

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(11) **033593**(13) **B1**

**(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

**(45)** Дата публикации и выдачи патента  
**2019.11.07**

**(51)** Int. Cl. **G01K 1/08** (2006.01)  
**G01K 7/02** (2006.01)

**(21)** Номер заявки  
**201690358**

**(22)** Дата подачи заявки  
**2014.08.06**

---

**(54) ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЙ ПРОБНИК**

---

**(31)** 61/863,119; 61/907,555; 61/951,068

**(32)** 2013.08.07; 2013.11.22; 2014.03.11

**(33)** US

**(43)** 2016.07.29

**(86)** PCT/US2014/049857

**(87)** WO 2015/021096 2015.02.12

**(71)(73)** Заявитель и патентовладелец:  
**ЭМЕТЕК, ИНК. (US)**

**(72)** Изобретатель:  
**Глашин Уилльям М., Агами Марк  
(US)**

**(74)** Представитель:  
**Медведев В.Н. (RU)**

**(56)** WO-A1-0127579  
US-A-3954508  
US-A-5917145  
JP-A-2000088667  
EP-A2-0928958  
US-A-4243402

**(57)** Раскрыты высокотемпературные пробники и способы для сборки высокотемпературных пробников. Высокотемпературные пробники могут включать в себя стержень с термопарой, вставленной внутрь стержня, и керамическую матричную композитную защитную оболочку, по существу, окружающую стержень. Высокотемпературные пробники могут также включать в себя внешнюю металлическую трубку, окружающую участок стержня, и внутреннюю металлическую трубку, установленную между алюмооксидным стержнем и внешней металлической трубкой, причем внутренняя металлическая трубка конфигурируется для предотвращения пространственного смещения стержня относительно внешней металлической трубки.

**B1****033593****033593****B1**

### Область техники

Изобретение относится к технике измерения температуры и, более конкретно, к температурным пробникам для использования в суровых окружающих условиях, например в турбинах самолетов.

### Уровень техники

Температурные пробники необходимы для измерения температуры в суровых окружающих условиях, например в турбинах самолетов. Выхлоп, присутствующий в турбинах самолета, является интенсивным, горячим и химически активным. Кроме того, можно ожидать, что температура выхлопа будет еще выше в турбинах будущих самолетов. В настоящее время для защиты пробников, используемых в суровых окружающих условиях турбин самолетов, используются такие металлы, как сплавы никеля. Однако такие пробники будут иметь относительно короткий срок службы в будущих применениях с более горячим выхлопом.

### Сущность изобретения

Аспекты данного изобретения включают в себя температурные пробники и способы формирования температурных пробников. Температурный пробник может включать в себя стержень, термопару, внешнюю трубку, внутреннюю трубку и защитную оболочку. Термопара помещается внутри стержня. Внешняя трубка окружает, по меньшей мере, участок стержня. Внутренняя трубка располагается между стержнем и трубкой для предотвращения смещения стержня. Керамическая матричная композитная защитная оболочка, по существу, окружает стержень и внешнюю металлическую трубку.

Дополнительные аспекты изобретения включают в себя способы сборки температурных пробников. Способы сборки температурного пробника могут включать в себя позиционирование термопары между первым элементом и вторым элементом, сочленение первого элемента и второго элемента для формирования стержня, размещение внешней трубки поверх участка стержня для зацепления первого элемента и второго элемента, размещение внутренней трубки между, по меньшей мере, участком стержня и по меньшей мере участком внешней трубки для фиксации стержня относительно внешней трубки и нанесение керамической матричной композитной защитной оболочки, чтобы, по существу, покрыть стержень и внешнюю металлическую трубку.

Дополнительные объекты изобретения включают в себя температурные пробники, которые включают в себя стержень, термопару, введенную в стержень, и основание пробника, простирающееся за конец стержня. Температурные пробники могут также включать в себя защитную оболочку, покрывающую, по меньшей мере, участок стержня и участок основания пробника. По меньшей мере одно из стержня, основания пробника, или защитной оболочки включает в себя керамический матричный композитный материал.

Дополнительные объекты изобретения ориентированы на способы для сборки температурных пробников, которые включают в себя формирование стержня по меньшей мере с одним каналом, пропускание проводов термопары по меньшей мере через один канал, позиционирование основания пробника за концом стержня, обертывание керамическим волокном основания пробника и стержня и преобразование керамического волокна в керамический матричный композитный материал, тем самым формируя защитную оболочку вокруг основания пробника и стержня.

### Краткое описание чертежей

Изобретение станет яснее из нижеследующего подробного описания при его изучении совместно с сопровождающими чертежами, на которых подобные элементы имеют те же ссылочные обозначения. Когда имеется множество подобных элементов, единственное ссылочное обозначение может относиться к множеству подобных элементов с применением строчной буквы для обозначения конкретных элементов. В чертежи включены следующие схемы:

- фиг. 1 изображает вид сечения пробника в соответствии с аспектами изобретения;
- фиг. 2 - перспективный вид элемента стержня в соответствии с аспектами изобретения;
- фиг. 3 - перспективный вид стержня в соответствии с аспектами изобретения;
- фиг. 4 - перспективный вид внешней трубки, окружающей стержень, в соответствии с аспектами изобретения;
- фиг. 5 - перспективный вид внутренней трубки, помещенной внутрь внешней трубки, которая окружает стержень, в соответствии с аспектами изобретения;
- фиг. 6 - блок-схема последовательности операций, иллюстрирующая этапы сборки пробника в соответствии с аспектами изобретения;
- фиг. 7 - вид сечения пробника в соответствии с аспектами изобретения;
- фиг. 8A и 8B - виды стержня для пробника в соответствии с аспектами изобретения;
- фиг. 9A и 9B - виды стержня с основанием для пробника в соответствии с аспектами изобретения;
- фиг. 10A и 10B - виды пробника в соответствии с аспектами изобретения;
- фиг. 11 - блок-схема последовательности операций, иллюстрирующая этапы сборки пробника в соответствии с аспектами изобретения;
- фиг. 12A и 12B - виды пробника в соответствии с аспектами изобретения;
- фиг. 13A и 13B - виды пробника в соответствии с аспектами изобретения;
- фиг. 14 - блок-схема последовательности операций, иллюстрирующая этапы для сборки пробника в

соответствии с аспектами изобретения.

### Подробное описание изобретения

Существует необходимость в датчиках температуры с лучшими рабочими параметрами. Контролируемые температуры современных турбин, или новейших турбин, находятся приблизительно в пределах от 1100°C и приблизительно до 1200°C. Турбины будущего, с учетом необходимой точности датчика и необходимых удобств контроля, потребуют измерения температур, больших чем 1300°C.

Предшествующие стандартные материалы для таких датчиков, такие как суперсплавы на основе никеля, не будут выдерживать температуру, большую чем 1200°C.

Выполнение измерения ближе к камере сгорания означает более точный контроль горячего тракта. Это способствует планированию интервала обслуживания и эффективности использования турбины.

Датчик сохранит работоспособность в газотурбинном потоке до 1350°C в течение коротких периодов времени и непрерывно - выше 1200°C. В одном варианте реализации керамический матричный композитный пробник заключает в себе изолированную керамикой термопару Platinel®, которая имеет выходную ЭДС, очень подобную стандартному выходу термопары типа К.

