



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК

F16H 1/32 (2006.01)

(21)(22) Заявка: 2016148940, 03.07.2015

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
03.07.2015Дата регистрации:  
25.06.2018

Приоритет(ы):

(30) Конвенционный приоритет:  
23.07.2014 JP 2014-149372

(45) Опубликовано: 25.06.2018 Бюл. № 18

(85) Дата начала рассмотрения заявки РСТ на  
национальной фазе: 27.02.2017(86) Заявка РСТ:  
JP 2015/069244 (03.07.2015)(87) Публикация заявки РСТ:  
WO 2016/013380 (28.01.2016)

Адрес для переписки:

190000, Санкт-Петербург, ВОХ-1125,  
"ПАТЕНТИКА"

(72) Автор(ы):

КИЁСАВА Йосихиде (JP),  
ХАНДА Дзюн (JP),  
ТАКИЗАВА Нобору (JP),  
ЧЖАН Синь Юэ (JP)

(73) Патентообладатель(и):

ХАРМОНИК ДРАЙВ СИСТЕМС ИНК.  
(JP)

(56) Список документов, цитированных в отчете

о поиске: UA 78075 C2, 15.02.2007. JP  
2013119919 A, 17.06.2013. JP 2011112214 A,  
09.06.2011. SU 301479 A1, 21.04.1971. JP  
2275147 A, 09.11.1990. US 8656800 B1,  
25.02.2014. SU 1137269 A1, 30.01.1985.

### (54) СДВОЕННАЯ ВОЛНОВАЯ ЗУБЧАТАЯ ПЕРЕДАЧА

(57) Реферат:

Изобретение относится к волновым зубчатым передачам. Волновая зубчатая передача (1) содержит два жестких зубчатых колеса внутреннего зацепления (2,3), гибкое зубчатое колесо внешнего зацепления (4) и генератор волн (5). Колесо (4) передачи (1) оснащено первыми и вторыми наружными зубьями (7, 8). Количество зубьев (7) и (8) разное. Колесо (4) изгибается с получением эллипсоидной формы генератором волн. Когда теоретические значения ( $d_1$ ,  $d_2$ ) величин радиального изгиба в местах положения большой оси первых и вторых наружных зубьев (7, 8), изгибаемых с получением эллипсоидной формы, выражены соотношениями  $d_1 = m_1 n_1$  и

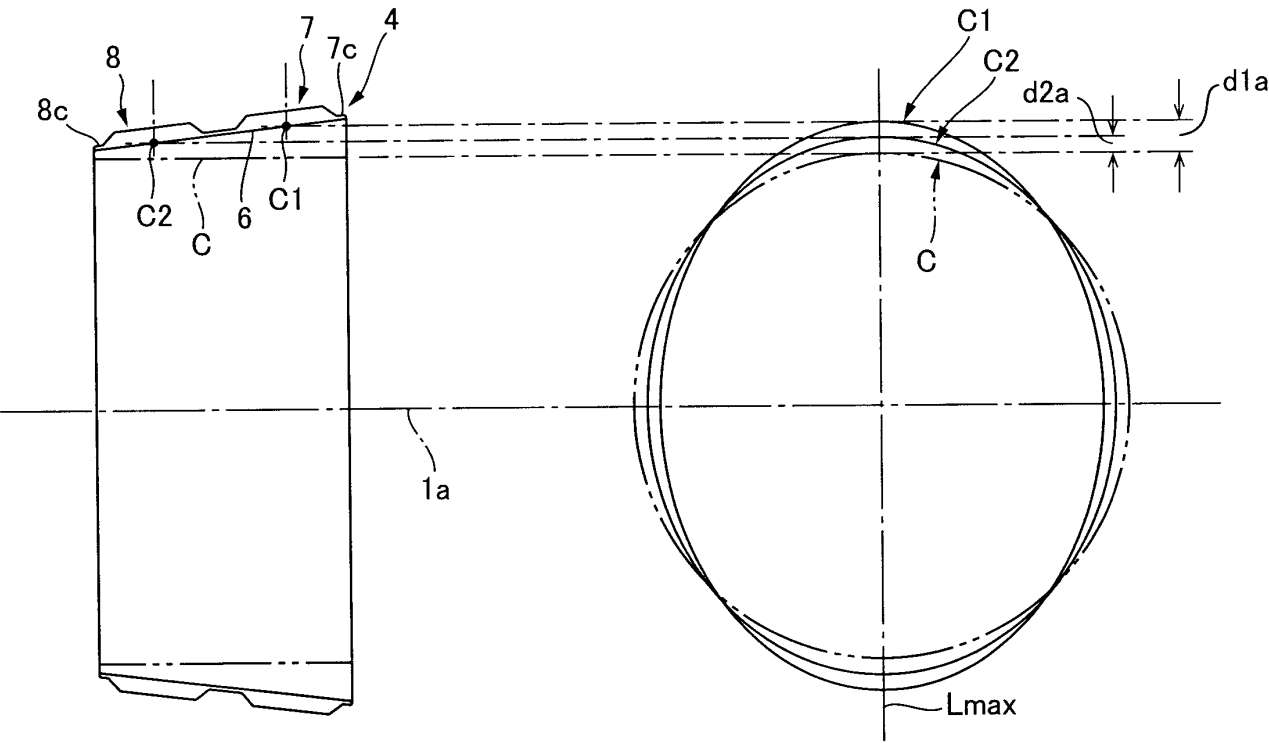
$d_2 = m_2 n_2$ , величины ( $d_{1a}$ ,  $d_{2a}$ ) радиального изгиба первых и вторых наружных зубьев (7, 8), изгибаемых генератором (5) волн, удовлетворяют соотношениям  $d_{1a} = \omega d_1$  и  $d_{2a} = \omega d_2$ , где

$$1,25 \leq \omega \leq 3.$$

При этом  $m_1$  и  $m_2$  представляют собой модули первых и вторых наружных зубьев, а  $n_1$  и  $n_2$  представляют собой положительные целые числа. Таким образом, может быть получена сдвоенная волновая зубчатая передача, в которой первые и вторые наружные зубья, имеющие разное число зубьев, могут соответствующим образом изгибаться для образования отличного сопряжения с зубчатыми

колесами внутреннего зацепления. Достигается

увеличение срока службы. 7 з.п. ф-лы, 6 ил.



ФИГ. 4(a)

ФИГ. 4(b)

RU 2658846 C1

RU 2658846 C1



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC  
*F16H 1/32* (2006.01)

(21)(22) Application: **2016148940, 03.07.2015**

(24) Effective date for property rights:  
**03.07.2015**

Registration date:  
**25.06.2018**

Priority:

(30) Convention priority:  
**23.07.2014 JP 2014-149372**

(45) Date of publication: **25.06.2018** Bull. № 18

(85) Commencement of national phase: **27.02.2017**

(86) PCT application:  
**JP 2015/069244 (03.07.2015)**

(87) PCT publication:  
**WO 2016/013380 (28.01.2016)**

Mail address:  
**190000, Sankt-Peterburg, BOX-1125,  
"PATENTIKA"**

(72) Inventor(s):

**KIESAVA Josikhide (JP),  
KHANDA Dzyun (JP),  
TAKIZAVA Noboru (JP),  
CHZHAN Sin Yue (JP)**

(73) Proprietor(s):

**KHARMONIK DRAJV SISTEMS INK. (JP)**

(54) **DUAL HARMONIC GEAR DRIVE**

(57) Abstract:

