

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2016127250, 06.07.2016

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
06.07.2016Дата регистрации:
13.02.2017

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 06.07.2016

(45) Опубликовано: 13.02.2017 Бюл. № 5

Адрес для переписки:

105005, Москва, ул. 2-я Бауманская, 5, стр. 1,
МГТУ им. Н.Э. Баумана, ЦЗИС, для Нелюба
В.А. (МИЦ КМ)

(72) Автор(ы):

Нелюб Владимир Александрович (RU),
Буянов Иван Андреевич (RU),
Бородулин Алексей Сергеевич (RU),
Муранов Александр Николаевич (RU),
Головатов Дмитрий Александрович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования "Московский государственный
технический университет имени Н.Э.
Баумана (национальный исследовательский
университет)" (МГТУ им. Н.Э. Баумана) (RU)(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: JP 60200601 A 11.10.1985. JP
60066503 A 16.04.1985. JP 60062703 A
10.04.1985. RU 2577918 C1 20.03.2016. JP
2002076755 A 15.03.2002.

(54) Терморазмеростабильный СВЧ-волновод с высокой весовой эффективностью

(57) Реферат:

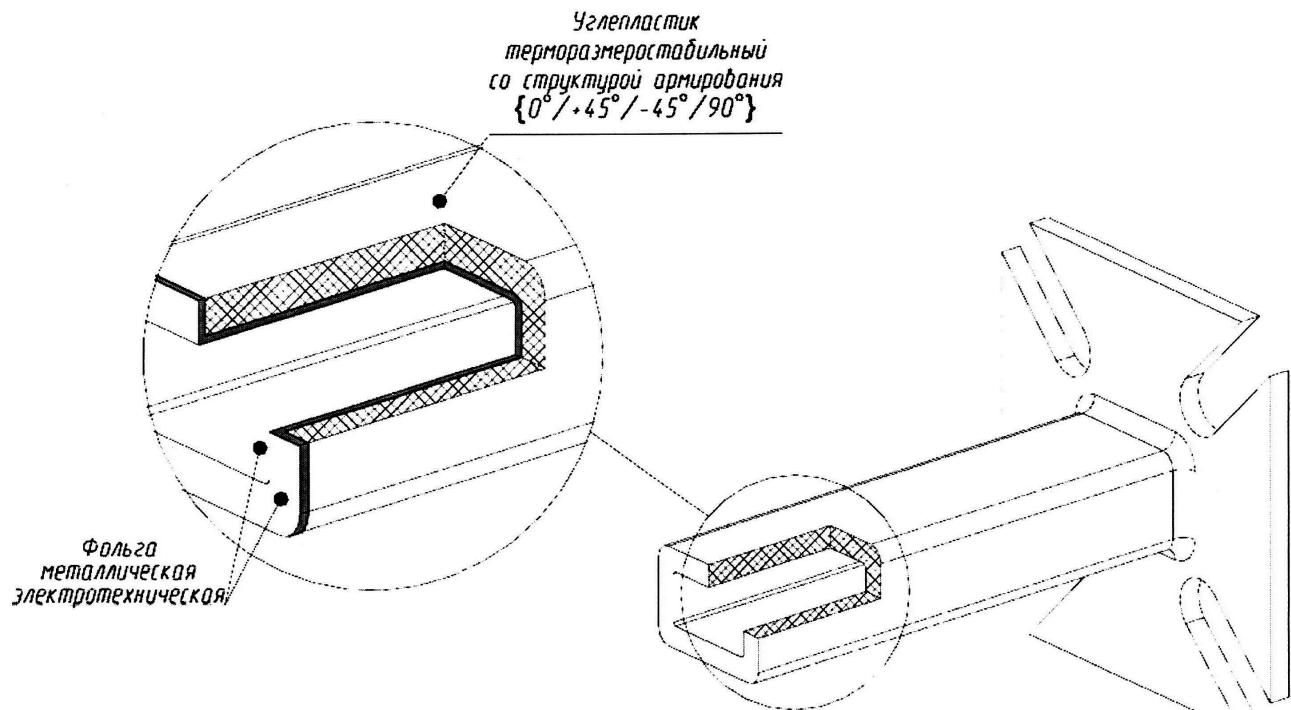
Полезная модель относится к полым СВЧ-волноводам, конкретнее к их конструкциям из полимерных композитных материалов с высокой весовой эффективностью и термостабильностью для применения в ракетно-космической технике, СВЧ-волноводам с высокой весовой эффективностью и терморазмеростабильностью, в качестве силового несущего материала конструкции волновода полимерного композиционного материала используют углепластик со структурой армирования волокон {0°/+45°/-45°/90°}. Причем углы ориентации армирующего в углепластике приведены относительно направления наиболее протяженной волнопроводящей поверхности волновода, а металлическое покрытие волноводного отверстия выполнено фольгой металлической электротехнического назначения с толщиной не менее 50 мкм, выстланной и приформованной к внутренней поверхности силового несущего материала конструкции волновода в процессе его изготовления, а именно: на жесткую поверхность

формообразующей оснасти, покрытую антиадгезионным разделительным составом, выкладывают слой металлической фольги с защищенными и обезжиренными поверхностями, далее наматывают либо выкладывают вышеуказанный углеродный армирующий материал, далее производят пропитку и отверждение связующего, после чего готовый волновод с фольгой, приформованной в волноводном отверстии, снимают с оснастки. Надежное закрепление металлической фольги к внутренней поверхности углепластикового волновода обеспечивается за счет адгезии используемого в углепластике связующего, выступающего по отношению к металлической фольге в качестве клеевого соединения. Стабильность геометрических размеров и формы токопроводящей поверхности, образованной металлической фольгой, обеспечивается внешней жесткой и прочной терморазмеростабильной оболочкой из углепластика. Техническим результатом является создание волновода с

1
2
3
4
5
6
7
8
9
R
U
1
6
8
6
3
9
U
1
6
8
6
3
9
R
UR
U
1
6
8
6
3
9
U
1

высокой весовой эффективностью, со стабильными в широком интервале эксплуатационных температур геометрическими

размерами (терморазмеростабильного волновода) и стабильными электротехническими характеристиками. 2 з.п. ф-лы. 5 ил.



