



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК

F16H 1/32 (2006.01); F16H 55/16 (2006.01)

(21)(22) Заявка: 2016148943, 03.07.2015

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
03.07.2015

Дата регистрации:  
29.06.2018

Приоритет(ы):

(30) Конвенционный приоритет:  
23.07.2014 JP 2014-149375

(45) Опубликовано: 29.06.2018 Бюл. № 19

(85) Дата начала рассмотрения заявки РСТ на  
национальной фазе: 27.02.2017

(86) Заявка РСТ:  
JP 2015/069247 (03.07.2015)

(87) Публикация заявки РСТ:  
WO 2016/013383 (28.01.2016)

Адрес для переписки:  
190000, Санкт-Петербург, ВОХ-1125,  
"ПАТЕНТИКА"

(72) Автор(ы):

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

(73) Патентообладатель(и):

ХАРМОНИК ДРАЙВ СИСТЕМС ИНК.  
(JP)

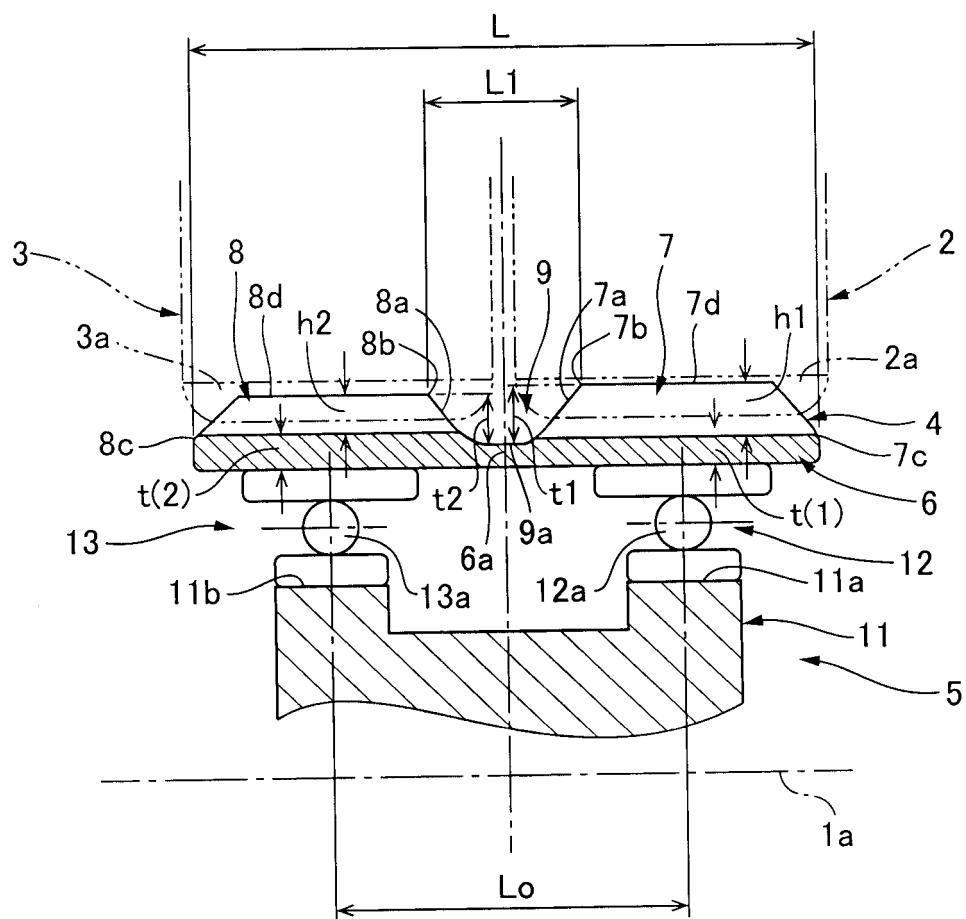
(56) Список документов, цитированных в отчете  
о поиске: UA 78075 C2, 15.02.2007. JP  
2013119919 A, 17.06.2013. JP 2011112214 A,  
09.06.2011. SU 301479 A1, 21.04.1971. JP  
2275147 A, 09.11.1990. US 8656800 B1,  
25.02.2014. SU 1137269 A1, 30.01.1985.