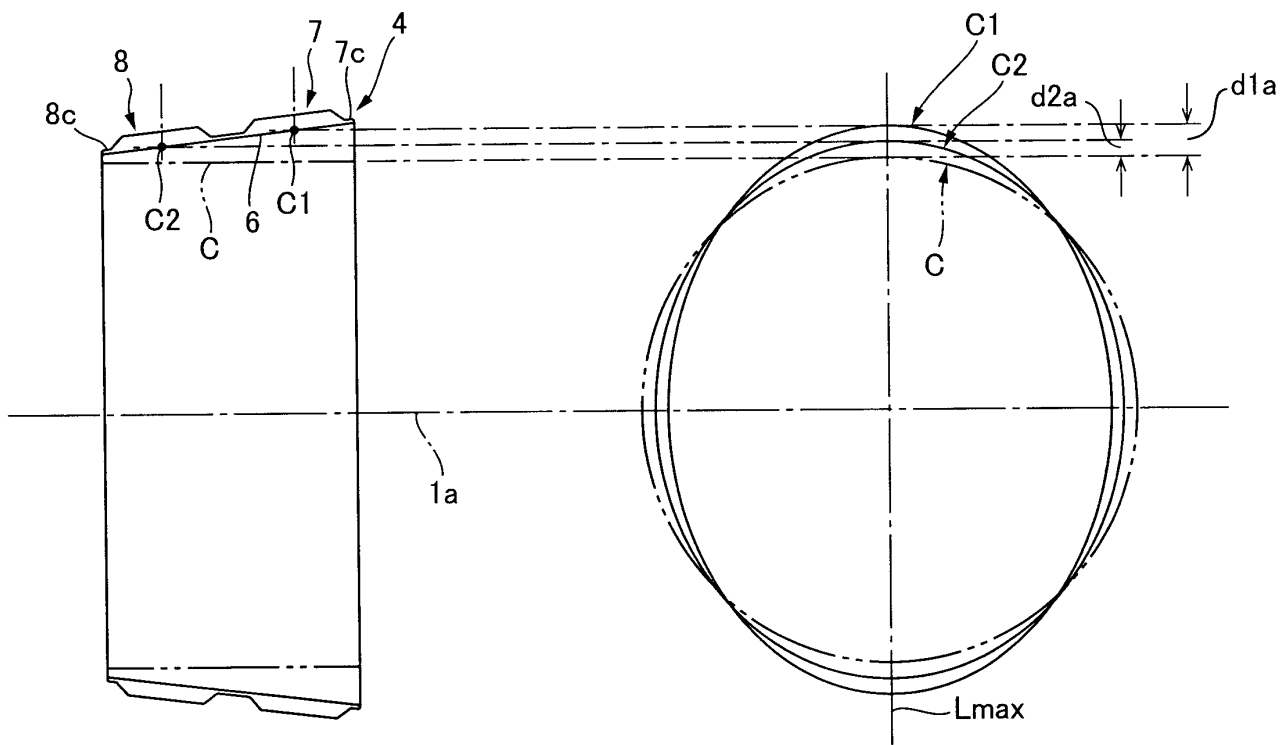
FIELD: machine building.

SUBSTANCE: invention relates to harmonic gear drives. Harmonic gear drive (1) contains two rigid internal engagement gears (2, 3), a flexible external engagement gear (4) and waves generator (5). Gear (1) wheel (4) is equipped with first and second outer teeth (7, 8). Number of teeth (7) and (8) is different. Wheel (4) is bent with ellipsoidal form production by the waves generator. When the radial bending theoretical values ( $d_1$ ,  $d_2$ ) at the first and second outer teeth (7, 8) major axis positions bent with the ellipsoidal shape production, are expressed by the relations  $d_1=m_1n_1$  and  $d_2=m_2n_2$ ,

radial bending values ( $d_{1a}$ ,  $d_{2a}$ ) of the first and second outer teeth (7, 8) bent by the waves generator (5) satisfy the relations  $d_{1a}=\omega d_1$  and  $d_{2a}=\omega d_2$ , where  $1.25 \leq \omega \leq 3$ . At that,  $m_1$  and  $m_2$  are the first and second outer teeth modules, and  $n_1$  and  $n_2$  are positive integers. At that, double harmonic gear drive can be produced, in which having the different number of teeth first and second outer teeth, can be correspondingly bent to form excellent mating with internal engagement gear wheels.

EFFECT: increase in the service life is achieved.

8 cl, 6 dwg



ФИГ. 4(a)

ФИГ. 4(b)

## ОБЛАСТЬ ТЕХНИКИ

[0001] Настоящее изобретение относится к волновой зубчатой передаче, включающей пару зубчатых колес внутреннего зацепления, цилиндрическое зубчатое колесо внешнего зацепления, выполненное с возможностью изгиба в радиальном направлении, и генератор волн.

## УРОВЕНЬ ТЕХНИКИ

[0002] Волновые зубчатые передачи, включающие цилиндрические зубчатые колеса внешнего зацепления, обычно оснащены зубчатым колесом внутреннего зацепления, расположенным с неподвижной стороны и закрепленным без возможности вращения, генератором волн, представляющим собой элемент ввода вращения, зубчатым колесом внутреннего зацепления, расположенным с приводной стороны и представляющим собой элемент вывода замедленного вращения, и цилиндрическим зубчатым колесом внешнего зацепления, выполненным с возможностью изгиба в радиальном направлении и возможностью зацепления с зубчатым колесом внутреннего зацепления, расположенным с неподвижной стороны, и зубчатым колесом внутреннего зацепления, расположенным с приводной стороны. В известных волновых зубчатых передачах зубчатое колесо внешнего зацепления подвергают изгибу с получением эллипсоидной формы, причем зубчатое колесо внешнего зацепления, изогнутое с получением эллипсоидной формы, входит в зацепление с зубчатыми колесами внутреннего зацепления, расположенными с неподвижной стороны и с приводной стороны, в обоих конечных положениях на большой оси эллипса.

[0003] В патентном документе 1 раскрыта известная волновая зубчатая передача, в которой число зубьев зубчатого колеса внутреннего зацепления, расположенного с неподвижной стороны, на два больше, чем число зубьев зубчатого колеса внешнего зацепления, а число зубьев зубчатого колеса внутреннего зацепления, расположенного с приводной стороны, равно числу зубьев зубчатого колеса внешнего зацепления. Наружные зубья зубчатого колеса внешнего зацепления разделены пополам в его центральной части по направлению линии зуба, причем один из участков наружных зубьев выполнен с возможностью зацепления с зубчатым колесом внутреннего зацепления, расположенным с неподвижной стороны, а другой участок наружных зубьев выполнен с возможностью зацепления с зубчатым колесом внутреннего зацепления, расположенным с приводной стороны. При вращении генератора волн зубчатое колесо внешнего зацепления вращается согласно передаточному отношению, соответствующему разнице в числе зубьев между зубчатым колесом внешнего зацепления и зубчатым колесом внутреннего зацепления, расположенным с неподвижной стороны. Замедленное вращение зубчатого колеса внешнего зацепления выводят с зубчатого колеса внутреннего зацепления, расположенного с приводной стороны, которое вращается совместно с зубчатым колесом внешнего зацепления.

[0004] В патентном документе 2 раскрыта волновая зубчатая передача, в которой число зубьев зубчатого колеса внутреннего зацепления, расположенного с неподвижной стороны, на два больше, чем число зубьев зубчатого колеса внешнего зацепления, а число зубьев зубчатого колеса внутреннего зацепления, расположенного с приводной стороны, на два меньше, чем число зубьев зубчатого колеса внешнего зацепления. В указанной волновой зубчатой передаче, при вращении генератора волн зубчатое колесо внешнего зацепления вращается медленнее в соответствии с передаточным отношением, соответствующим разнице в числе зубьев относительно зубчатого колеса внутреннего зацепления, расположенного с неподвижной стороны. Скорость вращения зубчатого колеса внешнего зацепления увеличивается в соответствии с передаточным отношением,

соответствующим разнице в числе зубьев между зубчатым колесом внешнего зацепления и зубчатым колесом внутреннего зацепления, расположенным с приводной стороны, и вращение выводят с зубчатого колеса внутреннего зацепления, расположенного с приводной стороны. Вращение, выводимое с зубчатого колеса внутреннего зацепления, расположенного с приводной стороны, оказывается замедленным при передаточном отношении менее 50 относительно вращения, вводимого на генератор волн.

[0005] В патентных документах 2 и 3 раскрыты волновые зубчатые передачи, имеющие генераторы волн, содержащие два ряда шарикоподшипников. Указанный тип генератора волн выполнен из жесткого кулачка, имеющего наружную периферическую поверхность с эллипсоидным контуром, и двух рядов шарикоподшипников, установленных на наружной периферической поверхности. Гибкое зубчатое колесо внешнего зацепления сжимается в радиальном направлении наружу двумя конечными участками большой оси наружных периферических поверхностей изогнутых с получением эллипсоидной формы наружных колец шарикоподшипников и поддерживается зацепление между гибким зубчатым колесом внешнего зацепления и первым и вторым жесткими зубчатыми колесами внутреннего зацепления.