Фиг.1

R U 1 6 8 6 3 9 U 1
R U 1 6 8 6 3 9

R U 1 6 8 6 3 9 U 1

Область техники

Полезная модель относится к полым СВЧ-волноводам, конкретнее к их конструкциям из полимерных композитных материалов с высокой весовой эффективностью и термостабильностью для применения в ракетно-космической технике.

5 Уровень техники

Волноводные линии передачи СВЧ-сигнала нашли широкое применение в современных системах электросвязи: радио и телевидении, системах наведения и локации, устройствах связи, навигационных системах, эхолотах и измерительной аппаратуре. Высокие требования, предъявляемые развитием изделий ракетно-космической и 10 специальной техники, предопределяют необходимость совершенствования целевых эксплуатационных и функциональных характеристик волноводов.

Известны традиционные линии передачи сверхвысоких частот, выполненные по ГОСТ 18238-72 и изготовленные из волноводных медных или латунных труб прямоугольного сечения по ГОСТ 20900-75, их номенклатура соответствует

15 номенклатуре Международной электротехнической комиссией (МЭК) - International Electrotechnical Commission (IEC), а также стандартами, принятыми в США - Energy Information Administration (EIA).

Известны СВЧ-волноводы, использующие полимерные композитные материалы, для применения в ракетно-космической технике в условиях открытого космического 20 пространства и описанные в следующих патентах.

«Антенно-фидерное СВЧ-устройство из углекомпозитного материала и способ его изготовления» (патент РФ RU 2577918, МПК H01B 3/00, H01P 11/00, опубликовано: 20.03.2016) описывает волноводный элемент, полностью выполненный из графеносодержащего углекомпозитного материала с высокой электропроводимостью.

25 При этом углеродные волокна расположены в плоскости, перпендикулярной оси волноводного элемента. На внутреннюю часть заготовки волноводного элемента СВЧ-устройства наматывают требуемое число слоев углекомпозитной нити или ткани. В дальнейшем на подготовленное изделие надевают внешнюю часть заготовки-матрицы и в результате нагрева методом вакуумного формования достигают устранение

30 шероховатости поверхности. Отделяют внешнюю и внутреннюю матрицы и получают волноводный элемент. Технический результат - повышение прочности, снижение массогабаритных характеристик, упрощение процедуры изготовления. Характерным признаком заявляемого СВЧ-устройства является материал, из которого оно изготовлено, имеющий высокую электропроводность. Он может обладать анизотропной

35 электропроводностью, позволяющей варьировать параметры устройства.

Основной недостаток волновода, описанного в патенте RU 2577918, заключается в том, что он не обладает свойством терморазмеростабильности.

Изобретение «METAL PLATED BODY COMPOSED OF GRAPHITE FIBRE EPOXY COMPOSITE» (патент США US 3982215, МПК H01P 1/208; H01P 1/20; H01P 3/12; H01P

40 11/00, опубликовано: 1976-09-21) можно считать более близким аналогом предлагаемой полезной модели. В патенте описан волновод из углепластика с эпоксидным связующим и электропроводящими тонкими металлическими слоями на поверхностях тела (силового конструкционного материала) волновода: более тонким слоем никеля и утолщенным слоем меди сверху слоя никеля (также еще может быть сверху слоя меди слой из серебра

45 и слой золота сверху серебра). Волновод изготавливают из углепластика, затем гладким поверхностям (внутренним и внешним) углепластикового волновода придают небольшую шероховатость и после этого на эти шероховатые поверхности последовательно наносят металлические электропроводящие слои из никеля и меди

электрохимическими способами.

Недостатком волновода, описанного в патенте US 3982215, является сложность многослойного металлического покрытия углепластикового тела волновода и технологии его изготовления и сильная зависимость характеристик конечного устройства от режимов технологии и уровня производства. Кроме того, данный волновод не является терморазмеростабильным.