Без возможностей измерения температур, больших чем 1300°C, температурный датчик должен располагаться дальше от более горячих трактов турбины. При возможности измерения температуры 1300°C датчик находится ближе и данные контроля турбины получаются лучше.

Спроектирован температурный датчик на основе керамического матричного композита для применений в газовых турбинах до температуры 1350°C. Предшествующие высокотемпературные турбинные датчики использовали суперсплавы на основе никеля для получения возможности работы почти при 1200°C. Эксплуатация при много больших температурах, чем 1200°C, с любыми сплавами никеля строго ограничена. Подходящие материалы для частей горячих трактов новых турбин OEM включают в себя керамические матричные композиты. Керамические матричные композиты имеют преимущество по сравнению с простой керамикой только из-за сопротивления ползучести. Керамики уже используются в высокоэффективных температурных датчиках, обычно в виде оксида магния; также используется оксид алюминия. В одном варианте реализации алюмооксидный керамический матричный композит наносится на внешнюю область высокоэффективного температурного пробника, как с волокнами алюмооксида, так и с алюмооксидной матрицей. Керамики семейства оксидов имеют лучшее сопротивление очень агрессивной химической среде камеры сгорания турбины по сравнению с углеродистыми композитами, которые требуют защитного покрытия относительно среды, что делает их восприимчивыми к эрозии и подверженными последующему выходу из строя. Однако некоторые композиты на основе карбидов кремния или углерода имеют лучшие высокотемпературные параметры, чем оксидные керамики.

Алюмооксидные керамические матричные композиты функционируют при температурах, больших чем 1200°C, и не требуют защитного покрытия относительно окружения, поскольку они являются стойкими к среде в турбине.

Без возможности измерения температур, больших чем 1300°C, температурный датчик должен быть расположен дальше от горячих трактов турбины. Расположение датчика дальше от турбины для допущения использования никелевых сплавов означает, что он будет измерять смесь горячего газообразного продукта сгорания и охлаждающего воздуха компрессора, и неопределенность в измерении газотурбинной температуры будет увеличиваться, и возможность контролировать турбину при ее деградации вследствие температуры окажется меньшей, что негативно повлияет на плановое обслуживание.

Преимущество изобретения заключается в том, что нет никакого компромисса в рабочих параметрах температурного датчика в связи с требованиями новых турбин. Керамический матричный композитный пробник может находиться ближе к камере сгорания, в нормальном местоположении датчика турбины, и не допустить снижения рабочих параметров. Новые турбины и турбины будущего будут работать при более высоких температурах. Компоненты в горячем тракте турбин должны удовлетворять новым, более высоким уровням эксплуатационных параметров, конкретно - температурным параметрам, поскольку температура увеличивается.

Керамические матричные композиты до сих пор не использовались в газотурбинных температурных датчиках. Возможность работы с более высокими температурами повышает эффективность турбины и повышает эффективность работы оператора турбины, выбирающего данную турбину среди других конкурирующих вариантов. Плотность керамических матричных композитов также меньше, чем для металлов, при некоторой выгоде в весе, что всегда оказывается желательным.

В соответствии с вариантами реализации изобретения могут быть использованы альтернативные стержни, выполненные из менее твердых материалов. Твердые стержни имеют небольшую пластичность по сравнению со стержнями, выполненными из материалов керамического матричного композита (СМС). СМС-материалы выходят из строя более постепенно, чем твердые керамики, подобные алюмооксиду. Варианты реализации стержней, которые менее хрупки, чем керамические стержни, описаны ниже.

На фиг. 1 показан вид сечения одного варианта реализации пробника 100 в соответствии с объектами изобретения. Показанный пробник 100 содержит защитную оболочку 108, стержень 103, внутреннюю трубку 106 и внешнюю трубку 104. Пробник 100 также содержит термопару, описанную ниже в связи с фиг. 2, вставленную внутрь стержня 103. Пробник 100 имеет ось 110, проходящую в продольном направ-

лении через центр пробника 100.

Стержень 103 может быть на алюмооксидной основе (например, оксид алюминия), на основе кремния, на основе карбида кремния (например, SiC волокно, SiC матрица и т.д.), на основе углерода и/или других материалов/комбинаций материалов, подходящих для использования в пределах температурных пробников. Стержень 103, защитная оболочка 108, трубки 106 и 104 и/или другие компоненты пробника 100 могут быть созданы из волоконного/матричного материала, формируемого в СМС материал. Например, волокна могут включать в себя CN Nicalon™, Hi-Nicalon™, Sylramic™, Carbon, Nextel™ 312, Nextel™ 610, Nextel™ 720, металлы со сплавами никеля и т.д. Матрица может быть на основе кремния (например, SiNC, SiC+Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, SiC, SiO<sub>2</sub> и т.д.), на основе алюмооксида (например, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и т.д.) и/или комбинации материала на основе алюмооксида и на основе кварца (например, SiO<sub>2</sub>+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и т.д.).

Показанный на фиг. 1 стержень 103 сформирован из первого элемента 102a и второго элемента 102b. Элементы 102a и 102b могут быть сочленены по оси 110 для формирования стержня 103. В варианте реализации элементы 102a и 102b являются, по существу, симметричными относительно друг друга. Хотя здесь показан и описан стержень, сформированный из двух симметричных элементов, предполагается, что стержень 103 может иметь монолитную конструкцию, может быть сформирован из более чем двух элементов, и элементы не обязательно должны быть симметричными.

На фиг. 2 показан первый элемент 102a стержня на фиг. 1. Элемент 102a имеет проточку (не показана) на сочленяющейся поверхности 204. Сочленяющаяся поверхность 204 может быть сочленена с соответствующей сочленяющейся поверхностью (не показана) элемента 102b. В варианте реализации проточка имеется только в первом элементе для формирования канала для термопары 202. В других вариантах реализации по меньшей мере один другой элемент (например, элемент 102b) имеет проточку, которая при объединении с проточкой первого элемента 102a формирует канал для термопары 202. Термопара 202 помещается в проточку одного элемента 102a перед сочленением. Температурный функциональный участок 206 термопары располагается в конце пробника 100, который может быть обнажен и/или вытянут наружу из защитной оболочки 108.

На фиг. 3 показан стержень 103, сформированный из сочлененных первого элемента 102a и второго элемента 102b. Сочленение первого элемента 102a и второго элемента 102b обеспечивает вставление термопары 202 между ними. В некоторых вариантах реализации стержень 103 имеет стопорный выступ 302. Стопорный выступ 302 расположен в области стержня 103 с таким сечением в плоскости, перпендикулярной к оси 110, которое является большим по окружности, чем сечение в других точках. Хотя на фиг. 3 показан стопорный выступ 302 как однородно увеличенная окружность внешней поверхности 304 стержня 103, предполагается, что любое другое конструктивное изменение внешней поверхности 304, которое будет препятствовать скольжению стержня в аксиальном направлении через окружающую трубку, такую как трубка 104, может быть использовано как стопорный выступ.

На фиг. 4 показана внешняя трубка 104, окружающая стержень 103. Размещение внешней трубки 104 поддерживает первый элемент 102a и второй элемент 102b в сочленном положении. Внешняя трубка 104 может иметь кромку 114, которая зацепляет стопорный выступ 302 на стержне 103, чтобы препятствовать полному прохождению стержня 103 через внешнюю трубку 104. Внешняя трубка 104 может быть выполнена из хрома или никеля, сплавов, алюмооксида, СМС или другого материала, подходящего для использования в температурных пробниках.

