



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

**(12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ**

(21)(22) Заявка: 2016151640, 27.12.2016

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
27.12.2016

Дата регистрации:  
12.07.2017

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 27.12.2016

(45) Опубликовано: 12.07.2017 Бюл. № 20

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)**

(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: RU 2168820 C1, 10.06.2001. US  
5440320 A1, 08.08.1995. US 5049354 A1,  
17.09.1991. JP 2007274563 A, 18.10.2007. US  
6064352 A1, 16.05.2000 .

(54) Технологическая оснастка для формирования размеростабильного антенного рефлектора из полимерных композиционных материалов на основе углеродных армирующих систем

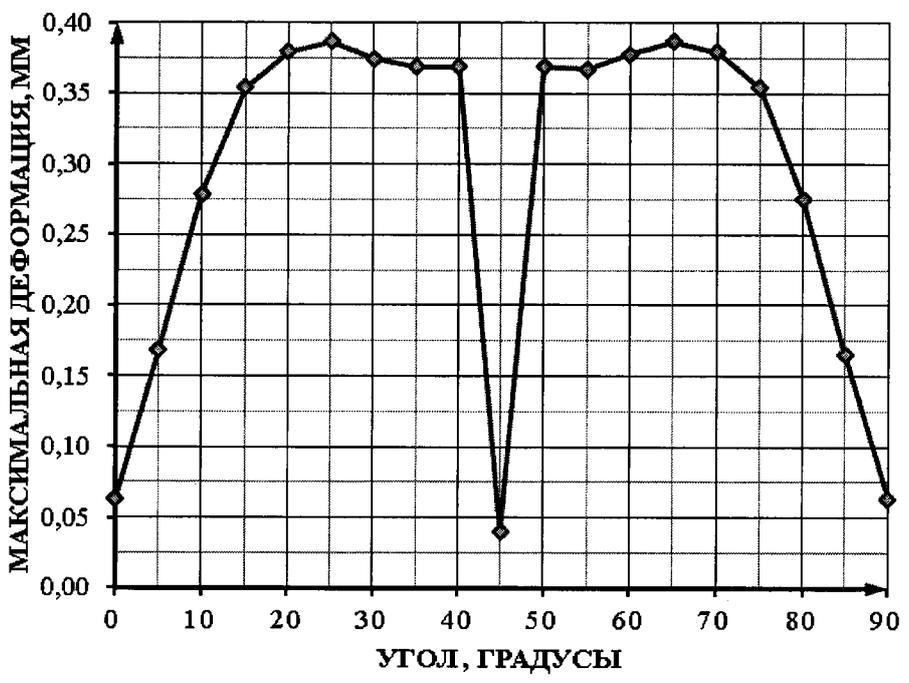
(57) Реферат:

Использование: для производства антенных рефлекторов. Сущность полезной модели заключается в том, что оснастка для формирования размеростабильного антенного рефлектора является терморазмеростабильной с КЛТР не более  $0,8 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ , полученной при укладке монослоев непрерывных ориентированных углеродных армирующих систем со структурой армирования  $\{0^\circ / +45^\circ / -45^\circ / 90^\circ\}$ , с последующим их взаимным

приформовыванием, пропиткой смолой и отверждением всего многослойного пакета при температуре  $60^\circ\text{C}$ . Технический результат: обеспечение возможности получения качественного изделия без короблений и поволодок, с сохранением заданных геометрических форм и размеров, а также с высокими характеристиками прочности и надежности, с минимальными термическими и усадочными деформациями в процессе изготовления, а также с низкой энергоемкостью изготовления. 8 ил.

**RU 172 553 U1**

**RU 172 553 U1**



Фиг.1

## Область техники

Полезная модель относится к оснасткам для формования деталей из полимерных композиционных материалов (ПКМ), и может быть использована при производстве антенных рефлекторов для систем спутниковой и наземной связи.