### (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) не совпадает. Первые и вторые наружные зубья (7, 8) изгибаются генератором

волн на одинаковую величину изгиба с получением эллипсоидной формы. Высота (h1) зуба профиля (70) зуба первых наружных зубьев (7), имеющих меньшее число зубьев, меньше, чем высота (h2) зуба профиля (80) зуба вторых наружных зубьев (8), имеющих большее число зубьев. Достигается улучшение зацепления между зубчатыми колесами. 10 з.п. ф-лы, 8 ил.



ФИГ. 3



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC

*F16H 1/32* (2006.01); *F16H 55/16* (2006.01)(21)(22) Application: **2016148943, 03.07.2015**(24) Effective date for property rights:  
**03.07.2015**Registration date:  
**29.06.2018**

Priority:

(30) Convention priority:  
**23.07.2014 JP 2014-149375**(45) Date of publication: **29.06.2018** Bull. № 19(85) Commencement of national phase: **27.02.2017**(86) PCT application:  
**JP 2015/069247 (03.07.2015)**(87) PCT publication:  
**WO 2016/013383 (28.01.2016)**Mail address:  
**190000, Sankt-Peterburg, BOX-1125,  
"PATENTIKA"**

(72) Inventor(s):

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

(73) Proprietor(s):

**KHARMONIK DRAJV SISTEMES 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), 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) does not match. First and second outer teeth (7, 8) are bent by the waves generator for the same amount of bending with the

ellipsoidal shape production. Tooth profile (70) tooth height (h1) of the first outer teeth (7) having a smaller number of teeth is lower than the tooth profile (80) tooth height (h2) of the second outer teeth (8) having larger number of teeth.

EFFECT: enabling improvement in the engagement between the gear wheels.

11 cl, 8 dwg



## 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 патентных документах 1 и 4 раскрыты известные волновые зубчатые передачи, в которых 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. В патентном документе 1 наружные зубья зубчатого колеса внешнего зацепления разделены пополам в 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. В патентном документе 4 указано, что толщина стенки обода зубчатого колеса внешнего зацепления оказывает значительное воздействие на усталостную прочность корня зуба зубчатого колеса внешнего зацепления.

[0004] В волновых зубчатых передачах, описанных в патентных документах 1 и 4, 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. Замедленное вращение зубчатого колеса внешнего зацепления выводят с зубчатого колеса внутреннего зацепления, расположенного с приводной стороны, которое вращается совместно с зубчатым колесом внешнего зацепления.

[0005] 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.

[0006] 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

[0007]

Патентный документ 1: JP-A 2011-112214

Патентный документ 2: JP-A 02-275147

Патентный документ 3: JP-U 01-91151

Патентный документ 4: 2008-180259

**РАСКРЫТИЕ СУЩНОСТИ ИЗОБРЕТЕНИЯ**

**ПРОБЛЕМЫ, РЕШАЕМЫЕ ИЗОБРЕТЕНИЕМ**

[0008] 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 позволяет уменьшить или увеличить скорость вращения между первыми наружными зубьями и первым зубчатым колесом внутреннего зацепления, а также уменьшить или увеличить скорость вращения между вторыми наружными зубьями и вторым зубчатым колесом внутреннего зацепления, по аналогии с волновой зубчатой передачей, раскрытой в патентном документе 2. Соответственно, возможно реализовать волновую зубчатую передачу с передаточным отношением менее 50. Кроме того, данная 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.

[0009] 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».

[0010] 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  
5 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.