Изобретение «FIBER REINFORCED PLASTIC COMPOUND AND WAVEGUIDE AND SEAT PLATE FOR TRAVELLING WAVE TUBE USING SAID COMPOUND» (патент Японии JPS 6062703, МПК H01J 23/12; H01P 11/00; H01P 3/12, опубликовано 1985-04-

10) можно считать прототипом предлагаемой полезной модели. В данном патенте описан волновод с повышенной весовой эффективностью и долговечностью, силовой конструкционный материал которого выполнен из трехслойного усиленного волокнами (волокнистого) полимерного композиционного материала (включающего усиленный волокнами стеклопластик и смесь этого стеклопластика с графитовыми (угольными) волокнами и арамидными волокнами разных варьируемых длин) с регулируемым градиентным изменением коэффициентов линейного термического расширения (КЛТР), причем КЛТР внутреннего слоя практически равен КЛТР пленочного токопроводящего металлического покрытия во избежание расслаивания слоев волновода и металлического покрытия и его растрескивания от воздействия экстремальных температурных перепадов 20 открытого космоса. В качестве токопроводящего материала волноводного отверстия использовано тонкослойное (толщиной 10-20 мкм) металлическое покрытие из преимущественно меди (или алюминия или серебра), наносимым в отверстие волновода парофазовым способом переноса металла или гальваническим электролизом. Схожие черты изобретения-прототипа (патент JPS 6062703) с предлагаемой полезной моделью 25 заключаются в использовании в качестве силового материала конструкции волокнистого полимерного композиционного материала, а также в использовании в качестве электропроводящего материала волнопроводящего отверстия тонкослойного металлического покрытия.

Однако, для предотвращения расслоения материалов из-за различных температурных деформаций в прототипе использован многослойный материал с градиентными по 30 толщине КЛТР, причем КЛТР внутреннего слоя практически равен КЛТР пленочного токопроводящего металлического покрытия. При этом прототипный волновод является достаточно сложным по конструкции (многослойным) и технологии изготовления и не обладает в достаточной степени свойством терморазмеростабильности.

35 Раскрытие полезной модели

Основным отличием предлагаемой полезной модели от приведенных аналогов и прототипа является создание именно терморазмеростабильного волновода (КЛТР углепластика не более $1 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$), что достигается путем использования углепластика с оптимизированной, строго определенной угловой структурой армирования; создание же электропроводящей поверхности волноводного отверстия обеспечивается путем 40 использования стандартной (гостиранной) металлической фольги из электротехнических сплавов, надежно соединенной с внутренней поверхностью волноводного отверстия посредством приформовывания фольги к внутренней поверхности волновода в процессе его изготовления: на жесткую поверхность 45 формообразующей оснастки, покрытой антиадгезионным разделительным составом послойно выкладывают фольгу, затем - неотверженный углепластик, после чего производят отверждение и волновод снимают с оправки. Оптимизация структуры армирования углепластика для обеспечения терморазмеростабильности волновода, по

мнению авторов, приводит к практическому отсутствию влияния сложных и переменных термических деформаций, возникающих в условиях открытого космоса на электротехнические характеристики волновода.

При этом также преимущество предлагаемой полезной модели заключается в

5 простоте конструкции и технологии ее изготовления, не требующей множества технологических операций по электрохимическому нанесению покрытий. Кроме того, использование типового элемента - стандартной (гостированной) металлической электротехнической фольги обеспечивает стабильные качественные электротехнические характеристики волновода.

10 Таким образом, техническим результатом полезной модели является создание волновода с высокой весовой эффективностью, со стабильными в широком интервале эксплуатационных температур геометрическими размерами (терморазмеростабильного волновода) и стабильными электротехническими характеристиками.

15 Технический результат достигается за счет использования в СВЧ-волноводе с высокой весовой эффективностью и терморазмеростабильностью в качестве силового несущего материала конструкции волновода полимерного композиционного материала - углепластика со структурой армирования волокон {0°/+45°/-45°/90°}, причем углы ориентации армирующего в углепластике приведены относительно направления наиболее протяженной волнопроводящей поверхности волновода, а металлическое

20 покрытие волноводного отверстия выполнено фольгой металлической электротехнического назначения с толщиной не менее 50 мкм, выстланной и приформованной к внутренней поверхности силового несущего материала конструкции волновода в процессе его изготовления, а именно: на жесткую поверхность формообразующей оснастки, покрытую антиадгезионным разделительным составом,

25 выкладывают слой металлической фольги с защищенными и обезжиренными поверхностями, далее наматывают либо выкладывают вышеуказанный углеродный армирующий материал, далее производят пропитку и отверждение связующего, после чего готовый волновод с фольгой, приформованной в волноводном отверстии, снимают с формообразующей оснастки.

30 В качестве армирующего углеродного материала возможно применение любых непрерывных ориентированных углеродных наполнителей, обеспечивающих необходимую жесткость и прочность материала и конструкции: углеродных нитей, лент либо тканей. Например, возможно применение углеродных волокон марок Torayca, Toho Tenax либо волокон российского производства марки УКН. В качестве связующего

35 материала предусмотрено применение эпоксидного компаунда марки ЭХД-МД или любых других типов связующего, обеспечивающих высокие физико-механические характеристики углепластика в широком интервале рабочих температур. При этом толщина углепластиковых стенок волновода варьируется от 1,0 до 3,5 мм в соответствии с типоразмером волновода.

40 Металлическая фольга обеспечивает целевые значения электротехнических характеристик токопроводящего скин-слоя, изотропию и однородность этих характеристик, а именно: удельное электрическое сопротивление менее 0,03 ($\text{Ом} \times \text{мм}^2/\text{м}$); относительная магнитная проницаемость 1,06 и менее. В качестве материала используемой фольги могут быть применены стандартные электротехнические сплавы алюминия, меди, серебра, золота, например, фольга СрМ925 0,05×125 Р по ГОСТ 24552-2014.

Надежное закрепление металлической фольги к внутренней поверхности углепластикового волновода обеспечивается за счет адгезии используемого в

углепластике связующего, выступающего по отношению к металлической фольге в качестве клеевого соединения.