Показанная внешняя трубка 104 также имеет стопорный выступ 402 на внешней поверхности 404 для предотвращения смещения защитной оболочки 108. Хотя на фиг. 4 показан стопорный выступ 402 как однородное увеличение окружности внешней поверхности 404 внешней трубки 104, предполагается, что может быть использовано любое конструктивное изменение внешней поверхности 404, которое предотвращает смещение защитной оболочки 108 по оси 110.

На фиг. 5 показан стержень 103, внешняя трубка 104 и внутренняя трубка 106. Внутренняя трубка 106 может контактировать с внутренней поверхностью внешней трубки 104 и внешней поверхностью 304 стержня 103. Первый конец 112 внутренней трубки 106 может контактировать со стопорным выступом 302 на стержне 103. Внутренняя трубка 106 может быть приварена 502 к внешней трубке 104. Могут быть использованы известные сварочные методики. Предполагается, что внутренняя трубка 106 и внешняя трубка 104 могут быть скреплены способами, отличными от сварки, которые являются подходящими для использования в высокотемпературном окружении (например, пайка твердым припоем, обработка с СМС материалами, и т.д.). Прикрепление внешней трубки 104 к внутренней трубке 106 защищает стержень 103 от смещения относительно внешней трубки 104. В варианте реализации стопорный выступ 302 на стержне помещен между первым концом 112 внутренней трубки 106 и выступом 404 на внутренней поверхности внешней трубки 104.

В варианте реализации участок внутренней поверхности 504 внутренней трубки 106 не находится в контакте с внешней поверхностью 304 стержня 103. Этот участок внутренней поверхности 504 может быть приспособлен для прикрепления к другим устройствам или изделиям. Внутренняя поверхность может быть приспособлена для прикрепления с использованием резьбовых винтов, шипов, выступа или с использованием других подходящих способы прикрепления. Внутренняя трубка 106 может быть выпол-

нена из хрома или никеля, сплавов, СМС или любого материала, подходящего для использования в температурных пробниках.

Обращаясь снова к фиг. 1, защитная оболочка 108 нанесена поверх стержня 103 и внешней трубки 104. Защитная оболочка 108 может быть сформирована из разнообразных керамических матричных композитов. Керамический матричный композит может быть углеродным волокном в углеродной матрице, углеродным волокном в матрице карбида кремния, волокнами карбида кремния в матрице карбида кремния, и волокнами алюмооксида в матрице алюмооксида, например. Защитная оболочка 108 может быть нанесена на стержень 103 методом, который будет понятен специалисту в данной области техники из приведенного здесь описания. Внешняя поверхность 118 защитной оболочки 108 может иметь гладкость приблизительно 125 или менее. В одном варианте реализации гладкость внешней поверхности 118 защитной оболочки 108 составляет менее чем 32. Защитная оболочка 108 может иметь толщину приблизительно между 0,03 и 0,06 дюйма.

Защитная оболочка 108 прикрепляется к внешней трубке 104. В одном варианте реализации защитная оболочка 108 сформирована для контакта со стопорным выступом 402 на внешней поверхности 404 внешней трубки 104, что препятствует смещению защитной оболочки 108.

Как показано на фиг. 1-5, температурный пробник имеет усеченную коническую форму, вытянутую вниз к температурному функциональному участку 206, с концом, который включает в себя внешнюю трубку 104, имеющую больший диаметр, чем диаметр у конца температурного функционального участка 206. Больший диаметр к концу внешней трубки 104 обеспечивает температурному пробнику сопротивление напряжению относительно сил, прикладываемых во время его работы.

На фиг. 6 показана блок-схема 600 последовательности операций для этапов сборки варианта реализации пробника в соответствии с объектами изобретения. Этапы блок-схемы последовательности операций описаны ниже в отношении пробника на фиг. 1-5. Следует понимать, что этапы могут быть использованы для сборки пробников, отличных от изображенных на фиг. 1-5, и что один или более этапов 602-610 могут быть выполнены в другом порядке и/или могут быть исключены.

В блоке 602 термopapa помещается между первым элементом и вторым элементом. Термopapa 202 может быть помещена между первым элементом 102a и вторым элементом 102b. В варианте реализации термopapa 202 помещается в канал, который сформирован проточкой по меньшей мере в одном элементе. Первый элемент и второй элемент могут быть симметричными.

В блоке 604 стержень формируется сочленением первого элемента и второго элемента. Стержень 103 может быть сформирован сочленением первого элемента 102a и второго элемента 102b. Первый элемент 102a и второй элемент 102b могут быть сочленены вдоль поверхности 204 сочленения первого элемента и поверхности сочленения второго элемента (не показано). В варианте реализации стержень 103 сформирован из материала, который является химически совместимым с защитной оболочкой 108, с использованием механического шлифования, отливки или комбинации обоих процессов формирования.

В блоке 606 внешняя трубка помещается поверх, по меньшей мере, участка стержня. Внешняя трубка 104 может быть помещена поверх, по меньшей мере, участка стержня 103. Размещение внешней трубки 104 зацепляет первый элемент 102a и второй элемент 102b. Материал, формирующий внешнюю трубку, представляет собой металл или другой материал, подходящий для использования в температурных пробниках.

В блоке 608 внутренняя трубка помещается между участком внешней трубки и участком стержня. Внутренняя трубка 106 может быть помещена между участком внешней трубки 104 и участком стержня 103. Размещение внутренней трубки 106 затрудняет движение стержня 103 вдоль оси 110 относительно внешней трубки 104. Материал, формирующий внутреннюю трубку 106, может быть металлом или другим материалом, подходящим для использования в температурном пробнике при температуре приблизительно 2000°F или выше. В некоторых вариантах реализации, материал, формирующий внутреннюю трубку 106, подходит для температур приблизительно 2500°F или выше.

В блоке 610 внутренняя трубка и внешняя трубка могут быть приварены, или иначе скреплены. Внутренняя трубка 106 и внешняя трубка 104 могут быть приварены, или иначе скреплены, с помощью известных сварочных методик, включающих в себя, но без ограничения, вольфрамовую сварку в инертном газе или лазерную сварку. Также предполагается, что внутренняя трубка 106 и внешняя трубка 104 могут быть скреплены с помощью других способов, подходящих для скрепления компонент пробника (например, пайка твердым припоем, обработка СМС и т.д.).

В блоке 612 накладывается керамическая матричная композитная защитная оболочка для покрытия, по существу, стержня. Керамическая матричная композитная защитная оболочка 108 накладывается для покрытия, по существу, стержня 103. Защитная оболочка 108 может быть наложена также и на внешнюю трубку. Могут быть использованы стандартные способы наложения керамической матричной композитной защитной оболочки. Защитная оболочка 108 может увеличить податливость и степень пластической деформации, испытываемой пробником 100 до его поломки.