[0011] В случаях, когда генератор волн изгибает зубчатое колесо внешнего зацепления  
10 с получением эллипсоидной формы, первые и вторые наружные зубья, выполненные на зубчатом колесе внешнего зацепления, изгибаются на такую же величину в радиальном направлении. Первые и вторые наружные зубья отличаются модулем и числом зубьев. Величина, на которую первые наружные зубья изгибаются для обеспечения возможности удовлетворительного зацепления с внутренними зубьями  
15 первого зубчатого колеса внутреннего зацепления, и величина, на которую вторые наружные зубья изгибаются для обеспечения возможности удовлетворительного зацепления с внутренними зубьями второго зубчатого колеса внутреннего зацепления, отличаются друг от друга.

[0012] Таким образом, даже когда наружные зубья на одной стороне могут  
20 обеспечивать удовлетворительное зацепление с внутренними зубьями, степень зацепления наружных зубьев на другой стороне с внутренними зубьями может быть либо недостаточной, либо избыточной. При недостаточной степени зацепления наружных зубьев с внутренними зубьями нагрузочная способность волновой зубчатой передачи и способность к передаче крутящего момента снижаются. И наоборот, при избыточной  
25 степени зацепления наружных зубьев с внутренними зубьями они друг другу мешают, что приводит к снижению их изнosoустойчивости. Когда положения зацепления первых и вторых наружных зубьев с внутренними зубьями отличаются, нарушается баланс усталостной прочности корня зуба между первыми и вторыми наружными зубьями. Кроме того, увеличивается диапазон колебаний распределения нагрузки на шарики  
30 первого и второго волновых подшипников, поддерживающих первые и вторые наружные зубья, в генераторе волн, и существует риск того, что такое увеличение может сократить срок службы волновых подшипников.

[0013] В известном уровне техники не предложены сдвоенные волновые зубчатые передачи. Следовательно, положениям зацепления с зубчатыми колесами внутреннего  
35 зацепления, когда левые и правые первые и вторые наружные зубья, отличающиеся числом, изгибаются на одинаковую величину, или отрицательным последствиям, вызванным такими положениями зацепления, внимания уделено не было.

[0014] В свете вышеописанных недостатков задачей настоящего изобретения является создание сдвоенной волновой зубчатой передачи, в которой профили первых и вторых  
40 наружных зубьев, отличающихся числом, заданы таким образом, что обеспечена возможность изгиба первых и вторых наружных зубьев соответствующим образом для формирования подходящих положений зацепления относительно соответствующих зубчатых колес внутреннего зацепления.

#### СРЕДСТВА РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМ

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

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

- 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

5 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,

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

- генератор волн для 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 удовлетворяется соотношение

$$Z_{f1}=Z_{f2}-2n$$

20 где

$Z_{f1}$  - число первых наружных зубьев,

$Z_{f2}$  - число вторых наружных зубьев и

$n$  - положительное целое число; и

удовлетворяются соотношения

25  $d < d_1$

$d > d_2$

где  $d$  - величина, на которую первые и вторые наружные зубья изогнуты в радиальном направлении генератором волн,

30  $n_1$  и  $n_2$  - положительные целые числа,  $m_1$  - модуль первых наружных зубьев,  $m_2$  - модуль вторых наружных зубьев,  $2n_1$  - 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 наружных зубьев с получением эллипсоидной формы, соответственно представлены соотношениями

40  $d_1 = m_1 n_1$  и

$d_2 = m_2 n_2$ ; и

причем удовлетворяется соотношение

$$h_1 > h_2$$

45 где первая высота  $h_1$  зуба - это высота зуба профиля зуба первых наружных зубьев, и вторая высота  $h_2$  зуба - это высота зуба профиля зуба вторых наружных зубьев.

[0016] Первая высота  $h_1$  зуба и вторая высота  $h_2$  зуба предпочтительно удовлетворяют соотношению

$$1,0 < h_2/h_1 < 1,42.$$



[0017] В настоящем изобретении первые и вторые наружные зубья, отличающиеся числом зубьев, изгибают с получением эллипсоидной формы так, чтобы они изгибались на одинаковую величину, и вводят в зацепление с первыми и вторыми внутренними зубьями соответственно. Величина изгиба первых наружных зубьев, число которых является меньшим, меньше теоретического значения. Применение конфигурации, в которой высота зуба первых наружных зубьев больше, чем высота зуба вторых наружных зубьев, позволяет устранить любую недостаточность зацепления между первыми внутренними зубьями и первыми наружными зубьями, которые продвигаются меньше во время зацепления, и образовать удовлетворительное положение зацепления. Это также позволяет увеличить число зубьев из числа первых наружных зубьев и первых внутренних зубьев, одновременно находящихся в зацеплении.