Документы известного уровня техники

Патентные документы

[0006]

Патентный документ 1: JP-A 2011-112214

Патентный документ 2: JP-A 02-275147

Патентный документ 3: JP-U 01-91151

**РАСКРЫТИЕ СУЩНОСТИ ИЗОБРЕТЕНИЯ**

**ПРОБЛЕМЫ, РЕШАЕМЫЕ ИЗОБРЕТЕНИЕМ**

[0007] Установлено, что в используемом в настоящей заявке зубчатом колесе внешнего зацепления первые зубья, выполненные с возможностью зацепления с одним первым зубчатым колесом внутреннего зацепления, и вторые зубья, выполненные с возможностью зацепления с другим вторым зубчатым колесом внутреннего зацепления, выполнены на наружной периферической поверхности гибкого в радиальном направлении цилиндрического тела, причем число вторых зубьев отличается от числа первых зубьев. Применение такой конфигурации делает возможным реализацию волновой зубчатой передачи с передаточным отношением менее 50 аналогично волновой зубчатой передаче, описанной в патентном документе 2. Кроме того, указанная конфигурация позволяет спроектировать волновую зубчатую передачу, имеющую передаточное отношение менее 50, с большей степенью свободы, чем в волновой зубчатой передаче, описанной в патентном документе 2.

[0008] В настоящем описании изобретения волновая зубчатая передача, содержащая зубчатое колесо внешнего зацепления, в котором первые и вторые наружные зубья, отличающиеся числом, выполнены на наружной периферической поверхности гибкого цилиндрического тела, называется «сдвоенной волновой зубчатой передачей».

[0009] В сдвоенной волновой зубчатой передаче первые наружные зубья и вторые наружные зубья зубчатого колеса внешнего зацепления выполнены на наружной периферической поверхности общего цилиндрического тела, а расположенные у корня зуба участки ободьев первых и вторых наружных зубьев соединены друг с другом. Когда генератор волн изгибает цилиндрическое тело с получением эллипсоидной формы, первые и вторые наружные зубья, отличающиеся числом, соответственно входят в зацепление с отдельными зубчатыми колесами внутреннего зацепления.

[0010] Определение величины изгиба каждого из этих наружных зубьев оказывает

большое влияние на положение зацепления, износоустойчивость и усталостную прочность корня зуба каждого из наружных зубьев. Кроме того, положение изгиба каждого из наружных зубьев оказывает большое влияние на распределение нагрузки на шарики каждого из волновых подшипников генератора волн, поддерживающих  
 5 первые и вторые наружные зубья соответственно. Это также влияет на срок службы указанных волновых подшипников.

[0011] Когда первые и вторые наружные зубья выполнены на отдельных зубчатых колесах, соответствующие зубчатые колеса могут быть изогнуты с получением эллипсоидной формы таким образом, чтобы иметь соответствующую величину изгиба  
 10 для каждого колеса. Таким образом, первые и вторые наружные зубья могут входить в зацепление с соответствующими внутренними зубьями в подходящем положении зацепления.

[0012] Однако, когда дело касается сдвоенной волновой зубчатой передачи, то поскольку первые и вторые наружные зубья выполнены на общем цилиндрическом  
 15 теле, они не могут изгибаться отдельно друг от друга на разную величину изгиба в соответствии с числами указанных наружных зубьев. Кроме того, когда цилиндрическое тело изгибают на величину изгиба, подходящую для одних наружных зубьев, в некоторых случаях невозможно поддерживать положение зацепления других наружных зубьев в соответствующем состоянии. Более того, поскольку одни из положений  
 20 зацепления первых и вторых наружных зубьев оказывают воздействие на другие их положения зацепления, то каждый из наружных зубьев не может изгибаться соответствующим образом, если не учитывать взаимодействие между положениями зацепления указанных наружных зубьев.

[0013] В свете вышеописанных недостатков задачей настоящего изобретения является  
 25 создание сдвоенной волновой зубчатой передачи, в которой первые и вторые наружные зубья, имеющие разное число зубьев, могут изгибаться соответствующим образом для образования подходящих положений зацепления относительно соответствующих зубчатых колес внутреннего зацепления.

[0014] Другой задачей настоящего изобретения является создание сдвоенной волновой  
 30 зубчатой передачи, в которой возможно усреднение распределения нагрузки на шарики волновых подшипников генератора волн для поддержки первых и вторых наружных зубьев посредством изгиба первых и вторых наружных зубьев, имеющих разное число зубьев, надлежащим образом.

## СРЕДСТВА РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМ

[0015] Для решения вышеописанной проблемы предлагается сдвоенная волновая  
 35 зубчатая передача, отличающаяся тем, что содержит:

- первое жесткое зубчатое колесо внутреннего зацепления, в котором выполнены  
 40 первые внутренние зубья;

- второе жесткое зубчатое колесо внутреннего зацепления, в котором выполнены  
 40 вторые внутренние зубья,

причем второе зубчатое колесо внутреннего зацепления расположено с обеспечением соосного выравнивания с первым зубчатым колесом внутреннего зацепления и параллельно ему;

- гибкое зубчатое колесо внешнего зацепления, в котором первые наружные зубья,  
 45 выполненные с возможностью зацепления с первыми внутренними зубьями, и вторые наружные зубья, выполненные с возможностью зацепления со вторыми внутренними зубьями, выполнены на наружной периферической поверхности гибкого в радиальном направлении цилиндрического тела,

причем число первых зубьев отличается от числа вторых зубьев, при этом зубчатое колесо внешнего зацепления расположено соосно внутри первого и второго зубчатых колес внутреннего зацепления; и

- генератор волн, выполненный с возможностью изгиба зубчатого колеса внешнего зацепления с получением эллипсоидной формы, для обеспечения частичного зацепления первых наружных зубьев с первыми внутренними зубьями и вторых наружных зубьев со вторыми внутренними зубьями; причем

когда  $m_1$  - модуль первых наружных зубьев,  $m_2$  - модуль вторых наружных зубьев,

$n_1$  и  $n_2$  - положительные целые числа,  $2n_1$  - разница в числе зубьев между первыми наружными зубьями и первыми внутренними зубьями,  $2n_2$  - разница в числе зубьев между вторыми наружными зубьями и вторыми внутренними зубьями, и

теоретическое значение  $d_1$  величины, на которую первые наружные зубья изогнуты в радиальном направлении в местах положения большой оси, и теоретическое значение  $d_2$  величины, на которую вторые наружные зубья изогнуты в радиальном направлении при изгибе зубчатого колеса внешнего зацепления с получением эллипсоидной формы, соответственно представлены следующими соотношениями

$$d_1 = m_1 n_1;$$

$$d_1 = m_2 n_2; \text{ то}$$

величины  $d_{1a}$  и  $d_{2a}$  удовлетворяют соотношениям

$$d_{1a} = \omega d_1,$$

$$d_{2a} = \omega d_2,$$

где  $d_{1a}$  - величина, на которую первые наружные зубья изогнуты в радиальном направлении генератором волн,

$d_{2a}$  - величина, на которую вторые наружные зубья изогнуты в радиальном направлении генератором волн, и

$\omega$  - коэффициент, имеющий значение больше 1.

[0016] Другими словами, величины  $d_{1a}$  и  $d_{2a}$  радиального изгиба первых и вторых наружных зубьев превышают их теоретические значения  $d_1$  и  $d_2$  соответственно. Более конкретно, форма профиля генератора волн задана таким образом, что первые и вторые наружные зубья изгибаются на такую величину изгиба.

[0017] Предпочтительно, чтобы значение коэффициента  $\omega$  находилось в пределах следующего диапазона:

$$1,25 \leq \omega \leq 3.$$

[0018] Окружность обода в нейтральном положении представляет собой окружность, проходящую через центр толщины цилиндрического тела (обод у корня зуба) в положении, в котором зубчатое колесо внешнего зацепления является идеально круглым перед изгибом с получением эллипсоидной формы. Окружность обода в нейтральном положении деформируется с получением эллипсоидной формы вследствие изгиба зубчатого колеса внешнего зацепления с получением эллипсоидной формы. Указанную деформированную окружность называют «эллипсоидной кривой обода в нейтральном положении». Величина, на которую зубчатое колесо внешнего зацепления изогнуто в радиальном направлении, представляет собой разницу между радиусом большой оси эллипсоидной кривой обода в нейтральном положении и радиусом окружности обода в нейтральном положении. Указанная величина представлена произведением  $k m n$ , где



$m$  - модуль зубчатого колеса внешнего зацепления,  $2n$  - разница в числе зубьев относительно зубчатых колес внутреннего зацепления ( $n$  является положительным целым числом), и  $k$  - коэффициент смещения. Величина  $mn$  радиального изгиба при  $k$  равном 1 представляет собой величину, полученную делением диаметра делительной окружности зубчатого колеса внешнего зацепления на передаточное отношение с момента закрепления жесткого зубчатого колеса внутреннего зацепления; это теоретическое значение (величина изгиба при стандартном отклонении) величины изгиба в радиальном направлении.