Обращаясь далее к фиг. 7, вариант реализации температурного пробника показан в соответствии с объектами изобретения. Пробник 700 предназначен для температур до 1350°C. Он имеет керамическую матричную композитную защитную оболочку 702, керамическую внутреннюю область 704 и провод

Platinel® (не показан) для сигнала термопары. Основание 708 пробника у стенки турбины холоднее, чем окончание 710, и выбор удовлетворительного суперсплава никеля может быть выполнен с запланированной возможностью измерения температуры до 1150°C. Могут быть выбраны материалы, отличные от суперсплава никеля, такие как материалы, описанные относительно пробника 100. Размеры могут включать в себя глубину вставки приблизительно 70 мм с диаметром окончания 710 приблизительно 4 мм.

Что касается фиг. 8А и 8В, то показан стержень для использования в газотурбинном температурном пробнике. Провода 806 и 808 термопары двух полярностей (например, один положительный провод и один отрицательный провод), которые присоединяются к спая 810 термопары у одного конца каждого из проводов, вставляются внутрь стержня 800. В одном варианте реализации провода выполнены из высокотемпературной системы термопары (например, платинового сплава, Platinel® и т.д.). Другие подходящие СМС материалы будут понятны специалисту в данной области техники из приведенного здесь описания. Керамическое волокно может быть заплетено поверх каждого из проводов 806 и 808 термопары отдельно, так как керамическая оплетка 802 и керамическая оплетка 804. Показанный стержень 800 включает в себя керамическое волокно, цилиндрически заплетенное поверх проводов. В варианте реализации керамическое волокно плетется поверх обоих проводов 806 и 808. Как видно из фиг. 8А, провода 806 и 808 сварены вместе в точке 812 сварки, тем самым формируя термопару. Керамические волокна поверх проводов могут быть затем обработаны при высоких температурах для получения матрицы, которая существует благодаря керамическим волокнам, тем самым формируя стержень 800.

На фиг. 9А и 9В показан стержень с основанием в соответствии с вариантами реализации изобретения. Основание 902 может быть выполнено из керамического материала. Основание 902 имеет первое сечение 904 и второе сечение 906 с первым сечением 904, имеющим диаметр, больший чем диаметр второго сечения 906. Основание может функционировать подобно внешней трубке 104, описанной выше в связи с фиг. 1-6.

Что касается фиг. 10А и 10В, показан температурный пробник в соответствии с вариантами реализации изобретения. Температурный пробник включает в себя стержень 800, основание 902 и защитную оболочку 1002, покрывающую стержень 800 и основание 902. Защитная оболочка 1002 может быть выполнена из СМС материала и функционирует подобно защитной оболочке 108. Провода 806 и 808 выходят из пробника в основании 902 и доступны для приваривания удлинительных проводных соединений. В вариантах реализации с защитной оболочкой 1002, основанием 902 и стержнем 800 температурный пробник целиком может быть выполнен из высокотемпературных СМС материалов с проводами 806 и 808 термопары внутри, тем самым предоставляя менее ломкий датчик.

Обращаясь далее к фиг. 11, показана блок-схема 1100 последовательности операций для этапов сборки температурного пробника. В блоке 1101 керамическое волокно плетется поверх двух полярных проводов. Два полярных провода могут быть высокотемпературными металлами термопары (например, платиновым сплавом, Platinel® и т.д.). Керамическое волокно может быть алюмооксидным волокном, таким как Nextel 720, и/или другими материалами, такими как описанные в связи с пробником 100. В одном варианте реализации керамическое волокно цилиндрически заплетается вокруг каждого провода.

В блоке 1102 два полярных провода сварены вместе для формирования термопары для температурного пробника. Сварка может быть простой сваркой плавлением, без присадочной проволоки. В этой точке в сборке провода формируют термопару.

В блоке 1104 две цилиндрические оплетки инфундируются с керамическим матричным прекурсором. Оплетка может быть инфундирована посредством жидкости или пара. В одном варианте реализации применяется процесс золь-гель для инфундирования проводов. Как только оплетка инфундирована, провода могут быть поддержаны в закреплении и подвергнуты воздействию повышенной температуры (например, приблизительно 400°F) до достаточного затвердевания без искажения.

В блоке 1106 инфундированные цилиндрические оплетки перерабатываются в два смежных СМС цилиндрических стержня. В варианте реализации оплетки перерабатываются при высокой температуре (например, приблизительно 1200°C) для получения матрицы, которая появляется благодаря керамическим волокнам, заплетенным поверх проводов в блоке 1101. Это приводит к керамической оплетке внутри керамической матрицы поверх проводов.

В блоке 1108 керамическая оплетка обматывается поверх переработанных оплеток с проводами (например, вспомогательная сборка СМС). Керамическая оплетка может быть намотана поверх оплетенных проводов и спая термопары. После намотки стержень инфундируется в блоке 1109, подобно инфузии в блоке 1104, и обрабатывается в блоке 1110, подобно обработке в блоке 1106, для укрепления керамической оплетки, намотанной поверх обработанных проводов. Провода, оплетки и вспомогательные сборки СМС, переработанные в стержни, собранные в соответствии с блоками 1101-1110, могут выдерживать высокотемпературную обработку блок-схемы 1100 последовательности операций так, что остаются неизменными в получающейся структуре стержня.

В блоке 1112 стержень вставляется в основание и покрывается защитной оболочкой. Основание и/или защитная оболочка могут быть из керамического материала, и каждый может функционировать как внешняя трубка 104 или защитная оболочка 108 соответственно, как описано выше в соответствии с фиг. 1-7.

Обращаясь далее к фиг. 12А и 12В, показан другой вариант реализации температурного пробника в соответствии с объектами изобретения. Температурный пробник 1200 включает в себя вставку 1218 (например, стержень), основание 1204 пробника, термопару 1206 и защитную оболочку 1202, расположенную поверх основания 1204 пробника, вставки 1218 и термопары 1206. Как показано, спай 1208 термопары может выступать наружу и простирается в направлении от защитной оболочки 1202.

Основание 1204 пробника включает в себя первый участок 1222, который является цилиндрическим, и второй участок 1224, который является усеченным конусом. Основание 1204 пробника также включает в себя цилиндрический проход 1205, сформированный как проходящий через центр основания 1204 пробника, который сконфигурирован для приема вставки 1218. В варианте реализации основание 1204 пробника сконструировано из материала на основе алюминия. Основание 1204 пробника может включать в себя концевой участок 1216, который проходит от защитной оболочки 1202 и не покрыт защитной оболочкой 1202. В варианте реализации металлическое основание помещается поверх концевого участка 1216 и присоединяется к пробнику 1200 посредством пайки твердым припоем, описанным в связи с фиг. 13.

Вставка 1218 проходит через цилиндрический проход 1205 основания 1204 пробника. В одном варианте реализации вставка 1218 выполнена из материала на основе алюминия. В варианте реализации вставка 1218 составляет приблизительно 0,125 дюйма в диаметре. Вставка 1218 включает в себя каналы 1220, сформированные по всей длине вставки 1218, которые сконфигурированы для приема проводов 1207 термопары 1206, тем самым изолируя провода 1207 термопары от воздействия высоких температур. Как показано, вставка 1218 проходит частично через цилиндрический проход 1205 основания 1204 пробника, хотя предполагается, что вставка 1218 может проходить полностью через основание 1204 пробника или, альтернативно, не проходить через основание 1204 пробника, так что только провода 1207 термопары протягиваются через цилиндрический проход 1205.