[0018] И наоборот, величина изгиба вторых наружных зубьев, число которых является большим, больше теоретического значения. Применение конфигурации, в которой высота зуба вторых наружных зубьев меньше, чем высота зуба первых наружных зубьев, позволяет устранить мешающее воздействие между вторыми внутренними зубьями и вторыми наружными зубьями, которые продвигаются больше во время зацепления, и образовать удовлетворительное положение зацепления.

[0019] В результате, возможно устранение неблагоприятных эффектов, таких как: ухудшение состояния зацепления между первыми наружными зубьями и первыми внутренними зубьями, а также между вторыми наружными зубьями и вторыми внутренними зубьями, что снизило бы нагрузочную способность волновой зубчатой передачи; ухудшение баланса усталостной прочности корня зуба между первыми и вторыми наружными зубьями; и снижение износоустойчивости зубчатого колеса внешнего зацепления и зубчатых колес внутреннего зацепления. Также возможно обеспечение общего увеличения крутящего момента между первыми и вторыми наружными зубьями и первыми и вторыми внутренними зубьями. Кроме того, в генераторе волн для поддержки первых и вторых наружных зубьев возможно свести к минимуму диапазон колебаний распределения нагрузки на шарики первых и вторых волновых подшипников, а также предотвратить сокращение срока службы волновых подшипников.

[0020] В настоящем изобретении предпочтительно, чтобы удовлетворялось соотношение

$$\alpha_1 > \alpha_2$$

где первый средний угол  $\alpha_1$  зацепления представляет собой среднее значение углов, образованных осью симметрии профиля зуба и касательной линией профиля зуба, проведенной к отдельным участкам пятна контакта в пределах 50%-диапазона общей высоты зуба в профиле зуба первых наружных зубьев, причем через центр диапазона проходит делительная окружность первых наружных зубьев, и

второй средний угол  $\alpha_2$  зацепления представляет собой среднее значение углов, образованных осью симметрии профиля зуба вторых наружных зубьев и касательной линией профиля зуба, проведенной к отдельным участкам пятна контакта в пределах 50%-диапазона общей высоты зуба в профиле зуба вторых наружных зубьев, причем через центр диапазона проходит делительная окружность вторых наружных зубьев.

[0021] Первый и второй средние углы  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  зацепления предпочтительно удовлетворяют соотношению

$$0,29\alpha_1 < \alpha_2 < 0,75\alpha_1.$$

[0022] В настоящем изобретении первые и вторые наружные зубья, отличающиеся числом зубьев, изгибают с получением эллипсоидной формы так, чтобы они изгибались

на одинаковую величину, и зацепляют с первыми и вторыми внутренними зубьями соответственно. Величина изгиба первых наружных зубьев, число которых является меньшим, меньше теоретического значения. Профиль зуба первых наружных зубьев выполнен таким, что высота зуба и средний угол его зацепления больше высоты зуба и среднего угла его зацепления профиля зуба вторых наружных зубьев. Это позволяет устранить любую недостаточность зацепления между первыми внутренними зубьями и первыми наружными зубьями, которые продвигаются меньше во время зацепления, и образовать удовлетворительное положение зацепления.

[0023] И наоборот, величина изгиба вторых наружных зубьев, число которых является большим, больше теоретического значения. Профиль зуба вторых наружных зубьев выполнен таким, что высота зуба и средний угол его зацепления меньше высоты зуба и среднего угла его зацепления профиля зуба первых наружных зубьев. Это позволяет устранить мешающее воздействие между вторыми внутренними зубьями и вторыми наружными зубьями, которые продвигаются больше во время зацепления, и образовать удовлетворительное положение зацепления.