## 5 Уровень техники

Известно большое количество способов изготовления формовочной оснастки для ПКМ (Боголюбов В.С. Формообразующая оснастка из полимерных материалов. М.: Машиностроение, 1979; Morena J.J. Advanced composite Mold, Malabar, Florida: Krieder Publishing Company, 1994), согласно которым:

10 - металлическая объемная оснастка изготавливается механической обработкой из монолитных заготовок на станках с ЧПУ или деформированием листовых металлических заготовок на гибочном, прессовом оборудовании. Объемная металлическая оснастка трудоемка в изготовлении, требует для изготовления наличия крупногабаритного металлообрабатывающего оборудования, обладает высокой энергоемкостью. Кроме  
15 того, металлическая оснастка имеет высокие термические деформации при ее использовании в процессе полимеризации (отверждении) полимерных композиционных материалов, отформованных на ней;

- керамическая, керамзито-бетонная объемная оснастка формируется с помощью мастер-модели; оснастка из ПКМ изготавливается выкладкой пакета слоев препрега  
20 (волокнутого наполнителя, пропитанного полимерным связующим) на поверхность мастер-модели и последующим формованием выложенного пакета монослоев. Мастер-модель в известных способах изготовления оснастки может быть выполнена из дерева или металла. Поверхность мастер-модели получают обработкой на станках с ЧПУ. Для изготовления керамической, керамзито-бетонной оснастки, оснастки из ПКМ  
25 необходимы мастер-модели, изготовление которых по материальным и трудовым затратам сравнимо с изготовлением конечной оснастки, однако, они существенно меньше, чем при изготовлении металлической оснастки. Недостатком такого типа оснасток, является то, что такая оснастка из-за термических усадочных явлений, возникающих в процессе ее изготовления и дальнейшего использования, теряет точность  
30 геометрических размеров.

В патенте РФ RU 2230406 (МПК H01Q 15/16; Опубликовано: 10.06.2004)  
«РАЗМЕРОСТАБИЛЬНОЕ ИНТЕГРАЛЬНОЕ ИЗДЕЛИЕ ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ  
МАТЕРИАЛОВ, СПОСОБ ЕГО ИЗГОТОВЛЕНИЯ И ФОРМА ДЛЯ  
ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ СПОСОБА» описана оснастка для изготовления интегрального  
35 композитного рефлектора.

Изготовление производят на металлической оснастке (форме), выполненной с температурным упреждением, т.е. геометрические параметры рабочей поверхности которой повторяют с требуемой точностью геометрические параметры рабочей  
40 поверхности рефлектора при нагреве до температуры формообразования изделия. Эта оснастка предназначена для серийного изготовления рефлекторов. За счет использования в качестве материала оснастки металла достигается возможность ее многократного использования.

Однако высокая точность изготовления монолитной металлической оснастки, отрицательные допуски которой должны обеспечивать последующее термическое  
45 расширение «в размер» определяют высокую сложность и стоимость изготовления подобной оснастки, что является ее недостатком.

В патенте РФ RU 2571718 (МПК H01Q 13/02, H01Q 15/16; Опубликовано: 20.12.2015)  
«ПРЕЦИЗИОННЫЙ РЕФЛЕКТОР И СПОСОБ ЕГО ИЗГОТОВЛЕНИЯ» описан

способ изготовления прецизионного рефлектора, включающий изготовление рабочей обшивки на оправках (синоним слова «оснастка»), при этом используют одну прецизионную оправку со значением КЛТР, близким к значению материала наполнителя рабочей обшивки рефлектора.

5 КЛТР прецизионной оправки подбирается таким же, как КЛТР материала рефлектора, что не устраняет проблему термических деформаций оснастки и соответственно - формуемого изделия-рефлектора, хотя и снимает проблему короблений из-за различных тепловых деформаций оснастки и изделия. Кроме того, есть необходимость изготовления альтернативных оснасток при изменении материала  
10 рефлектора.

В патенте РФ RU 2024131 (МПК H01Q 15/16; Опубликовано: 30.11.1994) «СПОСОБ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПАРАБОЛИЧЕСКОГО ЗЕРКАЛА АНТЕННОЙ СИСТЕМЫ СПУТНИКОВОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ» про используемую оснастку, как наиболее близкий аналог предлагаемой полезной модели, сказано, что «Формование  
15 осуществляют на оснастке, выполненной из углепластика, которую изготавливают путем последовательной выкладки слоев углеродного наполнителя, где каждый слой состоит из секторов, в которых биссектриса угла совпадает с направлением основы углеродного армирующего наполнителя» И далее: «Используемая углепластиковая  
20 оснастка имеет КЛТР  $(1,3-4) \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{K}^{-1}$ , что в несколько раз ниже КЛТР наиболее часто применяемых материалов (в 8 раз ниже чем стали и более чем в 10 раз ниже КЛТР  
алюминиевых сплавов).»