Стабильность геометрических размеров и формы токопроводящей поверхности, образованной металлической фольгой, обеспечивается внешней жесткой и прочной 5 терморазмеростабильной оболочкой из углепластика. Совместная работа углепластика и фольги обеспечивается посредством надежного клеевого соединения, сформировавшегося между приформованной фольгой и углепластиком в процессе пропитки и отверждения связующего. Так, при существенных изменениях температур 10 терморазмеростабильный углепластик сохраняет форму и размеры волновода и токопроводящей поверхности из фольги, т.е. напряженное состояние углепластика может изменяться при практической неизменности геометрических размеров и формы оболочки и фольги, что является залогом терморазмеростабильности всего волновода.

Перечень фигур

Сущность заявленного устройства поясняется графическими материалами:

- 15 фиг. 1 - конструкция терморазмеростабильного СВЧ-волновода с высокой весовой эффективностью;
- фиг. 2. - расчетные зависимости продольного и поперечного КЛТР углепластика от угла взаимной ориентации армирующих волокон;
- фиг. 3 - общий вид и габаритные размеры образца терморазмеростабильного СВЧ-20 волновода с высокой весовой эффективностью для космической разметростабильной антенны;
- фиг. 4 - общий вид и габариты пространственной композитной конструкции (космической разметростабильной антенны) с высокой весовой эффективностью и термостабильностью для ракетно-космической техники;
- 25 фиг. 5 - увеличенное изображение узла крепления и линия передачи сигнала в составе пространственной композитной конструкций с высокой весовой эффективностью и термостабильностью для ракетно-космической техники.

Осуществление полезной модели

Создание композитных конструкций (в том числе предлагаемого волновода) с

- 30 высокой весовой эффективностью и термостабильностью возможно реализовать, например, за счет использования технологии (способа) сухого плетения, либо намотки, либо выкладки совместно с технологией (способом) пропитки RTM (VARTM), либо иных технологий (способов) формования изделий из полимерных композиционных материалов, обеспечивающих необходимое качество: температурный диапазон 35 работоспособности от минус 150°C до плюс 120°C; снижение физико-механических характеристик при температуре плюс 120°C не более 20%; возможность эксплуатации готового изделия в условиях космического вакуума.

- На фиг. 1 представлена конструкция терморазмеростабильного СВЧ-волновода с высокой весовой эффективностью, выполненная из терморазмеростабильного 40 углепластика с токопроводящим покрытием волноводного отверстия из металлической электротехнической фольги. Помимо самого волноводного тракта (волновода) также показан присоединительный фланец, форма и размеры которого также являются типовыми и определяются размерами волновода. Типовые размеры волноводных 45 соединительных фланцев приведены в номенклатуре волноводов Международной электротехнической комиссией (МЭК) - International Electrotechnical Commission (IEC), а также стандартами, принятыми в США - Energy Information Administration (EIA). Конкретное исполнение соединительного фланца может быть различным, однако в случае терморазмеростабильного углепластикового волновода, фланец может

изготавливаться как единое цельное изделие с волнопроводящим трактом, так и как отдельное изделие, образующее с волнопроводящим трактом разъемное соединение.

Терморазмеростабильный СВЧ-волновод с высокой весовой эффективностью

представляет собой волновод, изготовленный из полимерного композиционного

материала - углепластика со структурой армирования $\{0^\circ/+45^\circ/-45^\circ/90^\circ\}$, за счет чего обеспечивается терморазмеростабильность материала и конструкции волновода, а также весовая эффективность. Данная структура армирования определена в результате расчета коэффициентов термического расширения композиционного материала модели волновода с варьируемыми углами укладки армирующего наполнителя. Иллюстрация результатов данного расчета приведена на фиг. 2, где хорошо видно, что именно при угле взаимной ориентации армирующего равном 45° , продольные и поперечные КЛТР углепластика одновременно близки к нулевому значению (см. точку пересечения обоих графиков КЛТР).

Терморазмеростабильный СВЧ-волновод с высокой весовой эффективностью имеет

стандартные геометрические размеры и форму, предусмотренные типовой номенклатурой типоразмеров: ГОСТ 20900-75, номенклатурой Международной электротехнической комиссии (МЭК) - International Electrotechnical Commission (IEC), а также стандартами, принятыми в США - Energy Information Administration (EIA).

Внутренняя волнопроводящая поверхность углепластикового волновода выстлана

фольгой металлической электротехнического назначения, что обеспечивает целевые значения электротехнических характеристик токопроводящего скин-слоя, изотропию и однородность этих характеристик, а именно: удельное электрическое сопротивление менее $0,03 (\Omega \cdot \text{мм}^2)/\text{м}$; относительная магнитная проницаемость 1,06 и менее. Толщина используемой фольги должна быть не менее 50 мкм, что обеспечивает технологичность ее использования при изготовлении волновода. Фольгу приформовывают к внутренней

поверхности волновода в процессе его изготовления: на жесткую поверхность формообразующей оснастки, покрытую антиадгезионным разделительным составом, выкладывается слой металлической фольги с защищенными и обезжиренными

поверхностями, далее наматывается либо выкладывается углеродный армирующий материал, далее происходит пропитка и отверждение связующего, после чего готовый волновод с приформованной фольгой снимают с оснастки. В качестве материала используемой фольги могут быть применены стандартные электротехнические сплавы алюминия, меди, серебра, золота и других металлов. Надежное закрепление