[0019] Таким образом, в случае, если первые и вторые наружные зубья 7 и 8 отличаются числом и выполнены на наружной периферической поверхности одного и того же цилиндрического тела, диаметры делительной окружности зубьев с обеих сторон приблизительно равны и, следовательно, теоретическое значение  $mn$  величины радиального изгиба меньше для группы наружных зубьев, имеющей большее число зубьев.

[0020] В настоящем изобретении величины радиального изгиба первых и вторых наружных зубьев, отличающихся числом, больше теоретических значений ( $\omega > 1$ ), как описано выше. Когда величина изгиба первых и вторых наружных зубьев больше теоретических значений, первые и вторые наружные зубья могут быть надлежащим образом введены в зацепление с соответствующими внутренними зубьями таким образом, что износоустойчивость и усталостная прочность корня зуба первых и вторых наружных зубьев могут быть повышены. В частности, задавая значение  $\omega$ , как описано выше, возможно установить подходящее положение зацепления первых и вторых наружных зубьев, и их износоустойчивость и усталостная прочность корня зуба может быть повышена.

[0021] В случае использования генератора волн с двумя рядами волновых подшипников для поддержки первых и вторых наружных зубьев возможно усреднить распределение нагрузки на шарики каждого из волновых подшипников. При этом, срок службы волновых подшипников может быть увеличен.

[0022] В предложенной сдвоенной волновой зубчатой передаче передаточное отношение  $R1$  между первым зубчатым колесом внутреннего зацепления и зубчатым колесом внешнего зацепления с первыми наружными зубьями, передаточное отношение  $R2$  между вторым зубчатым колесом внутреннего зацепления и зубчатым колесом внешнего зацепления со вторыми наружными зубьями и передаточное отношение  $R$  волновой зубчатой передачи соответственно заданы следующими соотношениями:

$$R1 = 1 / \{ (Zf1 - Zc1) / Zf1 \},$$

$$R2 = 1 / \{ (Zf2 - Zc2) / Zf2 \}, \text{ и}$$

$$R = (R1 \times R2 - R1) / (-R1 + R2),$$

где  $Zc1$  - число первых внутренних зубьев,  $Zc2$  - число вторых внутренних зубьев,  $Zf1$  - число первых наружных зубьев,  $Zf2$  - число вторых наружных зубьев.

[0023] Соответственно, возможно получить передаточное отношение меньше 50, например, передаточное отношение значительно ниже 30. Кроме того, в отличие от известного уровня техники, первые наружные зубья и вторые наружные зубья, отличающиеся числом и модулем, выполнены как наружные зубья зубчатого колеса внешнего зацепления. Таким образом, в конструкции имеется большая степень свободы для установки передаточного отношения, и волновая зубчатая передача, имеющая малое передаточное отношение, может быть реализована легче, чем в известном уровне техники.

[0024] В предложенной сдвоенной волновой зубчатой передаче число  $Zf1$  первых

наружных зубьев отличается от числа  $Z_{c1}$  первых внутренних зубьев, и число  $Z_{f2}$  вторых наружных зубьев отличается от числа  $Z_{c2}$  вторых внутренних зубьев. Например, число  $Z_{f1}$  первых наружных зубьев меньше числа  $Z_{c1}$  первых внутренних зубьев, а число  $Z_{c1}$  первых внутренних зубьев и число  $Z_{c2}$  вторых внутренних зубьев равны между собой.

5 [0025] Кроме того, генератор волн является элементом ввода вращения; и любое колесо из первого зубчатого колеса внутреннего зацепления и второго зубчатого колеса внутреннего зацепления является зубчатым колесом внутреннего зацепления, расположенным с неподвижной стороны и закрепленным без возможности вращения, а другое колесо из первого зубчатого колеса внутреннего зацепления и второго  
10 зубчатого колеса внутреннего зацепления является зубчатым колесом внутреннего зацепления, расположенным с приводной стороны и представляющим собой элемент вывода замедленного вращения.

#### КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ЧЕРТЕЖЕЙ

[0026] На фиг. 1 изображен вид с торца и продольный разрез сдвоенной волновой  
15 зубчатой передачи в соответствии с настоящим изобретением;  
на фиг. 2 изображен схематический чертеж сдвоенной волновой зубчатой передачи, показанной на фиг. 1;  
на фиг. 3 изображен частичный увеличенный разрез сдвоенной волновой зубчатой передачи, показанной на фиг. 1;  
20 на фиг. 4 изображен схематический чертеж зубчатого колеса внешнего зацепления, показанного на фиг. 1, в изогнутом положении.

#### ОСУЩЕСТВЛЕНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

[0027] Далее приведено описание варианта осуществления сдвоенной волновой зубчатой передачи в соответствии с настоящим изобретением со ссылкой на  
25 сопроводительные чертежи.  
[0028] На фиг. 1(a) изображен вид с торца, демонстрирующий сдвоенную волновую зубчатую передачу (далее называемую просто «волновая зубчатая передача») в соответствии с вариантом осуществления настоящего изобретения, и на фиг. 1(b) изображен продольный разрез, демонстрирующий разрез участка вдоль линии b-b на  
30 фиг. 1(a). На фиг. 2 изображен схематический чертеж того же самого. Волновая зубчатая передача 1, используемая в качестве, например, зубчатого редуктора, содержит первое кольцевое жесткое зубчатое колесо 2 внутреннего зацепления, второе кольцевое жесткое зубчатое колесо 3 внутреннего зацепления, цилиндрическое гибкое зубчатое колесо 4 внешнего зацепления, состоящее из гибкого в радиальном направлении тонкостенного  
35 упругого тела, и генератор 5 волн с эллипсоидным контуром.

[0029] Первое и второе зубчатые колеса 2, 3 внутреннего зацепления расположены обеспечением соосного выравнивания друг с другом параллельно друг, и между ними образован зазор вдоль направления центральной оси 1a. В данном примере первое зубчатое колесо 2 внутреннего зацепления является зубчатым колесом внутреннего  
40 зацепления, расположенным с неподвижной стороны и закрепленным без возможности вращения, число первых внутренних зубьев  $2a$  которого обозначено  $Z_{c1}$ . Второе зубчатое колесо 3 внутреннего зацепления является зубчатым колесом внутреннего зацепления, расположенным с приводной стороны и поддерживаемым с возможностью вращения, число вторых внутренних зубьев  $3a$  которого обозначено  $Z_{c2}$ . Второе  
45 зубчатое колесо 3 внутреннего зацепления представляет собой элемент вывода замедленного вращения волновой зубчатой передачи 1.

[0030] Цилиндрическое зубчатое колесо 4 внешнего зацепления, расположено соосно внутри первого и второго зубчатых колес 2, 3 внутреннего зацепления. Зубчатое колесо

4 внешнего зацепления содержит цилиндрическое тело 6, представляющее собой гибкое в радиальном направлении тонкостенное упругое тело, первые наружные зубья 7 и вторые наружные зубья 8, выполненные на кольцевой наружной периферической поверхности цилиндрического тела 6, и зазор 9 (см. фиг. 3), образованный между 5 наружными зубьями 7, 8 с обеих сторон и служащий в качестве просвета между инструментом и заготовкой. Первые наружные зубья 7 выполнены с одной стороны вдоль направления центральной оси 1а кольцевой наружной периферической поверхности цилиндрического тела 6, а вторые наружные зубья 8 выполнены с другой стороны вторых внутренних зубьев 3а кольцевой наружной периферической 10 поверхности. Первые и вторые наружные зубья 7, 8 выполнены таким образом, что направление центральной оси 1а является направлением линии зуба.