Однако, этот КЛТР еще недостаточно мал для высококачественной реализации свойства терморазмеростабильности оснастки.

Раскрытие полезной модели

25 Техническим результатом полезной модели является конструктивная схема многослойной терморазмеростабильной оснастки из углеродных армирующих материалов для формования деталей сложной геометрической формы из ПКМ, которая позволила получить качественное изделие без короблений и поволок, с сохранением  
30 заданных геометрических форм и размеров, а также с высокими характеристиками прочности и надежности, с минимальными термическими и усадочными деформациями в процессе изготовления, а также с низкой энергоемкостью изготовления.

Технический результат обеспечивается тем, что технологическая оснастка для формирования размеростабильного антенного рефлектора из полимерных композиционных материалов выполнена из углепластика путем последовательной  
35 выкладки слоев углеродного наполнителя и при этом является терморазмеростабильной с КЛТР не более  $0,8 \cdot 10^{-6} \text{ } \text{K}^{-1}$ , полученной при укладке монослоев непрерывных ориентированных углеродных армирующих систем со структурой армирования  $\{0^\circ / +45^\circ / -45^\circ / 90^\circ\}$ , с последующим их взаимным приформовыванием, пропиткой смолой и отверждением всего многослойного пакета при температуре  $60^\circ\text{C}$ . Углеродным  
40 армирующим материалом выбрана углеродная ткань марки Twill 2/2 3K-1500-240, а смоляным связующим - компаунд марки Huntsman Araldite LY8615 US/XB 5173 Hardner.

Минимизация термических и усадочных деформаций и короблений, обеспечивается за счет того, что оснастка для формования деталей из ПКМ является  
45 терморазмеростабильной, благодаря использованию ПКМ на основе непрерывных ориентированных углеродных армирующих систем со структурой армирования  $\{0^\circ / +45^\circ / -45^\circ / 90^\circ\}$ .

Сходство предлагаемой полезной модели с прототипом заключается в использовании именно углепластиковой оснастки с малым значением КЛТР, что необходимо для

размерной точности формуемого на ней рефлектора.

Основным отличием и преимуществом предлагаемой полезной модели от приведенного прототипа является создание именно терморазмеростабильной оснастки, КЛТР углепластика которой составляет не более  $0,8 \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$ , что достигается путем использования углепластика с оптимизированной, строго определенной угловой структурой армирования волокон, т.е. со структурой армирования  $\{0^\circ / +45^\circ / -45^\circ / 90^\circ\}$ .

Таким образом, КЛТР материала предлагаемой полезной модели составляет  $0,8 \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$ , что как минимум в 1,6 раза меньше чем КЛТР углепластика, используемого в оснастке, описанной в прототипе. Данный факт предопределяет лучшую термическую размерную стабильность предлагаемой оснастки. Так обеспечивается отсутствие термических деформаций оснастки и соответственно, - высокая размерная точность изготовления конечного изделия - антенного рефлектора. Кроме того, предлагаемая полезная модель - оснастка для формования универсальна для изготовления рефлектора из различных типов углепластика.

К преимуществам предлагаемой полезной модели стоит также отнести простоту и низкую стоимость ее изготовления, что особенно актуально для оснастки, предназначенной для единичного и мелкосерийного производства. Данный результат достигается, в том числе, за счет использования легкообрабатываемых материалов, например, модельного пластика, в качестве мастер-модели для оснастки. В качестве материала используемой мастер-модели может быть использован любой модельный пластик высокого качества, например, модельный пластик марки RenShape BM 5055.