металлической фольги к внутренней поверхности углепластикового волновода обеспечивается за счет адгезии используемого в углепластике связующего, выступающего по отношению к металлической фольге в качестве клеевого соединения. В качестве материала используемой фольги могут быть применены стандартные

электротехнические сплавы алюминия, меди, серебра, золота и других металлов, например, использование фольги СрМ925 0,05×125 Р по ГОСТ 24552-2014. Стабильность

геометрических размеров и формы токопроводящей поверхность, образованной металлической фольгой, обеспечивается внешней жесткой и прочной терморазмеростабильной поверхностью-оболочкой из углепластика. Совместная работа углепластика и фольги обеспечивается посредством клеевого соединения,

сформировавшегося между фольгой и углепластиком в процессе пропитки и отверждения связующего. Так, при изменении температур углепластик сохраняет форму и размеры волновода и токопроводящей поверхности из фольги, т.е. напряженное состояние углепластика может изменяться при сохранении геометрических размеров и формы волновода, что является залогом терморазмеростабильности.

Пример осуществления полезной модели

Образец устройства полезной модели (терморазмеростабильного СВЧ-волновода с высокой весовой эффективностью) изготовлен и использован при проектировании и создании пространственных композитных конструкций с высокой весовой

5 эффективностью и термостабильностью для ракетно-космической техники, в рамках работ по Соглашению о предоставлении субсидии №14.577.21.0130 от 28 октября 2014 г. с Министерством образования и науки Российской Федерации. Уникальный идентификатор прикладных научных исследований (проекта) RFMEFI57714X0130.

Общий вид используемого терморазмеростабильного СВЧ-волновод с высокой

10 весовой эффективностью показан на фиг. 3. Его габаритные размеры следующие: $a=7,1\pm0,05$ мм; $b=3,6\pm0,05$ мм; $S=1,1\pm0,15$ мм; $A=B=27,5\pm0,5$ мм; $D=13,0\pm0,5$ мм, $L=36\pm1,0$ мм. Волновод имеет следующие эксплуатационные характеристики: рекомендуемый частотный диапазон работы от 26,50 ГГц до 40,00 ГГц; граничные частоты работы от 21,07 ГГц до 42,15 ГГц; при следующих размерах волноводного отверстия: ширина $a=7,1\pm0,05$ мм; высота $b=3,6\pm0,05$ мм, что обеспечивается полировкой «в размер». В качестве материала силовой формообразующей конструкции волновода был использован углепластик на основе армирующего М46 Тогуса и связующего ЭХД-МД.

Структурная формула указанного ламинита имеет вид: $\{0^\circ/+45^\circ/-45^\circ/90^\circ\}$, данная структура углепластикового ламинаата обеспечивает терморазмеростабильность 20 конструкции волновода, что способствует стабильности целевых электротехнических характеристик волновода. Использование в качестве материала корпуса волновода углепластика с плотностью 1500 ± 100 кг/м³ обеспечивает облегчение каждого метра волновода как минимум в 5 раз по сравнению с традиционными латунными и медными 25 волноводами, плотность материала которых лежит в диапазоне от 8500 до 8900 кг/м³. В качестве материала волнопроводящего отверстия волновода использована фольга СрМ925 0,05×125 Р по ГОСТ 24552-2014. Для уменьшения коэффициента потерь волновода перед его вводом в эксплуатацию необходима полировка токонесущей 30 поверхности фольги металлической войлочным притиром (войлок технический полутороборстный ГОСТ 6308-71), что позволило добиться шероховатости токопроводящей поверхности Ra, равной 0,03 мкм.

Пример конкретного использования данного образца терморазмеростабильного СВЧ-волновода в составе пространственной композитной конструкций с высокой весовой эффективностью и термостабильностью для ракетно-космической техники 35 приведен на фиг. 4 и фиг. 5. На фиг. 4 приведены общий вид и габариты пространственной композитной конструкций с высокой весовой эффективностью и термостабильностью для ракетно-космической техники, где 1 - пространственная композитная конструкция; 2 - параболический антенный рефлектор; 3 - элемент силовой пространственной фермы, предназначенный для крепления волновода. На фиг. 5 40 увеличено изображен узел крепления и линия передачи сигнала в составе пространственной композитной конструкций с высокой весовой эффективностью и термостабильностью для ракетно-космической техники: позиция 3 - элемент силовой пространственной фермы, предназначенный для крепления волновода; 4 - переходная пластина-крепление; 5 - приемопередающее устройство (диод Ганна); 6 - 45 терморазмеростабильный СВЧ-волновод с высокой весовой эффективностью.

(57) Формула полезной модели

1. СВЧ-волновод с высокой весовой эффективностью и терморазмеростабильностью, использующий в качестве силового несущего материала конструкции полимерного

композиционного материала - усиленного волокнами углепластика и тонкослойного токопроводящего электротехнического материала волноводного отверстия в виде тонкослойного металлического покрытия, отличающийся тем, что углепластик имеет структуру армирования волокон {0°/+45°/-45°/90°}, причем углы ориентации

- 5 армирующего в углепластике приведены относительно направления наиболее протяженной волнопроводящей поверхности волновода, а металлическое покрытие волноводного отверстия выполнено фольгой металлической электротехнического назначения с толщиной не менее 50 мкм, выстланной и приформованной к внутренней поверхности силового несущего материала конструкции волновода в процессе его
- 10 изготовления, а именно с возможностью на жесткую поверхность формообразующей оснастки, покрытую антиадгезионным разделительным составом, выкладывания слоя металлической фольги с защищенными и обезжиренными поверхностями, далее наматывания либо выкладывания вышеуказанного углеродного армирующего материала, далее пропитки и отверждения связующего, после чего снятия готового
- 15 волновода с фольгой, приформованной в волноводном отверстии, с формообразующей оснастки.