Термопара 1206 сформирована из проводов 1207 термопары, которые протягиваются через цилиндрический проход 1205 и вставляются в каналы 1220 со спаем 1209 термопары, сформированным на окончании 1208 пробника 1200. В варианте реализации каждый из проводов 1207 имеет приблизительно 0,017 дюйма в диаметре. Спай 1209 термопары может функционировать как считывающий температуру механизм пробника 1200. Как показано, спай 1209 термопары выступает через вырез в окончании 1208 в отдаленном от центра конце пробника 1200.

Защитная оболочка 1202 сформирована поверх участка основания 1204 пробника и вставки 1208. Предполагается, что защитная оболочка 1202 может быть сформирована по всему основанию 1204 пробника и/или поверх спая 1209 термопары в окончании 1208 пробника 1202. Защитная оболочка 1202 может быть выполнена из волоконной оплетки (например, оплетка Nextel, алюминий-оксидное волокно, алюминий-оксидная матрица, волокна на основе кремния, матрицы на основе кремния, волокна и/или матрицы на основе карбида кремния и т.д.), которые могут быть обработаны для формирования керамического матричного композита (например, добавляя керамический прекурсор, обрабатывая до твердого состояния и спекая при высоких температурах и т.д.).

Пробник 1200 включает в себя участки различных форм. В ближайшем конце пробника 1200 имеется цилиндрический участок 1210 с диаметром, большим чем диаметр цилиндрического участка 1214 в отдаленном от центра конце пробника 1200. Между участком 1210 и 1214 имеется участок 1212 в форме усеченного конуса с диаметром, который уменьшается к отдаленному от центра концу пробника 1200. Конфигурация участков 1210, 1212, и 1214 преимущественно увеличивает сопротивление пробника 1200 к силам сжатия, прикладываемым к пробнику 1200 во время работы. В варианте реализации защитная оболочка 1202 имеет внешний диаметр приблизительно 0,425 дюйма и внутренний диаметр приблизительно 0,3 дюйма на участке 1210. В одном варианте реализации защитная оболочка 1202 имеет внешний диаметр приблизительно 0,25 дюйма и внутренний диаметр приблизительно 0,125 дюйма на участке 1214. Длина пробника 1200 вдоль участков 1210, 1212, и 1214 может составлять приблизительно 2,15 дюйма. Длина участка 1210 может составлять приблизительно 0,433 дюйма с длиной участка 1212 приблизительно 0,539 дюйма и длиной участка 1214 приблизительно 1,178 дюйма. В варианте реализации участок 1212 в форме усеченного конуса может уменьшиться в диаметре под углом приблизительно 9°.

Хотя показаны три участка, предполагается, что другие формы и конфигурации могут быть использованы для достижения желаемого преимущества. Например, пробник может включать в себя только два участка с одним участком, имеющим диаметр, больший чем другой участок, пробник может быть полностью усеченной конической формы, пробник может включать в себя четыре или более участка и т.д. В варианте реализации защитная оболочка 1202 толще вблизи основания 1204 пробника, чем в окончании 1208 пробника, для увеличения сопротивления механическому напряжению. Другие формы и конфигурации для пробника будут понятны специалисту в данной области техники из приведенного здесь раскрытия.

На фиг. 13А и 13В показан пробник 1300 с металлическим основанием 1301. Пробник 1300 включает в себя стержень 1218, провода 1207 термопары, проходящие через стержень 1218, основание 1204 пробника и защитную оболочку 1202, сформированную поверх стержня 1218 и основания 1204 пробника, подобно признакам, описанным относительно фиг. 12А и 12В. Пробник 1300 также включает в себя

металлическое основание 1301, которое сконструировано из тонкостенной внутренней трубки 1302 и толстостенной внешней трубки 1304. Внутренняя трубка 1302 может быть припаяна твердым припоем к основанию 1204 пробника. В варианте реализации внутренняя трубка 1302 простирается по выступающему участку 1216 основания 1204 пробника. В одном варианте реализации участок 1303 внутренней трубки 1302 простирается поверх участка 1216 основания 1204 пробника так, что между внутренней трубкой 1302 и защитной оболочкой 1202 остается пространство 1305. Внутренняя трубка 1302 может быть сплавом, таким как Nickel 201, Haynes 230 и т.д. Внутренняя трубка 1302 может иметь толщину приблизительно между 0,010 и приблизительно 0,015 дюйма и иметь длину приблизительно 0,50 дюйма. В вариантах реализации, где участок 1303 внутренней трубки 1302 простирается поверх основания 1204 пробника, накладываемый участок 1303 может иметь длину приблизительно 0,10 дюйма.

Внутренняя трубка 1302 может быть припаяна твердым припоем к основанию 1204 пробника или другим частям пробника 1200. В таких вариантах реализации участок 1303 внутренней трубки 1302, который перекрывает основание 1204 пробника, формирует спай твердым припоем. Внутренняя трубка 1302 тонка по сравнению с внешней трубкой 1304 так, чтобы механическое напряжение в керамике основания 1204 пробника из-за пайки твердым припоем и формирования спаи сохранялось минимальным. Пайка твердым припоем может быть пайкой высокотемпературным активным металлом, таким как сплав палладия.

Толстостенная внешняя трубка 1304 показана поверх внутренней трубки 1302. Внешняя трубка 1304 может быть приварена к внутренней трубке 1302 в точках 1308 сварки. Внешняя трубка 1304 может быть сконструирована из сплава, такого как Haynes 230, или из других сплавов, подходящих для использования в высокотемпературных применениях, использующих температурные пробники. Внешняя трубка 1304 включает в себя канал 1306, имеющий форму для нахождения поверх защитной оболочки 1202 пробника 1300. Как показано, участок 1310 внешней трубки 1304 простирается поверх участка защитной оболочки 1202. В одном варианте реализации участок 1310 внешней трубки 1304, который простирается поверх защитной оболочки 1202, близко расположен к защитной оболочке 1202, но не прикреплен физически к защитной оболочке 1202. В таких вариантах реализации места 1308 сварки прикрепляют внешнюю трубку 1304 к пробнику 1300, и нефизическое скрепление между участком 1310 и защитной оболочкой 1202 обеспечивает пробнику 1300 дополнительное сопротивление силам механического напряжения, например, имеющимся в турбинах. Внешняя трубка 1304 может перейти (например, с помощью сварки) к фланцу и распределительной коробке для прикрепления к газотурбинной стенке.

На фиг. 14 показана блок-схема 1400 последовательности операций с этапами для конструирования температурного пробника. В блоке 1402 два провода свариваются между собой для формирования термодпары. Провода могут быть выполнены из материала Platinel®. В блоке 1404 формируется вставка (например, стержень) с каналами. Вставка может быть материалом на основе алюмооксида. В блоке 1406 сваренные провода пропускаются через каналы в вставке. В блоке 1408 основание пробника помещается за концом вставки. Как только основание пробника помещено за конец вставки, вставка может полностью проходить через основание пробника или частично через основание пробника.

В блоке 1410 керамическая оплетка наматывается поверх вставки и основания пробника. Керамическая оплетка может быть намотана поверх всей вставки и основания пробника или частично поверх вставки и/или основания пробника. Керамическая оплетка может быть выполнена из материала на основе алюмооксида, материала на основе кремния, материала на основании углерода и/или из других материалов, подходящих для формирования в керамический матричный композитный материал. Керамическая оплетка может быть намотана для варьирования толщин поперек основания пробника и вставки для достижения желаемой формы или конструкции.