#### Перечень фигур

Фиг. 1 - график зависимости максимальной термической деформации технологической оснастки от угла укладки монослоев углеткани в пакете оснастки;

Фиг. 2 - схема укладки монослоев углеткани в композитном материале оснастки;

Фиг. 3 - виды сверху и сбоку примера конструкции технологической оснастки для формирования размеростабильного антенного рефлектора из ПКМ на основе углеродных армирующих систем;

Фиг. 4 - виды сверху и сбоку соответствующей мастер-модели для оснастки на фиг. 3;

Фиг. 5 - фотография реальной изготовленной терморазмеростабильной технологической оснастки для формирования размеростабильного антенного рефлектора из ПКМ на основе углеродных армирующих систем;

Фиг. 6 - фотография соответствующей реальной мастер-модели;

Фиг. 7 - фотография процесса изготовления оснастки с фиг. 3, 5;

Фиг. 8 - фотография процесса использования оснастки с фиг. 3, 5 для формирования размеростабильного антенного рефлектора из ПКМ на основе углеродных армирующих систем.

#### Осуществление полезной модели

Отличительной особенностью и преимуществом предлагаемой полезной модели является использование в качестве силового несущего материала конструкции оснастки непрерывного углепластика со структурой армирования  $\{0^\circ / +45^\circ / -45^\circ / 90^\circ\}$ , что обеспечивает терморазмеростабильность материала оснастки - углепластикового ламината. Данная отличительная особенность обеспечивает возможность создания технологической оснастки со сверхнизкими значениями КЛТР для терморазмеростабильности, что в свою очередь минимизирует такие негативные

технологические эффекты как термическая и усадочная деформация при формировании антенного рефлектора из ПКМ на указанной оснастке.

Предлагаемая конструктивная схема оснастки для формирования деталей из ПКМ является терморазмеростабильной. На основании расчета напряженно-деформированного состояния модели оснастки рефлектора можно сделать вывод о том, что оснастка наименее деформирована при воздействии температурной нагрузки при следующей укладке монослоев:  $\{0^\circ / +45^\circ / -45^\circ / 90^\circ\}$  (данная структура укладки определена в результате численного расчета методом конечных элементов напряженно-деформированного состояния модели оснастки с варьируемой структурой армирования в компьютерной среде ANSYS, результаты расчетов при варьировании структуры представлены в таблице сравнения объемных деформаций и межслоевых напряжений модели пакета оснастки в зависимости от его структуры, жирным шрифтом выделен лучший вариант  $\{90^\circ / 0^\circ / 45^\circ / -45^\circ\}$ , а также график фиг. 1 для двухосно термонеutralного углепластика с наименьшей деформацией при взаимном расположении монослоев под углом  $45^\circ$ ). Технологическая оснастка имеет максимальную объемную деформацию равную 0,041 мм при температуре  $60^\circ\text{C}$ . Выбор данной температуры для компьютерного расчета обусловлен режимами технологии для производства изделий из ПКМ.

Предлагаемую оснастку из ПКМ получают наплаиванием по схеме  $\{0^\circ / +45^\circ / -45^\circ / 90^\circ\}$  расчетного (из условий требуемой жесткости и толщины) количества монослоев углеткани (фиг. 2) на поверхность мастер-модели, последующим приформовыванием, пропиткой смолой и отверждением пакета. Армирующим материалом технологической терморазмеростабильной оснастки могут служить различные углеродные ткани, например-углеродная ткань Twill 2/2 3K-1500-240, а смоляным связующим - компаунд марки Huntsman Araldite LY8615 US/XB 5173 Hardner. Отформованный и отвержденный пакет монослоев снимают с мастер-модели, закрепляют его на основании оснастки и используют в качестве формообразующей поверхности формовочной оснастки. В качестве материала используемой мастер-модели может быть использован любой модельный пластик высокого качества, например - модельный пластик марки RenShape BM 5055. Мастер модель изготавливается с упреждающим отрицательным допуском на термические деформации, возникающие при нагреве и отверждении на ней композитной оснастки. Так, одновременно обеспечиваются точность и простота изготовления оснастки.

Полезная модель реализована при разработке конструкции и технологии изготовления сверхлегких зеркальных космических антенн из композиционных материалов с высокой размерной стабильностью для межспутниковых систем связи, в рамках работ МГТУ им. Н.Э. Баумана по Соглашению о предоставлении субсидии №14.577.21.0114 от Министерства образования и науки Российской Федерации.

