 12 и флажок 7. Источник
15 электрического тока представлял импульсный генератор 9.

Результаты эксперимента по измерению быстродействия актюатора представлены в виде временной диаграммы зависимости деформации актюатора на фиг.5 при
20 возбуждении импульсом электрического тока не более 5 мс. Видно, что передний фронт отклика актюатора не превышает 8 мс, а полная длительность импульса - 20 мс. За импульсом возбуждения следуют затухающие механические осцилляции на резонансной частоте пружины. Механический резонанс системы пружина - активный элемент можно также использовать для повышения предельной рабочей частоты актюатора. Таким образом, в настоящей работе достигнуто быстродействие актюатора с новым
25 функциональным материалом - аморфной быстрозакаленной лентой не менее 50 Гц.

Экономический эффект от внедрения предлагаемого изобретения может быть значительным, если с его помощью удастся решить задачу генерации звуковых и
30 ультразвуковых колебаний большой мощности. Предложенный функциональный материал при небольшой массе активного элемента из быстрозакаленного сплава может обеспечить достижение очень высоких мощностей управляемых колебаний. Этому способствуют и уникальная технологичность, которая позволяет получать аморфные сплавы большими объемами, буквально километрами за считанные секунды и минуты. Цена сплавов невысока. Сплав сразу после изготовления готов к производству
активных элементов.

35 Пример 1. В качестве примера реализации актюатора на основе функционального материала рассмотрим эскиз установки, представленный на фиг. 1. В качестве активного элемента применена быстрозакаленная аморфная лента сплава $Co_{59}Ni_{10}Fe_5Si_{11}B_{15}$, описанного в статье (Rosner H., Shelyakov A.V., Glezer, A.M., Feit, K., SchloBmacher, P. A study of an amorphous-crystalline structured Ti-25Ni-25Cu (at.%) shape memory alloy. Materials
40 Science and Engineering A, V.273-275, P.733-737) [4] с коэффициентом теплового расширения около $3 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$. Толщина ленты - 40 мкм. Сопротивление ленты - 10 Ом. При пропускании тока 1 А деформация удлинения составляет около 0,3% или 300 мкм. Создаваемая сила - 2 Н. Частота циклов - 1 Гц.

45 Пример 2. Актюатор на основе функционального материала, описанный в примере 1, снабжен охлаждающим контуром с проточной жидкостью - водой при комнатной температуре (см. схему на фиг.4). Частота циклов - 50 Гц.

Пример 3. В качестве примера реализации актюатора на основе функционального материала рассмотрим актюатор, аналогичный по конструкции описанному в примерах

1 и 2 (фиг.1-5). В качестве функционального сплава применена аморфная быстрозакаленная лента Ti_2NiCu согласно статье [4]. При длине быстрозакаленной ленты сплава 30 см и при токе 2 А удлинение ленты составляет 0,9 мм, создаваемая сила - 10 Н. Частота повторения импульсов тока - 50 Гц, производимая механическая мощность $P=0,45$ Вт. Масса ленты - 100 мг. Удельная мощность $=4000$ Вт/кг, что в сравнении с автомобилем «Жигули» ВАЗ 2107 (500 Вт/кг) больше на один порядок величины.

Формула изобретения

10 1. Актюатор на основе функционального материала, включающий активный элемент, выполненный из функционального материала, механически соединенный с упругим элементом, систему электродов, соединенных с активным элементом, источник электропитания, подсоединенный к системе электродов для контроля актюатора, отличающийся тем, что в качестве функционального материала выбран аморфный металл или сплав.

15 2. Актюатор на основе функционального материала по п.1, отличающийся тем, что активный элемент, выполненный из функционального материала, заключен в объем, обеспечивающий охлаждение элемента потоком жидкости или газа.

20 3. Актюатор на основе функционального материала по п.1, отличающийся тем, что активный элемент выполнен из аморфного быстрозакаленного сплава Ti_2NiCu .