В блоке 1412 намотанное керамическое волокно инфундируется керамическим матричным прекурсором. В варианте реализации керамический матричный прекурсор представляет собой жидкость. В блоке 1414 инфундированное керамическое волокно обрабатывается для формирования СМС материала поверх основания пробника и вставки. Инфундированное керамическое волокно может быть вначале обработано при относительно низкой температуре до затвердевания. В одном варианте реализации инфундированное керамическое волокно обрабатывается приблизительно при 400°F. Как только инфундированное керамическое волокно затвердевает, оно затем спекается при высоких температурах, пока не сформируется СМС материал. В варианте реализации волокно спекается приблизительно при 1200°C.

В блоке 1414 металлическое основание припаяется твердым припоем к основанию пробника. Металлическое основание может включать в себя внутреннюю трубку, такую как тонкостенная внутренняя трубка 1302. Методика пайки твердым припоем такая, как используется для прикрепления металлов к керамическим материалам.

Методика пайки твердым припоем выполняется при высоких температурах (например, приблизительно 1000°C или более). Материалы, используемые для такой пайки твердым припоем, могут включать в себя сплавы палладия, никро-материалы для пайки и т.д. В одном варианте реализации титан (например, 4% составляющей сплава твердого припоя) может быть использован в металле для пайки твердым припоем. Пайка твердым припоем металла к керамическим паянным соединениям проводится так, что расплавленный материал твердого припоя будет смачивать керамическую сторону соединения, поскольку

ку керамика обычно не смачивается расплавленными металлами. В варианте реализации поверхность керамического материала приготавливается с составом молибден-марганец и с обработкой обогревом. В одном варианте реализации СМС материал осаждается между внутренней трубкой и основанием пробника для облегчения пайки твердым припоем и формирования паяного соединения.

Форма паяного соединения выбирается так, что различие в степени теплового расширения между металлом твердого припоя и керамикой основания пробника оказывается согласованными, тем самым поддерживая минимальными механические напряжения в области паяного соединения во время процесса пайки твердым припоем. В варианте реализации металлическое основание - это тонкостенная внутренняя трубка (например, внутренняя трубка 1302), чтобы свести к минимуму механические напряжения. Перекрытие внутренней трубки с основанием пробника может иметь простую геометрию (например, простое цилиндрическое перекрытие) или может иметь отличную геометрию (например, квадратное перекрытие, коническое перекрытие, тороидное перекрытие и т.д.).

Альтернативные конфигурации частей пробника и материалов будут понятны из приведенного здесь раскрытия. Например, все компоненты, включая в себя вставку (например, стержень) могут быть сконструированы из материалов, формируемых в СМС материалы. Внутренний оксидный СМС материал может быть использован в комбинации с внешним неоксидным СМС материалом.

Хотя изобретение проиллюстрировано и описано здесь в связи с конкретными вариантами реализации, изобретение не предполагает ограничение показанных деталей. Фактически, могут быть выполнены различные модификации деталей в пределах объема притязаний и диапазона эквивалентов формулы изобретения, не отступая от изобретения.

## ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

### 1. Температурный пробник, содержащий

стержень, имеющий продольную ось и стопорный выступ, причем стопорный выступ расположен в области стержня с таким сечением в плоскости, перпендикулярной продольной оси, которое является большим по окружности, чем сечение стержня в других точках;

термопару, введенную внутрь стержня;

внешнюю металлическую трубку, окружающую, по меньшей мере, участок стержня;

внутреннюю металлическую трубку, расположенную между алюмооксидным стержнем и внешней металлической трубкой и выполненную с возможностью предотвращения пространственного смещения стержня относительно внешней металлической трубки; и

керамическую матричную композитную защитную оболочку, нанесенную так, что она, по существу, окружает стержень, покрывая, по меньшей мере, стержень и внешнюю металлическую трубку, причем керамическая композитная защитная оболочка сформирована из керамического волокна, расположенного в керамической матрице.

2. Температурный пробник по п.1, в котором стержень сформирован из первого элемента и второго элемента, которые выполнены с возможностью их сочленения вдоль оси пробника для формирования стержня.

3. Температурный пробник по п.2, в котором по меньшей мере один из первого и второго элементов включает в себя проточку, которая формирует канал; и при этом термопара располагается внутри канала.

4. Температурный пробник по п.1, в котором внешняя металлическая трубка имеет кромку, которая зацепляет стопорный выступ стержня, чтобы препятствовать полному прохождению стержня через внешнюю металлическую трубку.

5. Температурный пробник по п.4, в котором внутренняя металлическая трубка имеет первый конец, причем первый конец внутренней металлической трубки контактирует со стопорным выступом стержня, расположенным напротив кромки внешней металлической трубки.

6. Температурный пробник по п.5, в котором стопорный выступ стержня закреплен между первым концом внутренней металлической трубки и кромкой внешней металлической трубки.

7. Способ сборки температурного пробника по п.2, содержащий

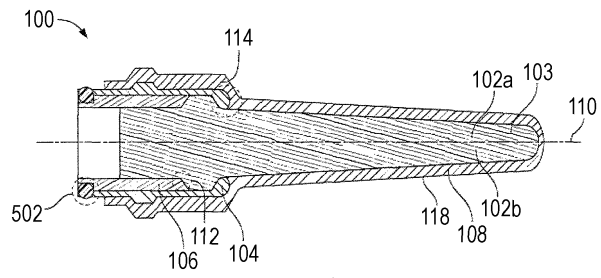
позиционирование термопары между упомянутыми первым элементом и вторым элементом;

сочленение первого элемента и второго элемента вдоль оси пробника для формирования стержня;

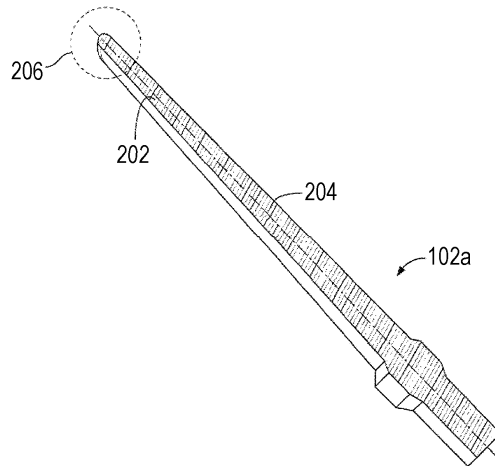
размещение внешней металлической трубки поверх, по меньшей мере, участка стержня для зацепления первого и второго элементов;

размещение внутренней металлической трубки между, по меньшей мере, участком стержня и, по меньшей мере, участком внешней металлической трубки для фиксации стержня относительно внешней металлической трубки; и

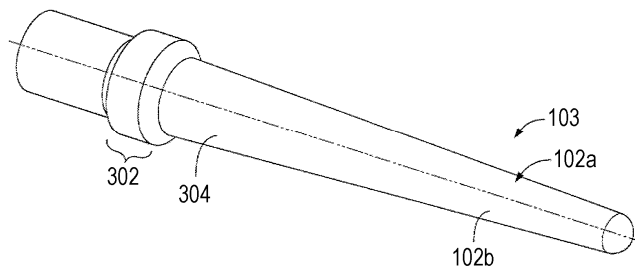
нанесение керамической матричной композитной защитной оболочки так, чтобы, по существу, окружать стержень, покрывая стержень и внешнюю металлическую трубку.