Для наглядности и убедительности дан пример чертежей и фотографий реальных образцов:

- технологической оснастки (фиг. 3, 5) (армирующим материалом технологической терморазмеростабильной оснастки служит углеродная ткань марки Twill 2/2 3K-1500-240, а связующим - компаунд марки Huntsman Araldite LY8615 US/XB 5173 Hardner);
- ее мастер-модели (фиг. 4, 6) (в качестве материала мастер-модели использован модельный пластик марки RenShape BM 5055);
- техпроцессов с их использованием (фиг. 7, 8). В качестве армирующего материала при производстве размеростабильного антенного рефлектора (фиг. 8) использована плоская углеродная ткань марки Аспро А-80, а в качестве связующего использован

## компануд марки Huntsman Araldite LY8615 US/XB 5173 Hardner.

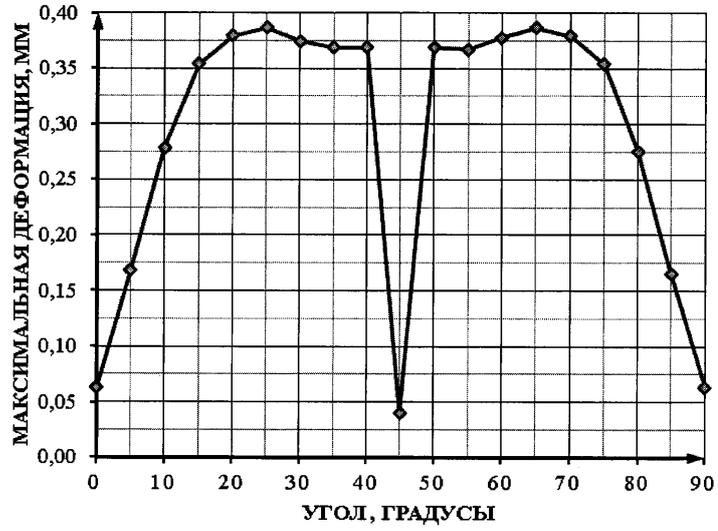
Таблица. Сравнение объемных деформаций и межслоевых напряжений модели пакета оснастки в зависимости от его структуры

Укладка пакета	Деформации, мм		Напряжения, МПа	
	Максимальные	Минимальные	Максимальные	Минимальные
{90°/0°/85°/5°}	0,168	0,005	22,830	9,170
{90°/0°/80°/10°}	0,277	0,017	21,735	7,166
{90°/0°/75°/15°}	0,352	0,022	25,569	7,140
{90°/0°/70°/20°}	0,379	0,022	27,425	5,967
{90°/0°/65°/25°}	0,384	0,268	23,958	4,419
{90°/0°/60°/30°}	0,375	0,021	29,710	8,288
{90°/0°/55°/35°}	0,367	0,021	28,571	5,495
{90°/0°/50°/40°}	0,365	0,018	30,676	8,627
{90°/0°/45°/-45°}	<b>0,041</b>	<b>0,009</b>	<b>14,464</b>	<b>7,116</b>

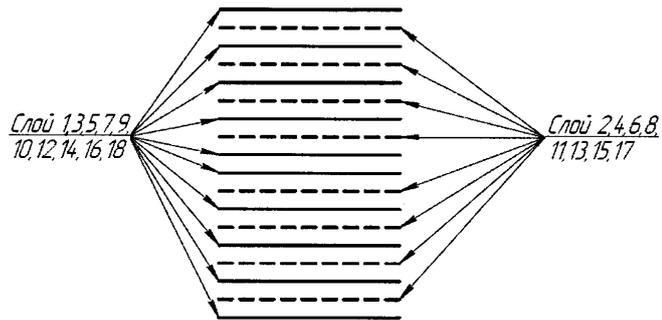
## (57) Формула полезной модели

1. Технологическая оснастка для формирования размеростабильного антенного рефлектора из полимерных композиционных материалов, выполненная из углепластика путем последовательной выкладки слоев углеродного наполнителя и имеющая низкий коэффициент линейного термического расширения (КЛТР), отличающаяся тем, что является терморазмеростабильной с КЛТР не более  $0,8 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ , полученной при укладке монослоев непрерывных ориентированных углеродных армирующих систем со структурой армирования  $\{0^\circ/+45^\circ/-45^\circ/90^\circ\}$  в результате их взаимного приформовывания, пропитки смолой и отверждения многослойного пакета при температуре  $60^\circ\text{C}$ .