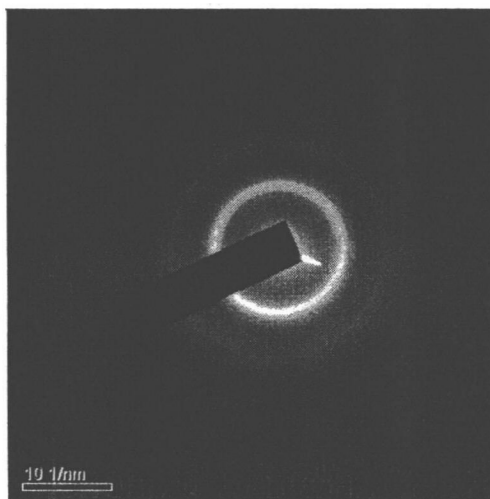
25

30

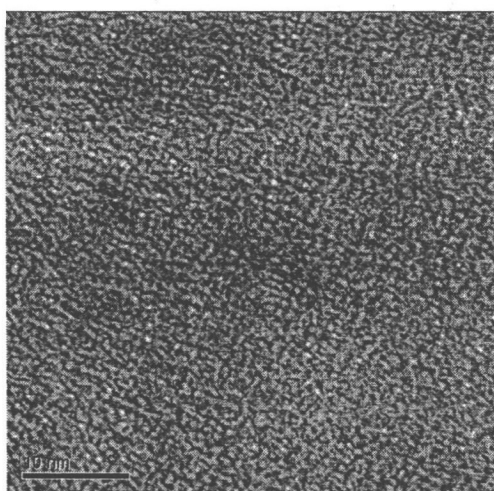
35

40

45

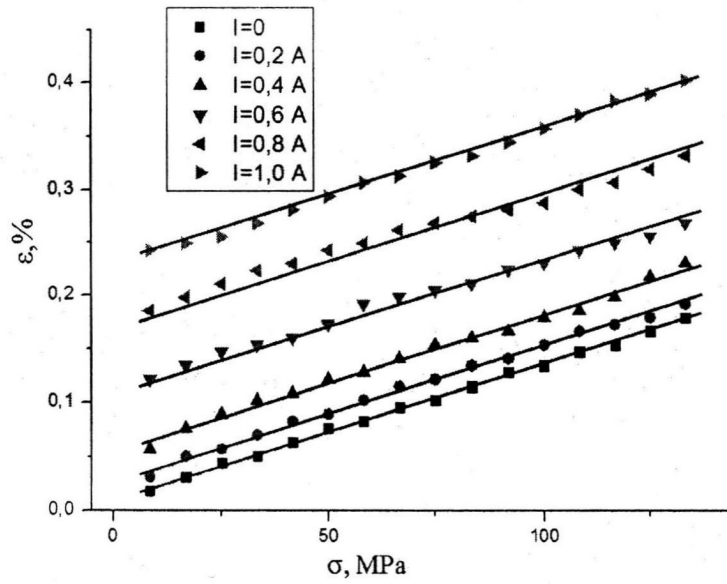


а