2. СВЧ-волновод по п. 1, отличающийся тем, что в качестве армирующего углеродного материала возможно применение любых непрерывных ориентированных углеродных наполнителей, обеспечивающих необходимую жесткость и прочность

- 20 материала и конструкции: углеродных нитей, лент либо тканей, преимущественно возможно применение углеродных волокон марок Torayca, Toho Tenax либо волокон российского производства марки УКН; в качестве связующего материала предусмотрено применение эпоксидного компаунда марки ЭХД-МД или любых других типов связующего, обеспечивающих высокие физико-механические характеристики
- 25 углепластика в широком интервале рабочих температур, при этом толщина углепластиковых стенок волновода варьируется от 1,0 до 3,5 мм в соответствии с типоразмером волновода.

3. СВЧ-волновод по п. 1, отличающийся тем, что металлическая фольга обеспечивает целевые значения электротехнических характеристик токопроводящего скин-слоя,

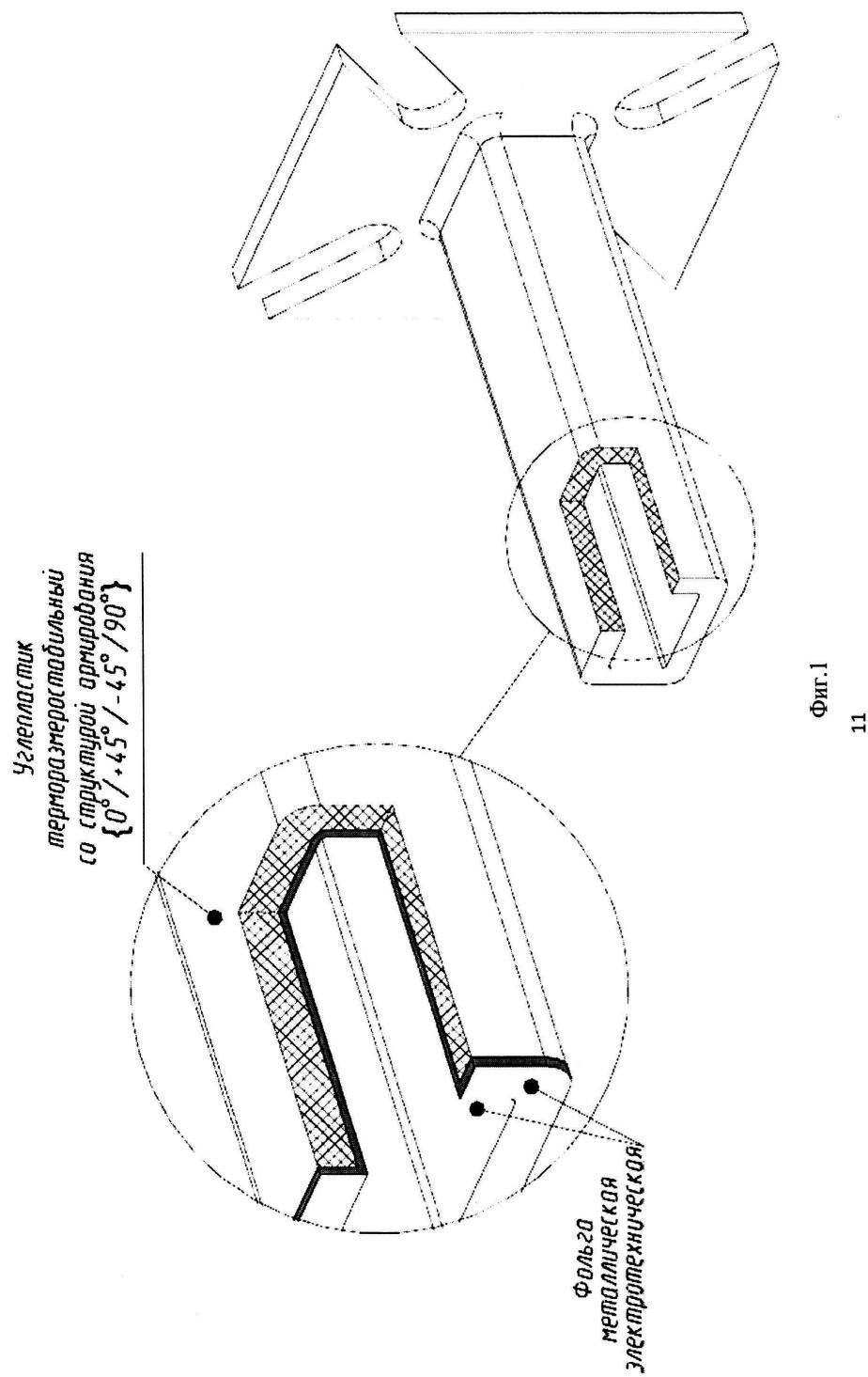
- 30 изотропию и однородность этих характеристик, а именно: удельное электрическое сопротивление менее 0,03 ($\text{Ом} \times \text{мм}^2/\text{м}$); относительная магнитная проницаемость 1,06 и менее, преимущественно использование фольги марки СрМ925 0,05×125 Р, также в качестве материала используемой фольги могут быть применены стандартные
- 35 электротехнические сплавы алюминия, меди, серебра, золота.