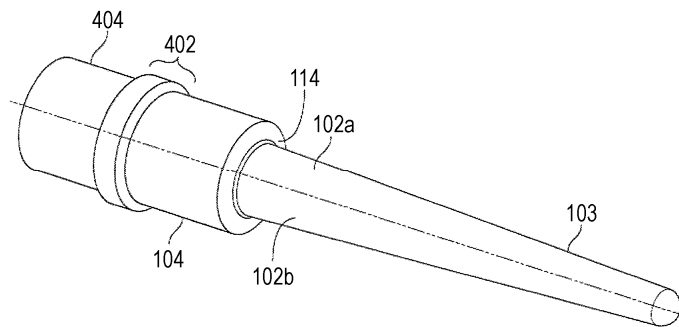
Фиг. 1



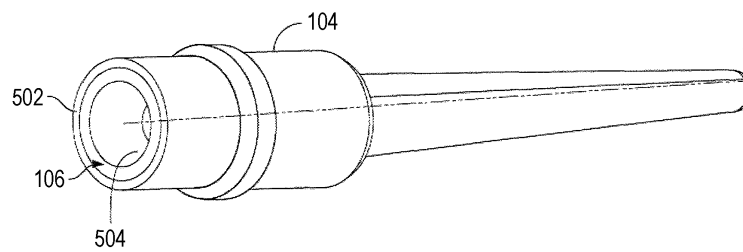
Фиг. 2



Фиг. 3



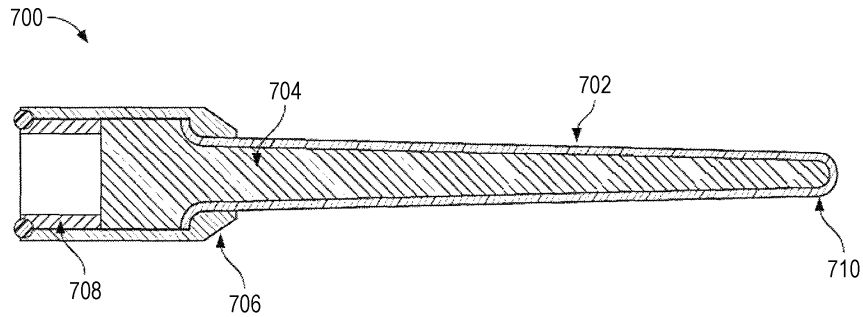
Фиг. 4



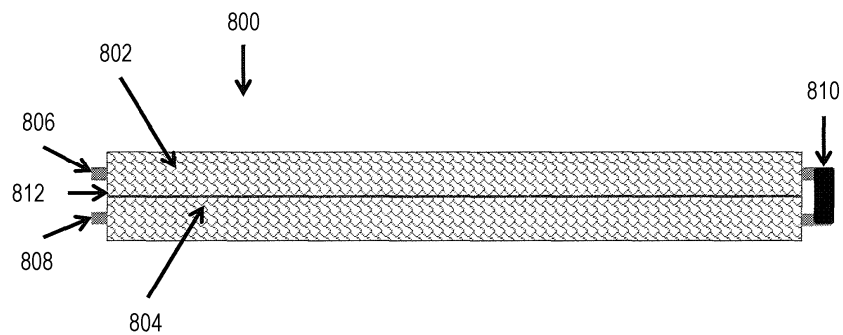
Фиг. 5



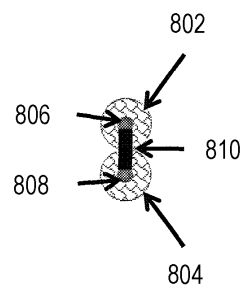
Фиг. 6



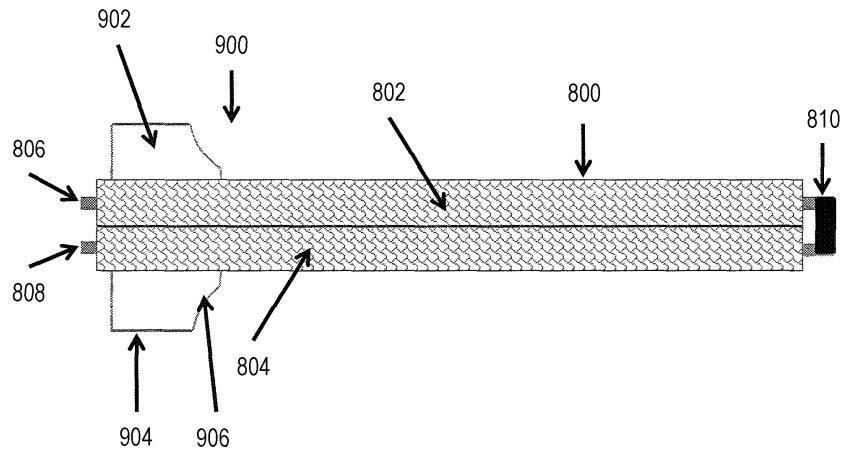
Фиг. 7



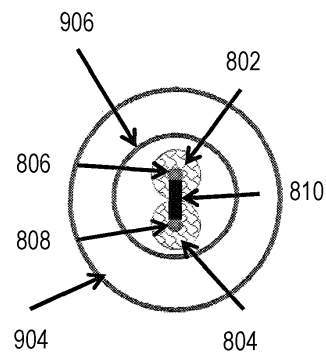
Фиг. 8А



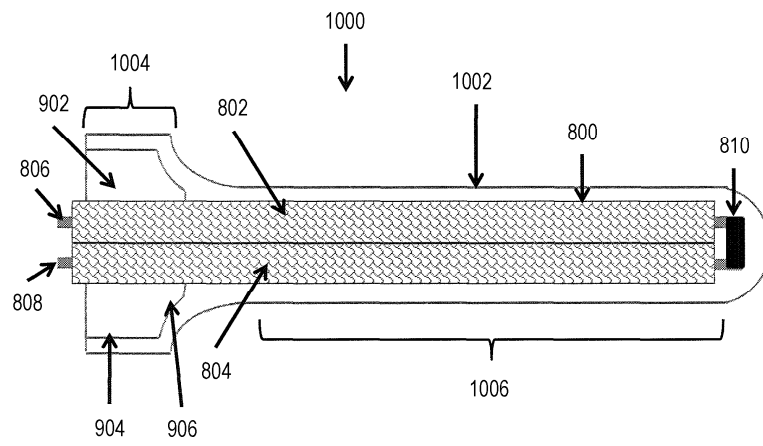
Фиг. 8В



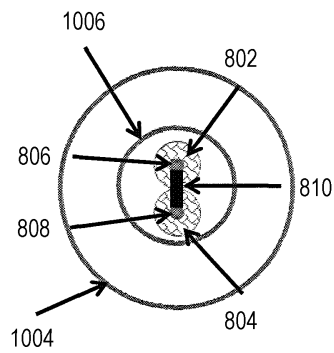
Фиг. 9А



Фиг. 9В



Фиг. 10А

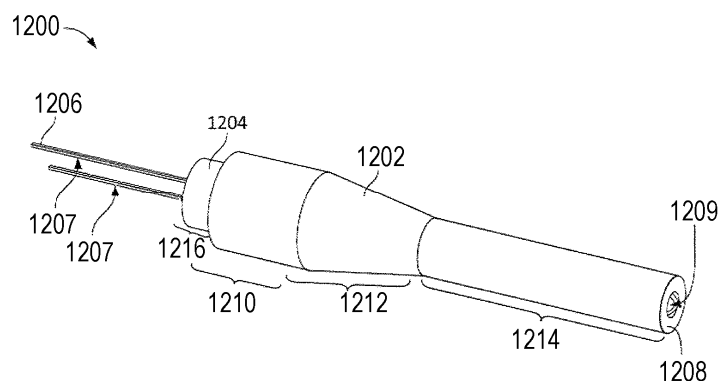


Фиг. 10В

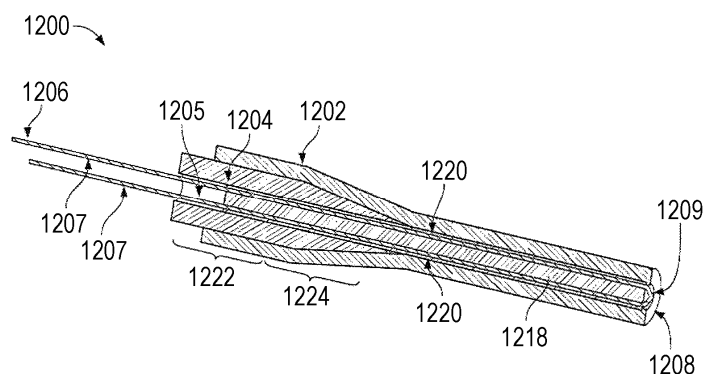
1100

- 1101 → ЗАПЛЕСТИ КЕРАМИЧЕСКОЕ ВОЛОКНО ВОКРУГ КАЖДОГО ИЗ ПРОВОДОВ ДВУХ ПОЛЯРНОСТЕЙ
- 1102 → СВАРИТЬ ДВА ПРОВОДА МЕЖДУ СОБОЙ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ТЕРМОПАРЫ
- 1104 → ИНФУНДИРОВАТЬ КЕРАМИЧЕСКОЕ ВОЛОКНО С КЕРАМИЧЕСКИМ МАТРИЧНЫМ ПРЕКУРСОРОМ
- 1106 → ПЕРЕРАБОТАТЬ ДВЕ КЕРАМИЧЕСКИЕ ВОЛОКОННЫЕ ОПЛЕТКИ В ДВА СМЕЖНЫХ СМС ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ СТЕРЖНЯ
- 1108 → НАМОТАТЬ КЕРАМИЧЕСКУЮ ОПЛЕТКУ ПОВЕРХ ОБРАБОТАННОГО ПРОВОДА/СМС ВСПОМОГАТЕЛЬНОЙ СБОРКИ
- 1109 → ИНФУНДИРОВАТЬ КЕРАМИЧЕСКУЮ ВОЛОКОННУЮ ОБЕРТКУ С КЕРАМИЧЕСКИМ МАТРИЧНЫМ ПРЕКУРСОРОМ
- 1110 → ПЕРЕРАБОТАТЬ КЕРАМИЧЕСКУЮ ВОЛОКОННУЮ ОБЕРТКУ В СМС МАТЕРИАЛ
- 1112 → ВСТАВИТЬ СТЕРЖЕНЬ ВНУТРЬ КЕРАМИЧЕСКОГО ОСНОВАНИЯ И ПОКРЫТЬ СТЕРЖЕНЬ И ОСНОВАНИЕ ЗАЩИТНОЙ ОБОЛОЧКОЙ