[0031] В частности, первые наружные зубья 7 выполнены напротив первых внутренних зубьев 2а и выполнены с возможностью зацепления с первыми внутренними зубьями 2а, причем число первых наружных зубьев 7 обозначено Zf1. Вторые наружные зубья 15 8 выполнены напротив вторых внутренних зубьев 3а и выполнены с возможностью зацепления со вторыми внутренними зубьями 3а, причем число вторых наружных зубьев 8 обозначено Zf2. Числа Zf1, Zf2 зубьев отличаются друг от друга.

[0032] Генератор 5 волн содержит жесткий кулачок 11 с эллипсоидным контуром, а также первый волновой подшипник 12 и второй волновой подшипник 13, причем первый 20 и второй волновые подшипники установлены на наружной периферической эллипсоидной поверхности жесткого кулачка 11. Первый и второй волновые подшипники образованы из шарикоподшипников.

[0033] Генератор волн 5 вставлен во внутреннюю периферическую поверхность цилиндрического тела 6 зубчатого колеса 4 внешнего зацепления и вызывает изгиб 25 цилиндрического тела 6 с получением эллипсоидной формы. В результате чего, первые и вторые наружные зубья 7, 8 также изгибаются с получением эллипсоидной формы. Зубчатое колесо 4 внешнего зацепления, изогнутое с получением эллипсоидной формы, входит в зацепление с первым и вторым зубчатыми колесами 2, 3 внутреннего зацепления в обоих конечных положениях вдоль большой оси Lmax эллипса. В частности, первые 30 наружные зубья 7 входят в зацепление с первыми внутренними зубьями 2а в обоих конечных положениях вдоль большой оси эллипса, а вторые наружные зубья 8 входят в зацепление со вторыми внутренними зубьями 3а в обоих конечных положениях вдоль большой оси эллипса.

[0034] Генератор 5 волн представляет собой элемент ввода вращения волновой 35 зубчатой передачи 1. Жесткий кулачок 11 генератора 5 волн имеет отверстие 11 с для вала, в котором соосно установлен и надежно закреплен входной поворотный вал 10 (см. фиг. 2). Например, в отверстии 11 с может быть соосно установлен и надежно закреплен выходной вал электродвигателя. При вращении генератора 5 волн положения, в которых входят в зацепление первые наружные зубья 7 зубчатого колеса 4 внешнего 40 зацепления и расположенные с неподвижной стороны первые внутренние зубья 2а, а также положения, в которых входят в зацепление вторые наружные зубья 8 зубчатого колеса 4 внешнего зацепления и расположенные с приводной стороны вторые внутренние зубья 3а, перемещаются вдоль окружного направления.

[0035] Число Zf1 первых наружных зубьев 7 и число Zf2 вторых наружных зубьев 8 45 отличаются друг от друга; в данном примере число Zf2 вторых наружных зубьев больше. Число Zc1 первых внутренних зубьев 2а и число Zf1 первых наружных зубьев 7 также отличаются друг от друга; в данном примере число Zc1 первых внутренних зубьев 2а больше. Число Zc2 вторых внутренних зубьев 3а и число Zf2 вторых наружных зубьев

8 отличаются друг от друга; в данном примере число  $Z_{c2}$  вторых внутренних зубьев 3а меньше.

[0036] В данном примере зубчатое колесо 4 внешнего зацепления изгибается с получением эллипсоидной формы и входит в зацепление с зубчатыми колесами 2, 3 внутреннего зацепления в двух положениях вдоль окружного направления. Таким образом, разница между числом  $Z_{c1}$  первых внутренних зубьев 2а и числом  $Z_{f1}$  первых наружных зубьев 7 равна  $2n_1$ , где  $n_1$  - это положительное целое число. Разница между числом  $Z_{c2}$  вторых внутренних зубьев 3а и числом  $Z_{f2}$  вторых наружных зубьев 8 равна  $2n_2$ , где  $n_2$  - это положительное целое число.

$$Z_{c1}=Z_{f1}+2n_1$$

$$Z_{c2}=Z_{f2}-2n_2$$

[0037] В конкретном примере числа зубьев установлены следующим образом ( $n_1=n_2=1$ ):

$$Z_{c1}=62$$

$$Z_{f1}=60$$

$$Z_{c2}=62$$

$$Z_{f2}=64$$

[0038] Передаточное отношение  $R_1$  между первым зубчатым колесом 2 внутреннего зацепления и первыми наружными зубьями 7, а также передаточное отношение  $R_2$  между вторым зубчатым колесом 3 внутреннего зацепления и вторыми наружными зубьями 8 соответственно заданы следующим образом:

$$i_1=1/R_1=(Z_{f1}-Z_{c1})/Z_{f1}=(60-62)/60=-1/30$$

$$i_2=1/R_2=(Z_{f2}-Z_{c2})/Z_{f2}=(64-62)/64=1/32$$

Таким образом,  $R_1=-30$ , а  $R_2=32$ .

[0039] Передаточное отношение  $R$  волновой зубчатой передачи 1 представлено следующей формулой, использующей значения передаточных отношений  $R_1$  и  $R_2$ . Таким образом, в соответствии с настоящим изобретением может быть реализована волновая зубчатая передача, имеющая очень малое передаточное отношение (низкий коэффициент редукции) (отрицательное передаточное отношение означает, что вращение на выходе осуществляется в направлении, противоположном вращению на входе).

$$R=(R_1 \times R_2 - R_1)/(-R_1 + R_2)$$

$$=(-30 \times 32 + 30)/(30 + 32)$$

$$=-930/62$$

$$=-15$$

[0040] Зазор: просвет между инструментом и заготовкой

На фиг. 3 изображен частичный увеличенный разрез волновой зубчатой передачи, показывающий зубчатое колесо 4 внешнего зацепления, а также первый и второй волновые подшипники 12 и 13 генератора 5 волн. Зазор 9, образованный между первыми и вторыми наружными зубьями 7, 8, служит в качестве просвета между инструментом и заготовкой для зуборезных фрез, используемых для нарезания первых и вторых наружных зубьев 7, 8.

[0041] Далее сначала описаны первые и вторые наружные зубья 7 и 8. Поскольку первые и вторые внутренние зубья 2а и 3а имеют по существу одинаковую ширину зуба, то первые наружные зубья 7 и вторые наружные зубья 8, имеющие одинаковую ширину зуба, выполнены симметрично относительно центрального положения ба по направлению линии зуба цилиндрического тела 6. В том случае, если первые и вторые внутренние зубья отличаются друг от друга по ширине зуба, первые и вторые наружные

зубья 7 и 8 также будут отличаться по ширине зуба.

[0042] Зазор 9 имеет установленную ширину вдоль направления линии зуба; а самый глубокий участок, который представляет собой участок зазора 9, выполненный самым глубоким вдоль направления высоты зуба, образован в центральной части направления

5 линии зуба. В настоящем изобретении самый глубокий участок 9а представляет собой участок, на котором центральная часть по направлению линии зуба задана прямой линией, проходящей параллельно направлению линии зуба, если смотреть со стороны направления толщины зуба. С двух концов самого глубокого участка 9а по направлению

10 линии зуба плавно соединены вогнутая дугообразная кривая, которая задает внутреннюю торцевую поверхность 7а первых наружных зубьев 7 по направлению линии зуба, и вогнутая дугообразная кривая, которая задает внутреннюю торцевую поверхность 8а вторых наружных зубьев 8 по направлению линии зуба. Может быть также принята конфигурация, в которой самый глубокий участок 9а задан вогнутой дугообразной поверхностью, а две внутренние торцевые поверхности 7а, 8а заданы

15 наклонными прямыми линиями. Кроме того, может быть принята конфигурация, в которой самый глубокий участок 9а задан прямой линией, а две внутренние торцевые поверхности 7а, 8а заданы наклонными прямыми линиями.

[0043] Ширина зазора 9 по направлению линии зуба в данном примере постепенно увеличивается от самого глубокого участка 9а вдоль направления высоты зуба.

20 Максимальная ширина L1 по направлению линии зуба представляет собой расстояние вдоль направления линии зуба от внутреннего края 7b окружности вершин первых наружных зубьев 7 до внутреннего края 8b окружности вершин вторых наружных зубьев 8.

[0044] Установлено соотношение

25  $0,1L < L1 < 0,3L,$

где L - ширина от наружного торца 7с первых наружных зубьев 7 по направлению линии зуба до наружного торца 8с вторых наружных зубьев 8 по направлению линии зуба, а L1 - максимальная ширина зазора 9 по направлению линии зуба.