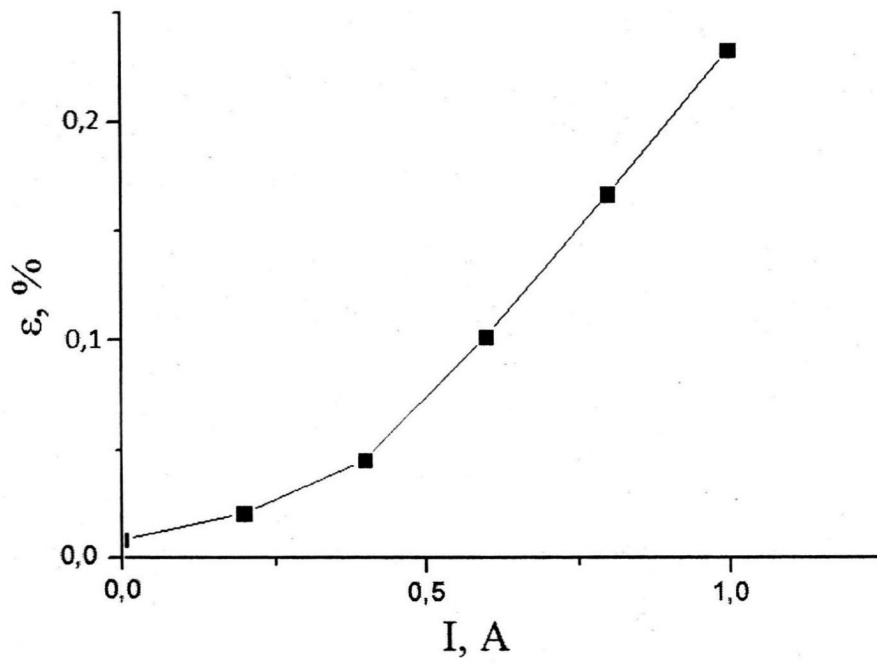


б

Фиг. 2

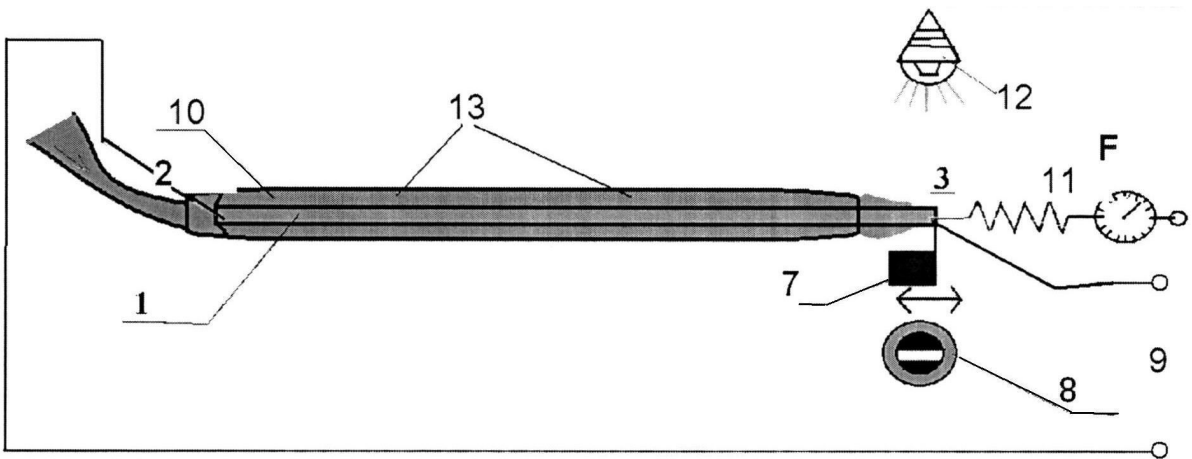


a

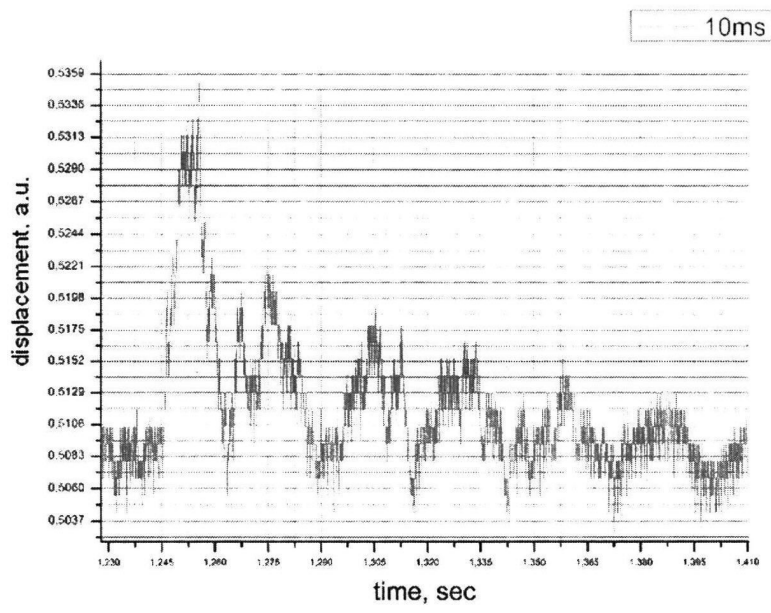


б

Фиг. 3



Фиг.4



Фиг.5