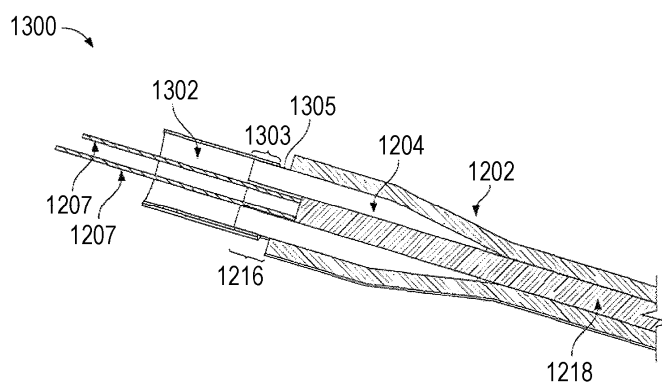
Фиг. 11



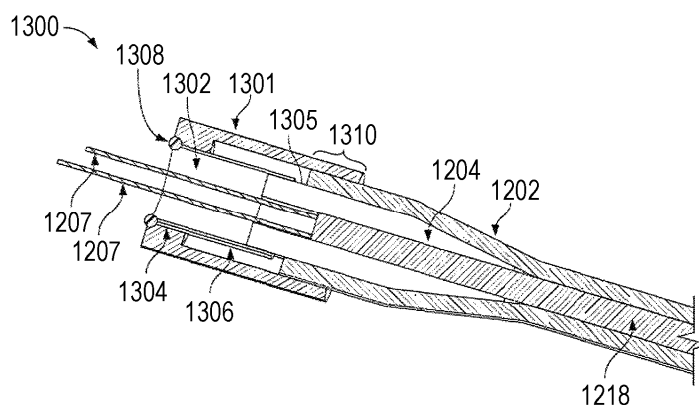
Фиг. 12А



Фиг. 12В



Фиг. 13А



Фиг. 13В

1400

- |      |   |                                                                                    |
|------|---|------------------------------------------------------------------------------------|
| 1402 | → | СВАРИТЬ ДВА ПРОВОДА МЕЖДУ СОБОЙ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ТЕРМОПАРЫ                         |
| 1404 | → | СФОРМИРОВАТЬ ВСТАВКУ С КАНАЛАМИ                                                    |
| 1406 | → | УСТАНОВИТЬ СВАРЕННЫЕ ПРОВОДА ЧЕРЕЗ КАНАЛЫ ВНУТРИ ВСТАВКИ                           |
| 1408 | → | РАЗМЕСТИТЬ ОСНОВАНИЕ ПРОБНИКА ЗА КОНЕЦ ВСТАВКИ С ПРОВОДАМИ                         |
| 1410 | → | НАМОТАТЬ КЕРАМИЧЕСКУЮ ОПЛЕТКУ ПОВЕРХ ВСТАВКИ И СОЕДИНЕНИЯ ОСНОВАНИЯ ПРОБНИКА       |
| 1412 | → | ИНФУНДИРОВАТЬ КЕРАМИЧЕСКУЮ ВОЛОКОННУЮ ОБЕРТКУ С КЕРАМИЧЕСКИМ МАТРИЧНЫМ ПРЕКУРСОРОМ |
| 1414 | → | ПЕРЕРАБОТАТЬ КЕРАМИЧЕСКУЮ ВОЛОКОННУЮ ОБЕРТКУ В СМС МАТЕРИАЛ                        |
| 1416 | → | СПЯТЬ ТВЕРДЫМ ПРИПОЕМ МЕТАЛЛИЧЕСКОЕ ОСНОВАНИЕ С ОСНОВАНИЕМ ПРОБНИКА                |

Фиг. 14



Евразийская патентная организация, ЕАПВ

Россия, 109012, Москва, Малый Черкасский пер., 2