[0045] Высота самого глубокого участка 9а зазора 9 задана следующим образом.

30 Установлены соотношения

$$0,9h1 < t1 < 1,3h1 \text{ и}$$

$$0,9h2 < t2 < 1,3h2,$$

где h1 - высота зуба первых наружных зубьев 7, h2 - высота зуба вторых наружных зубьев 8, t1 - глубина по высоте зуба от вершины 7d зуба первых наружных зубьев 7

35 до самого глубокого участка 9а, и t2 - глубина по высоте зуба от вершины 8d зуба вторых наружных зубьев 8 до самого глубокого участка 9а.

[0046] Более того, для зубчатого колеса 4 внешнего зацепления сдвоенной волновой зубчатой передачи 1 используются разные зуборезные фрезы для нарезания первых и вторых наружных зубьев. По этой причине зазор 9, служащий в качестве просвета

40 между инструментом и заготовкой, образован в центральной части по направлению линии зуба зубчатого колеса 4 внешнего зацепления, а именно, между первыми и вторыми наружными зубьями 7 и 8.

[0047] То, каким образом образован зазор 9, оказывает заметное воздействие на контакт первых наружных зубьев 7 с первыми внутренними зубьями 2а вдоль

45 направления линии зуба, равно как и на распределение нагрузки по пятну контакта. Аналогично, то, каким образом образован зазор 9, оказывает заметное воздействие на контакт вторых наружных зубьев 8 со вторыми внутренними зубьями 3а вдоль направления линии зуба, равно как и на распределение нагрузки по пятну контакта.

[0048] Ввиду вышеизложенного, максимальная ширина L1 зазора 9 установлена в пределах диапазона от 0,1 до 0,3 ширины L зубчатого колеса 4 внешнего зацепления, а максимальные значения глубины t1, t2 установлены в пределах диапазона от 0,9 до 1,3 высоты h1, h2 зуба первых и вторых наружных зубьев 7 и 8. Было подтверждено, что образование зазора 9 таким способом позволяет поддерживать равномерность распределения нагрузки по пятну контакта вдоль направления линии зуба первых и вторых наружных зубьев 7, 8, а также поддерживать удовлетворительное состояние контакта первых и вторых наружных зубьев 7, 8 с первыми и вторыми внутренними зубьями 2а, 3а в каждом положении по направлению линии зуба.

[0049] Соответственно, можно реализовать волновую зубчатую передачу с передаточным отношением менее 30, а также с высокой усталостной прочностью корня зуба и большой нагрузочной способностью.

[0050] [Расстояние между центрами шариков подшипников в волновом генераторе]

Далее со ссылками на фиг. 3 описано расстояние между центрами шариков первого и второго волновых подшипников 12, 13.

[0051] В жестком кулачке 11 генератора 5 волн первая наружная периферическая поверхность 11а фиксированной ширины с эллипсоидным контуром выполнена с одной стороны по направлению центральной оси, а вторая наружная поверхность 11b фиксированной ширины с эллипсоидным контуром выполнена с другой стороны по направлению центральной оси. Первая наружная периферическая поверхность 11а и вторая наружная периферическая поверхность 11b представляют собой эллипсоидные наружные периферические поверхности, имеющие одинаковую форму и одинаковую фазу.

[0052] Первый волновой подшипник 12 установлен на первой наружной периферической поверхности 11а изогнутым с получением эллипсоидной формы, а второй волновой подшипник 13 установлен на второй наружной периферической поверхности 11b изогнутым с получением эллипсоидной формы. Первый и второй волновые подшипники 12, 13 имеют одинаковый размер.

[0053] Центры 12а, 13а первого волнового подшипника 12 и второго волнового подшипника 13 равноудалены, вдоль направления ширины зуба, от центрального положения ба по направлению линии зуба на зубчатом колесе 4 внешнего зацепления. Расстояние между центрами шариков подшипников установлено таким образом, что оно увеличивается соответственно при увеличении максимальной ширины L1 зазора 9. Кроме того, межцентровое расстояние Lo установлено таким образом, чтобы находиться в пределах диапазона, заданного следующей формулой, где Lo - расстояние между центрами шариков подшипников.

$$0,35L < Lo < 0,7L$$

[0054] В известном уровне техники применяют генератор волн, содержащий два ряда шариков для подшипников, для увеличения площади, на которую опирается зубчатое колесо внешнего зацепления. Два ряда шариков для подшипников были расположены относительно центральной части по направлению ширины зуба зубчатого колеса внешнего зацепления, не учитывая межцентровое расстояние.

[0055] В настоящем примере межцентровое расстояние Lo между двумя рядами волновых подшипников 12, 13 увеличено с тем, чтобы можно было повысить жесткость опоры первых и вторых наружных зубьев 7, 8, отличающихся друг от друга числом, и улучшить контакт каждого из наружных зубьев 7, 8 с внутренними зубьями 2а, 3а в каждом положении по направлению линии зуба. В частности, как описано выше, принята конфигурация, в которой межцентровое расстояние Lo удлиняется (увеличивается) в

соответствии с увеличением в направлении линии зуба максимальной длины  $L_1$  зазора 9, образованного между первыми и вторыми наружными зубьями 7, 8 и служащего в качестве просвета между инструментом и заготовкой. Величина увеличения межцентрового расстояния  $L_0$  установлена в диапазоне 0,35-0,7 ширины  $L$  зубчатого колеса 4 внешнего зацепления.

[0056] Это позволяет разместить первый и второй волновые подшипники 12, 13 таким образом, чтобы центры шариков подшипников имели подходящее расположение по направлению линии зуба относительно первых и вторых наружных зубьев 7, 8 в соответствии с шириной образованного зазора 9. Это позволяет обеспечить надежную поддержку первых и вторых наружных зубьев 7, 8 с использованием первых и вторых волновых подшипников 12, 13 в каждом положении по направлению линии зуба первых и вторых наружных зубьев 7, 8 (т.е. увеличить опорную жесткость генератора 5 волн).

[0057] В результате, можно улучшить пятно контакта первых и вторых наружных зубьев 7, 8 в каждом положении по направлению линии зуба и повысить их усталостную прочность корня зуба. Кроме того, можно усреднить распределение нагрузки на шарики каждого волнового подшипника 12, 13 генератора 5 волн и снизить максимальную нагрузку и, тем самым, увеличить срок службы генератора 5 волн.

[0058] Величина, на которую изгибается зубчатое колесо внешнего зацепления

В настоящем примере первые и вторые наружные зубья 7, 8 зубчатого колеса 4 внешнего зацепления подвергаются изгибу с получением эллипсоидной формы генератором 5 волн, имеющим два ряда волновых подшипников 12, 13.  $m_1$  - модуль первых наружных зубьев 7, и  $m_2$  - модуль вторых наружных зубьев 8.  $2n_1$  - разница в числе зубьев между первыми наружными зубьями 7 и первыми внутренними зубьями 2а, и  $2n_2$  - разница в числе зубьев между вторыми наружными зубьями 8 и вторыми внутренними зубьями 3а.

[0059] Теоретическое значение  $d_1$  величины, на которую первые наружные зубья 7 изогнуты в радиальном направлении в местах положения большой оси  $L_{max}$ , и теоретическое значение  $d_2$  величины, на которую вторые наружные зубья 8 изогнуты в радиальном направлении при изгибе наружных зубьев с получением эллипсоидной формы, соответственно представлены следующими соотношениями

$$d_1 = m_1 n_1;$$

$$d_2 = m_2 n_2.$$

[0060] В настоящем примере величина  $d_{1a}$ , на которую первые наружные зубья 7 изогнуты в радиальном направлении генератором 5 волн, больше теоретического значения  $d_1$ . Аналогичным образом, величина  $d_{2a}$ , на которую вторые наружные зубья 8 изогнуты в радиальном направлении генератором 5 волн, больше теоретического значения  $d_2$ . В частности, в настоящем примере величины  $d_{1a}$  и  $d_{2a}$  радиального изгиба заданы в пределах следующих диапазонов:

$$d_{1a} = \omega d_1,$$

$$d_{2a} = \omega d_2,$$

$$1,25 \leq \omega \leq 3.$$

[0061] На фиг. 4 в преувеличенной форме изображен схематический чертеж зубчатого колеса 4 внешнего зацепления в изогнутом положении. Как показано на фиг. 4, окружность  $C$  обода в нейтральном положении представляет собой окружность, проходящую через центр толщины цилиндрического тела 6 (обод у корня зуба) в

положении, в котором зубчатое колесо 4 внешнего зацепления является идеально круглым перед изгибом с получением эллипсоидной формы. Окружность С обода в нейтральном положении деформируется с получением эллипсоидной формы вследствие изгиба зубчатого колеса 4 внешнего зацепления с получением эллипсоидной формы.