2. Оснастка по п. 1, отличающаяся тем, что углеродным армирующим материалом служит углеродная ткань марки Twill 2/2 3K-1500-240, а смоляным связующим - компануд марки Huntsman Araldite LY8615 US/XB 5173 Hardner.

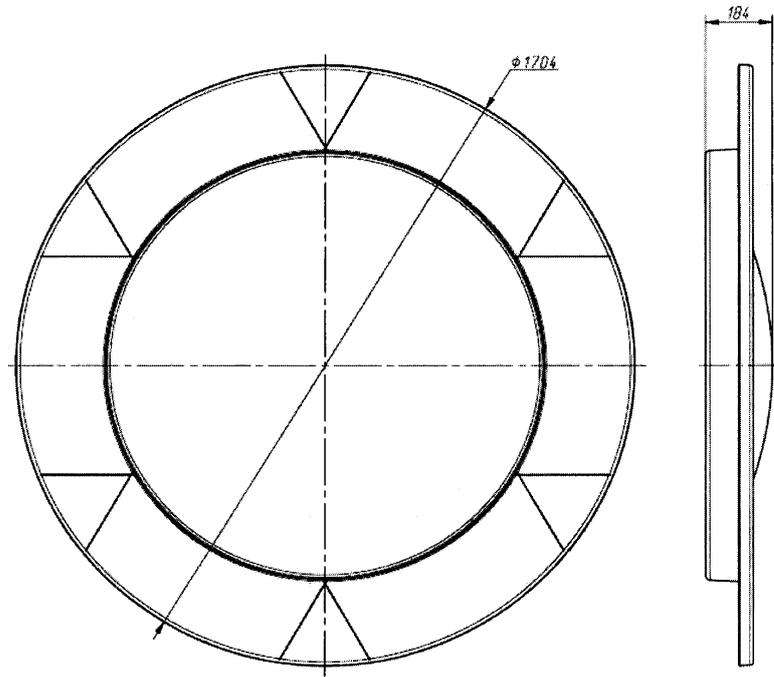


Фиг.1

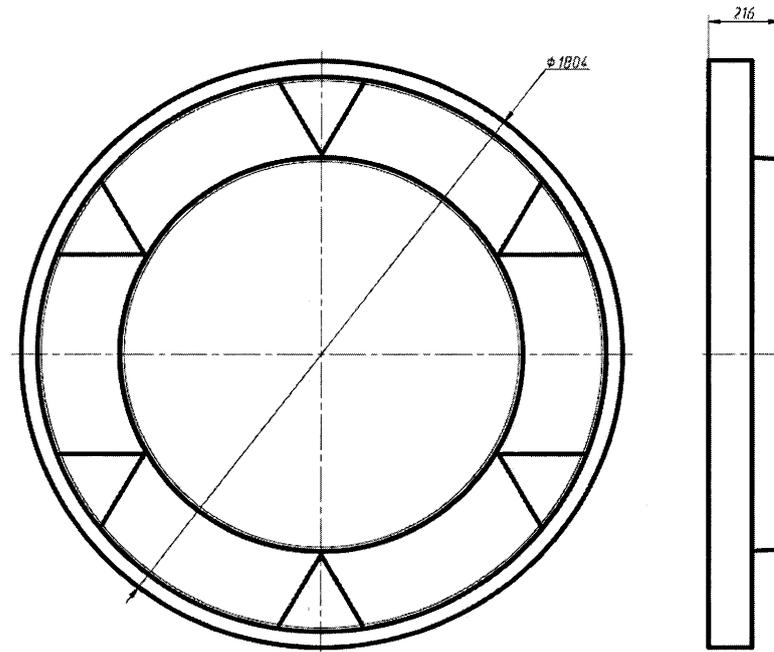


Слой	Укладка	Слой	Укладка
слой 1	0°/90°	слой 10	0°/90°
слой 2	+45°/-45°	слой 11	+45°/-45°
слой 3	0°/90°	слой 12	0°/90°
слой 4	+45°/-45°	слой 13	+45°/-45°
слой 5	0°/90°	слой 14	0°/90°
слой 6	+45°/-45°	слой 15	+45°/-45°
слой 7	0°/90°	слой 16	0°/90°
слой 8	+45°/-45°	слой 17	+45°/-45°
слой 9	0°/90°	слой 18	0°/90°