35

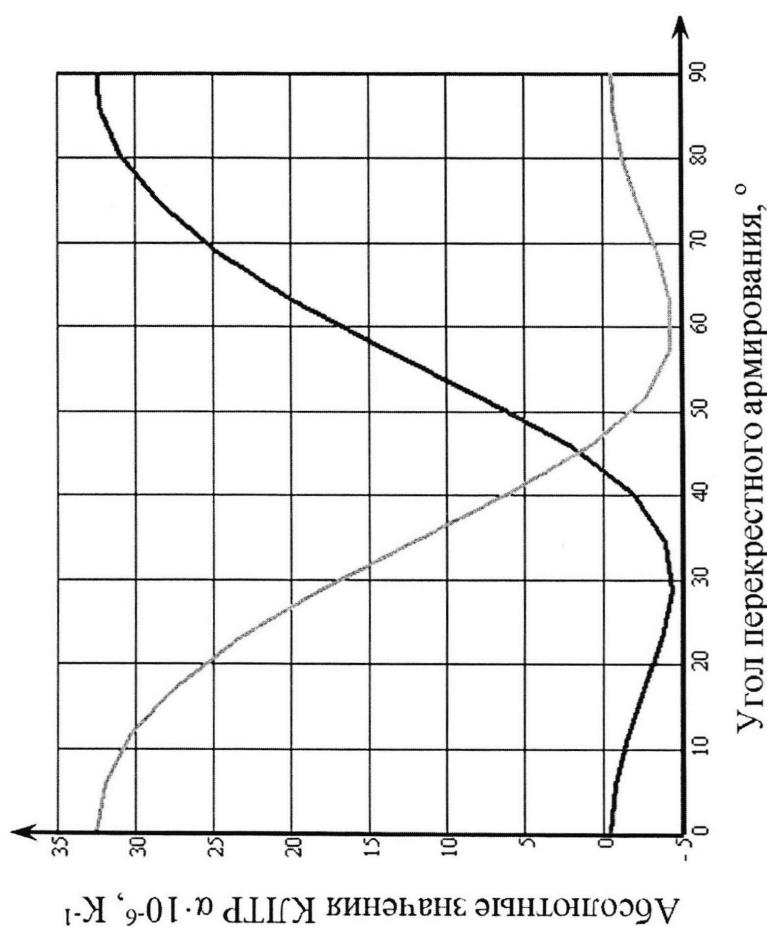
40

45

1

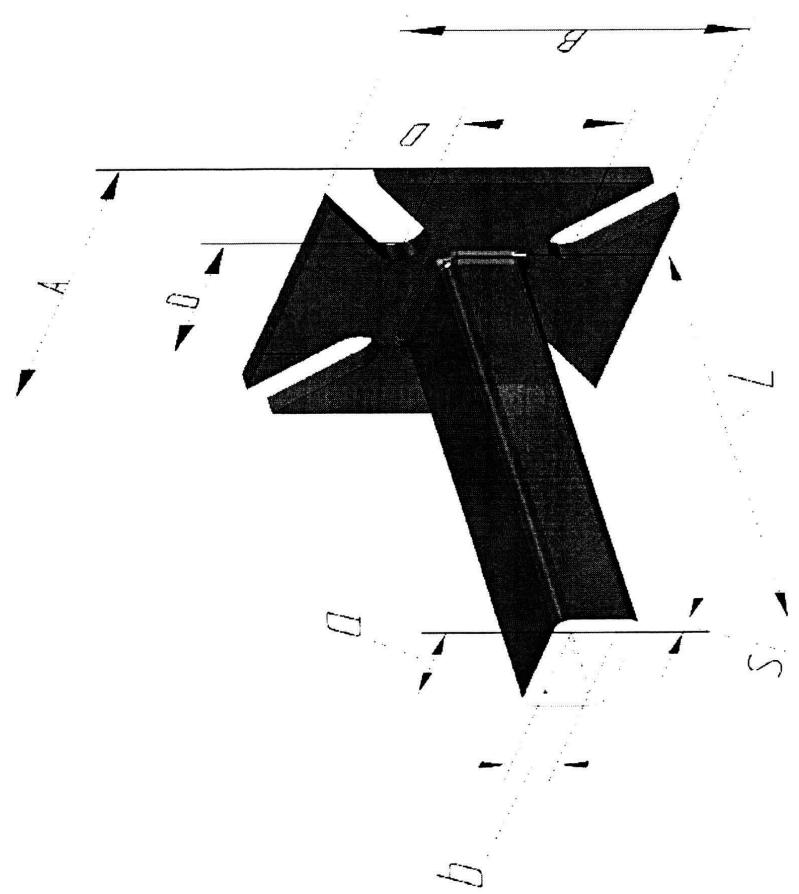


2