5 Указанную деформированную окружность называют «эллипсоидной кривой С1 обода в нейтральном положении». Величина  $d$ , на которую зубчатое колесо 4 внешнего зацепления изогнуто в радиальном направлении, представляет собой разницу между радиусом большой оси  $L_{\max}$  эллипсоидной кривой С1 обода в нейтральном положении и радиусом окружности С обода в нейтральном положении.

10 [0062] В настоящем примере величина радиального изгиба первых наружных зубьев 7 больше величины радиального изгиба вторых наружных зубьев 8. Соответственно, величина изгиба зубчатого колеса 4 внешнего зацепления увеличивается от наружного торца 8 с второго наружного колеса 8 к наружному торцу 7 с первого наружного колеса 7 примерно пропорционально расстоянию от наружного торца 8 с в поперечном сечении, включающем большую ось  $U_{\max}$ , как показано в преувеличенной форме на фиг. 4.

15 Вышеописанные величины  $d_{1a}$  и  $d_{2a}$  радиального изгиба представляют собой средние величины изгиба первых и вторых наружных зубьев 7 и 8 соответственно. Они приблизительно равны величинам изгиба в центральных положениях первых и вторых наружных зубьев по направлению линии зуба (разница между радиусами эллипсоидных кривых С1, С2 обода в нейтральном положении и окружности С обода в нейтральном положении).

[0063] Величины радиального изгиба первых и вторых наружных зубьев 7 и 8, отличающихся числом, больше теоретических значений, как описано выше. Было подтверждено, что наружные зубья 7 и 8 могут быть надлежащим образом введены в зацепление с соответствующими зубчатыми колесами внутреннего зацепления, и может быть увеличена износоустойчивость и усталостная прочность корня зуба первых и вторых наружных зубьев. Кроме того, было подтверждено, что может быть обеспечено равномерное распределение нагрузки на шарики двух рядов волновых подшипников 12 и 13 для поддержки первых и вторых наружных зубьев 7 и 8, и срок службы волновых подшипников 12 и 13 может быть увеличен.

30 [0064] Другие варианты осуществления изобретения В примере, описанном выше, первое зубчатое колесо 2 внутреннего зацепления выполнено как зубчатое колесо внутреннего зацепления, расположенное с неподвижной стороны, а второе зубчатое колесо 3 внутреннего зацепления выполнено как зубчатое колесо внутреннего зацепления, расположенное с приводной стороны. И наоборот, вместо этого возможно выполнить первое зубчатое колесо 2 внутреннего зацепления как зубчатое колесо внутреннего зацепления, расположенное с приводной стороны, а второе зубчатое колесо 3 внутреннего зацепления выполнить как зубчатое колесо внутреннего зацепления, расположенное с неподвижной стороны.

40

### (57) Формула изобретения

#### 1. Волновая зубчатая передача, содержащая:

- первое жесткое зубчатое колесо внутреннего зацепления, в котором выполнены первые внутренние зубья;
  - 45 - второе жесткое зубчатое колесо внутреннего зацепления, в котором выполнены вторые внутренние зубья,
- причем второе зубчатое колесо внутреннего зацепления расположено с обеспечением соосного выравнивания с первым зубчатым колесом внутреннего зацепления и



параллельно ему;

- гибкое зубчатое колесо внешнего зацепления, в котором первые наружные зубья, выполненные с возможностью зацепления с первыми внутренними зубьями, и вторые наружные зубья, выполненные с возможностью зацепления со вторыми внутренними зубьями, выполнены на наружной периферической поверхности гибкого в радиальном направлении цилиндрического тела,

причем число первых зубьев отличается от числа вторых зубьев, при этом зубчатое колесо внешнего зацепления расположено соосно внутри первого и второго зубчатых колес внутреннего зацепления; и

- генератор волн, выполненный с возможностью изгиба зубчатого колеса внешнего зацепления с получением эллипсоидной формы, для обеспечения частичного зацепления первых наружных зубьев с первыми внутренними зубьями и вторых наружных зубьев со вторыми внутренними зубьями; причем

когда  $m_1$  - модуль первых наружных зубьев,  $m_2$  - модуль вторых наружных зубьев,

$n_1$  и  $n_2$  - положительные целые числа,  $2n_1$  - разница в числе зубьев между первыми наружными зубьями и первыми внутренними зубьями,  $2n_2$  - разница в числе зубьев между вторыми наружными зубьями и вторыми внутренними зубьями, и

теоретическое значение  $d_1$  величины, на которую первые наружные зубья изогнуты в радиальном направлении в местах положения большой оси, и теоретическое значение  $d_2$  величины, на которую вторые наружные зубья изогнуты в радиальном направлении в местах положения большой оси при изгибе зубчатого колеса внешнего зацепления с получением эллипсоидной формы, соответственно представлены соотношениями

$$d_1 = m_1 n_1,$$

$$d_2 = m_2 n_2; \text{ то}$$

величины  $d_{1a}$  и  $d_{2a}$  радиального изгиба удовлетворяют соотношениям

$$d_{1a} = \omega d_1 \text{ и}$$

$$d_{2a} = \omega d_2,$$

где  $d_{1a}$  - величина, на которую первые наружные зубья изогнуты в радиальном направлении генератором волн,

$d_{2a}$  - величина, на которую вторые наружные зубья изогнуты в радиальном направлении генератором волн, и

$\omega$  - коэффициент, имеющий значение больше 1.

2. Волновая зубчатая передача по п. 1, в которой коэффициент  $\omega$  удовлетворяет условию:

$$1,25 \leq \omega \leq 3.$$

3. Волновая зубчатая передача по п. 1, в которой генератор волн содержит:

жесткий кулачок;

наружную периферическую поверхность с эллипсоидным контуром, выполненную на наружной периферической поверхности кулачка;

первый волновой подшипник, установленный на наружной периферической поверхности и содержащий шарикоподшипники для поддержки первых наружных зубьев; и

второй волновой подшипник, установленный на наружной периферической поверхности и содержащий шарикоподшипники для поддержки вторых наружных зубьев.

4. Волновая зубчатая передача по п. 1, в которой между внутренней торцевой поверхностью первых наружных зубьев по направлению линии зуба и внутренней торцевой поверхностью вторых наружных зубьев по направлению линии зуба образован зазор, имеющий установленную ширину вдоль направления линии зуба и самый глубокий участок вдоль направления высоты зуба в центральной части по направлению линии зуба; причем

удовлетворяется соотношение

$$0,1L < L1 < 0,3L,$$

где  $L$  - ширина от наружного торца первых наружных зубьев по направлению линии зуба до наружного торца вторых наружных зубьев по направлению линии зуба, а

$L1$  - максимальная ширина зазора по направлению линии зуба; и

удовлетворяются соотношения

$$0,9h1 < t1 < 1,3h1 \text{ и}$$

$$0,9h2 < t2 < 1,3h2,$$

где  $h1$  - высота зуба первых наружных зубьев,

$h2$  - высота зуба вторых наружных зубьев,

$t1$  - глубина по высоте зуба от вершины зуба первых наружных зубьев до самого глубокого участка,

$t2$  - глубина по высоте зуба от вершины зуба вторых наружных зубьев до самого глубокого участка.

5. Волновая зубчатая передача по п. 4, в которой генератор волн содержит первый волновой подшипник, содержащий шарикоподшипник, для поддержки первых наружных зубьев, и второй волновой подшипник, содержащий шарикоподшипник, для поддержки вторых наружных зубьев; и

центры шариков первого волнового подшипника и второго волнового подшипника равноудалены вдоль направления линии зуба от центра зазора по направлению линии зуба; причем

межцентровое расстояние  $Lo$  представляет собой расстояние между центрами шариков первого и второго волновых подшипников,

при этом межцентровое расстояние  $Lo$  установлено так, что оно увеличивается в соответствии с увеличением максимальной ширины  $L1$  зазора и удовлетворяет соотношению

$$0,35L < Lo < 0,7L.$$

6. Волновая зубчатая передача по п. 1, в которой

число первых наружных зубьев отличается от числа первых внутренних зубьев; и число вторых наружных зубьев отличается от числа вторых внутренних зубьев.