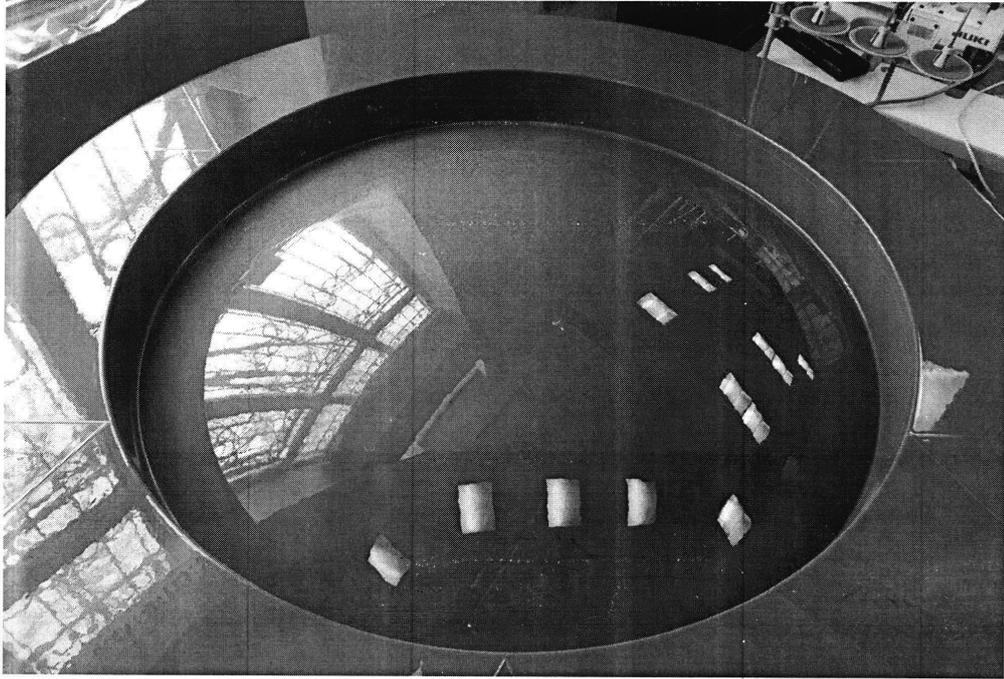
Фиг.2



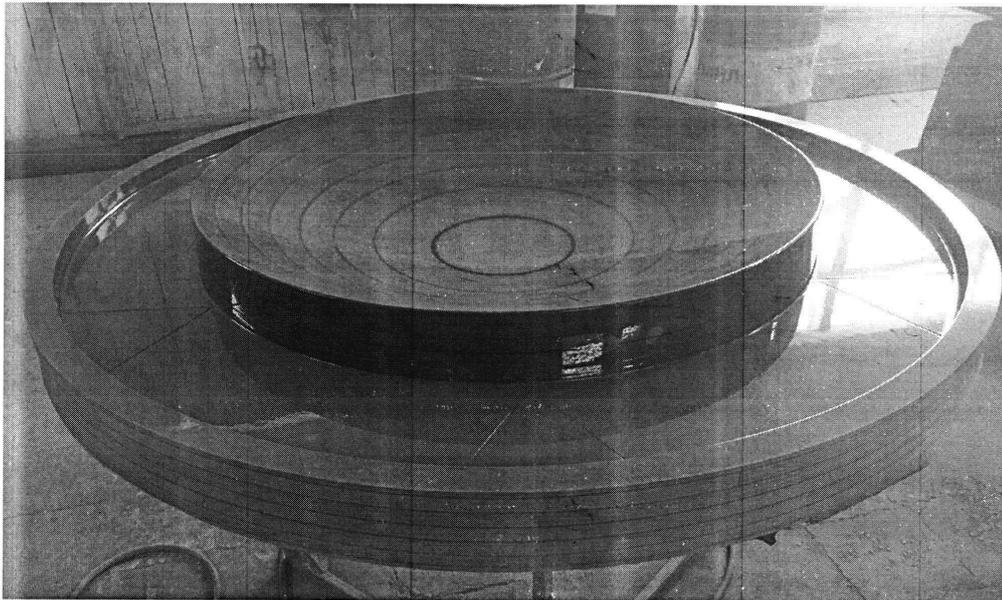
Фиг.3