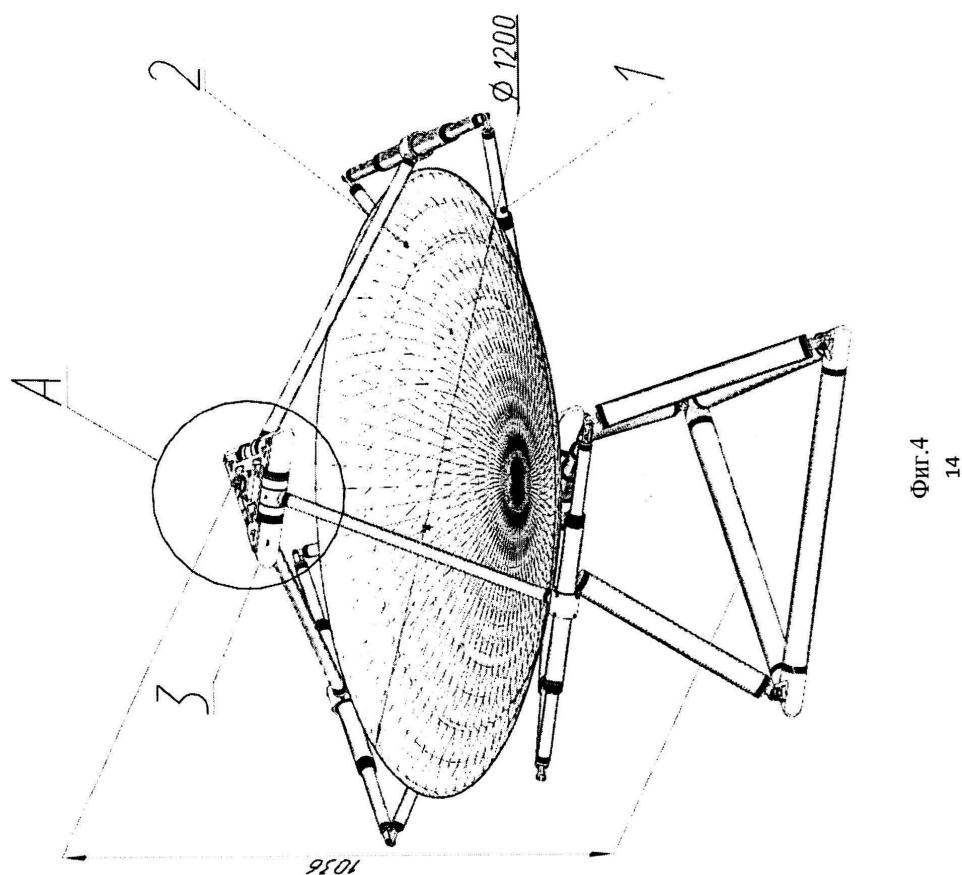
Фиг.2

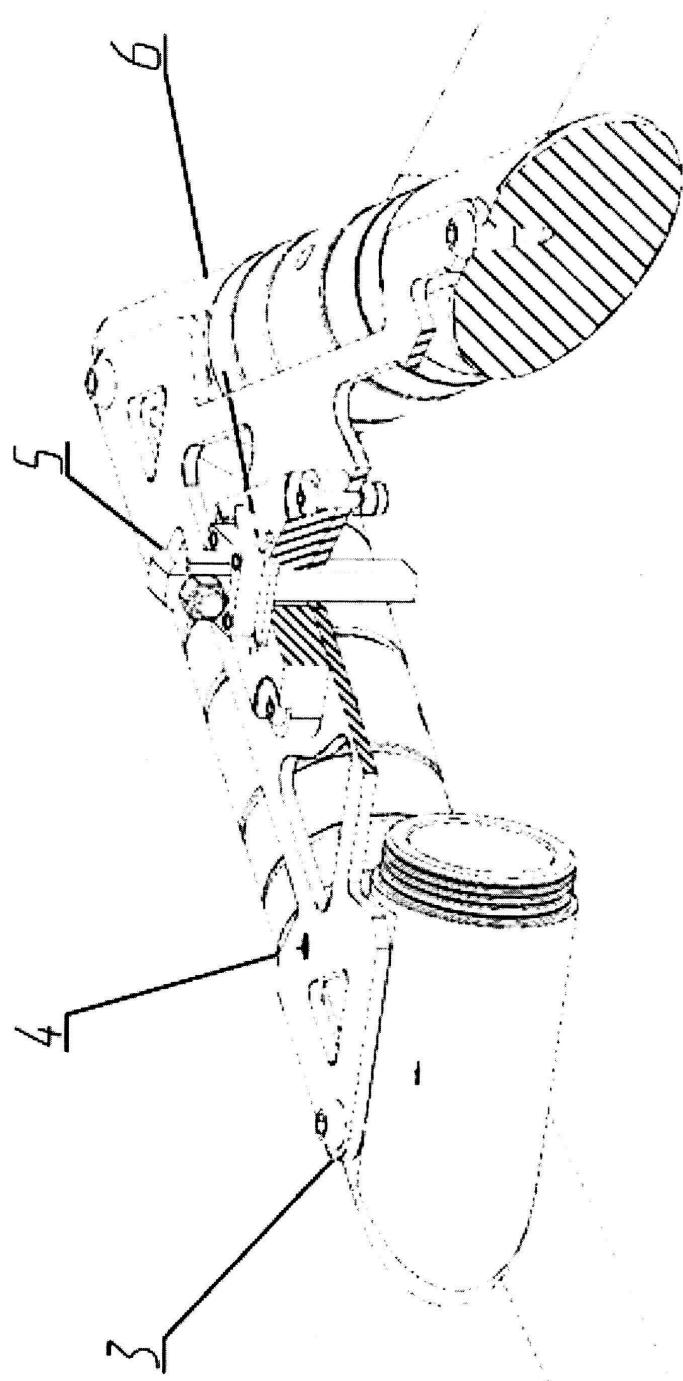
12



Фиг.3

13





Фиг.5

15