7. Волновая зубчатая передача по п. 1, в которой

число первых наружных зубьев меньше числа первых внутренних зубьев, а

число первых внутренних зубьев и число вторых внутренних зубьев равны друг

другу.

8. Волновая зубчатая передача по п. 1, в которой

генератор волн представляет собой элемент ввода вращения; и

любое колесо из первого зубчатого колеса внутреннего зацепления и второго зубчатого колеса внутреннего зацепления является зубчатым колесом внутреннего

зацепления, расположенным с неподвижной стороны и закрепленным без возможности вращения, а другое колесо из первого зубчатого колеса внутреннего зацепления и второго зубчатого колеса внутреннего зацепления является зубчатым колесом внутреннего зацепления, расположенным с приводной стороны и представляющим

собой элемент вывода замедленного вращения.

5

10

15

20

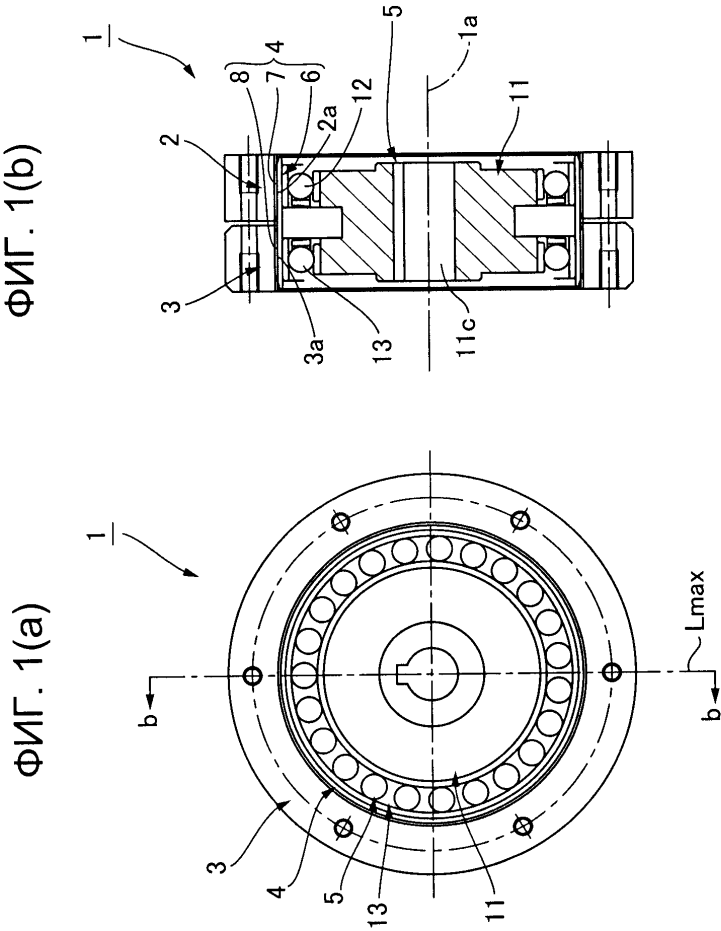
25

30

35

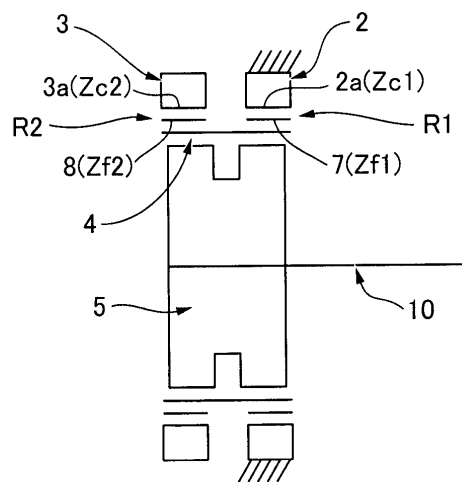
40

45



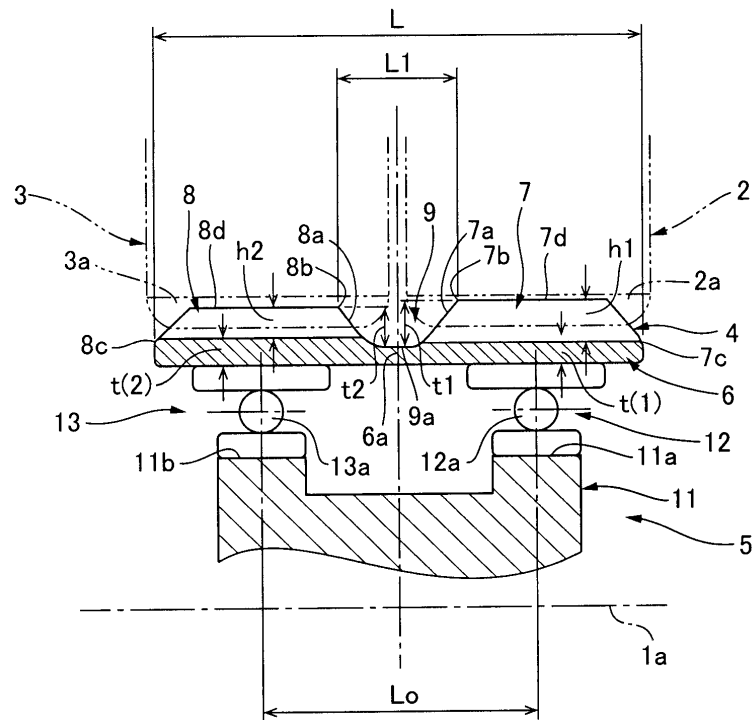
2 / 4

ФИГ. 2



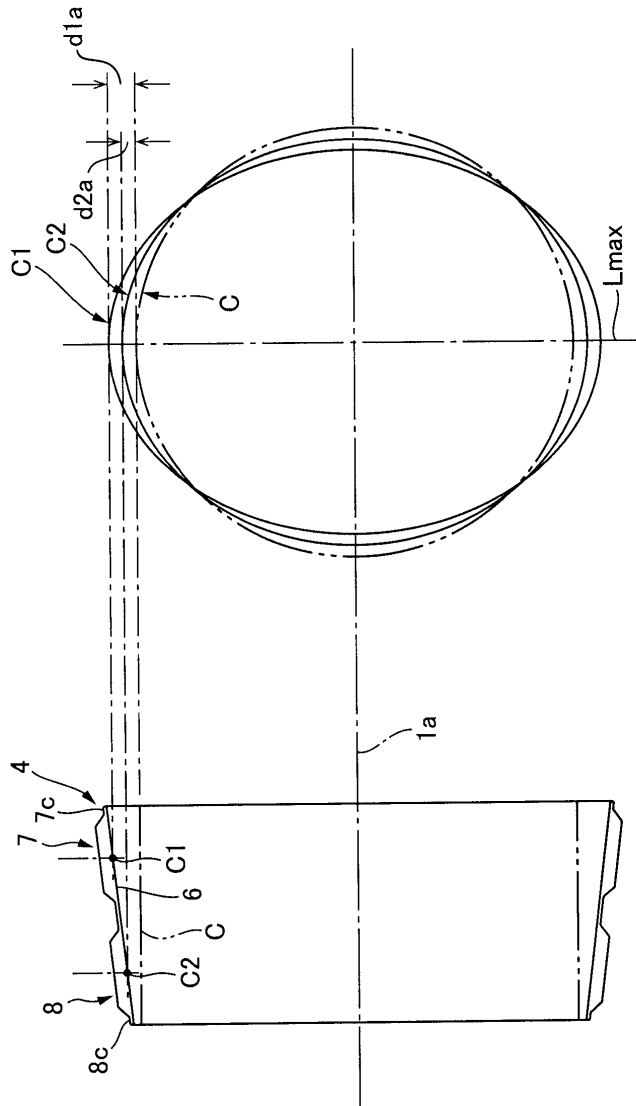
3 / 4

ФИГ. 3



4 / 4

ФИГ. 4(b)



ФИГ. 4(a)