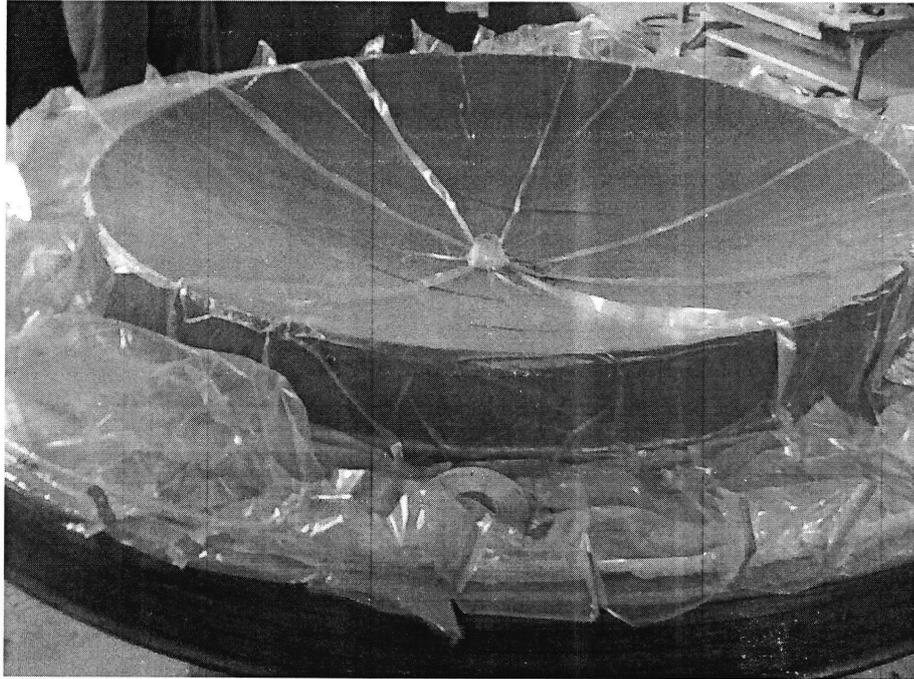
Фиг.4



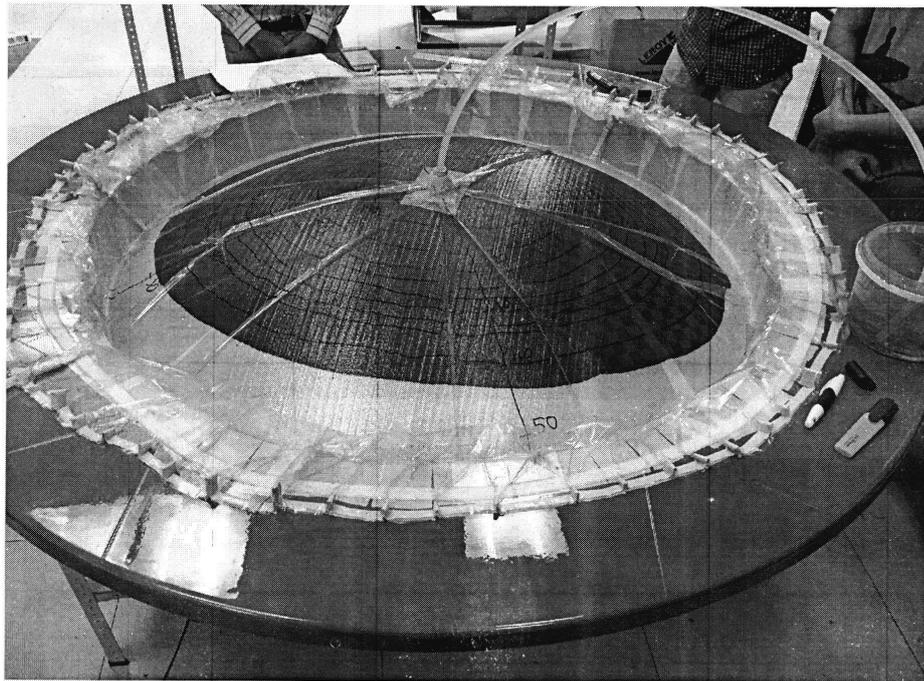
Фиг.5



Фиг.6



Фиг.7



Фиг.8