[0024] В настоящем изобретении значения первой и второй толщины  $t(1)$ ,  $t(2)$  стенки обода предпочтительно удовлетворяют соотношению

$$t(1) < t(2),$$

где первая толщина  $t(1)$  стенки обода - это толщина стенки обода у корня зуба первых наружных зубьев, а вторая толщина  $t(2)$  стенки обода - это толщина стенки обода у корня зуба вторых наружных зубьев.

[0025] Таким образом, толщина стенки обода вторых наружных зубьев, число которых является большим, больше толщины стенки обода первых наружных зубьев, число которых является меньшим. Это позволяет поддерживать баланс усталостной прочности корня зуба между первыми и вторыми наружными зубьями.

[0026] Кроме того, в настоящем изобретении генератор волн предпочтительно 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.

[0027] В вдвоенной волновой зубчатой передаче числовое соотношение между каждым из зубьев может быть установлено, как описано ниже. В частности, число первых наружных зубьев отличается от числа первых внутренних зубьев, а число вторых наружных зубьев отличается от числа вторых внутренних зубьев.

[0028] Более конкретно, число первых наружных зубьев меньше числа первых внутренних зубьев, а число первых внутренних зубьев и число вторых внутренних зубьев равны между собой.

[0029] Кроме того, вдвоенную волновую зубчатую передачу обычно используют в качестве зубчатого редуктора. В данном случае, например, генератор волн представляет собой элемент ввода вращения, и одно 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 КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ЧЕРТЕЖЕЙ

[0030] На фиг. 1 изображен вид с торца и продольный разрез сдвоенной волновой зубчатой передачи в соответствии с настоящим изобретением;

на фиг. 2 изображен схематический чертеж сдвоенной волновой зубчатой передачи, показанной на фиг. 1;

10 на фиг. 3 изображен частичный увеличенный разрез сдвоенной волновой зубчатой передачи, показанной на фиг. 1;

на фиг. 4 изображен схематический чертеж зубчатого колеса внешнего зацепления, показанного на фиг. 1, в изогнутом положении; и

на фиг. 5 изображено два чертежа, демонстрирующих профили зуба первых и вторых 15 наружных зубьев зубчатого колеса внешнего зацепления, показанного на фиг. 1.

## ОСУЩЕСТВЛЕНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

[0031] Далее приведено описание варианта осуществления сдвоенной волновой зубчатой передачи в соответствии с настоящим изобретением со ссылкой на сопроводительные чертежи.

20 [0032] Общая конфигурация волновой зубчатой передачи

На фиг. 1 изображен вид с торца и продольный разрез, демонстрирующие сдвоенную волновую зубчатую передачу (далее называемую просто «волновая зубчатая передача») в соответствии с вариантом осуществления настоящего изобретения, и на фиг. 2

изображен схематический чертеж того же самого. Волновая зубчатая передача 1,

25 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 упругого тела, и генератор 5 волн с эллипсоидным контуром.

30 [0033] Первое и второе зубчатые колеса 2, 3 внутреннего зацепления расположены с обеспечением соосного выравнивания друг с другом параллельно друг другу, и между ними образован зазор вдоль направления центральной оси 1а. В данном примере первое зубчатое колесо 2 внутреннего зацепления является зубчатым колесом внутреннего зацепления, расположенным с неподвижной стороны и закрепленным без возможности 35 вращения, число первых внутренних зубьев 2а 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 3а которого обозначено  $Z_{c2}$ . Второе зубчатое колесо 3 внутреннего зацепления представляет собой элемент вывода 40 замедленного вращения волновой зубчатой передачи 1.

[0034] 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 45 вторые наружные зубья 8, выполненные на кольцевой наружной периферической поверхности цилиндрического тела 6, и зазор 9 (см. фиг. 3), образованный между наружными зубьями 7, 8 с обеих сторон и служащий в качестве просвета (зазора) 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 поверхности. Первые и вторые наружные зубья 7, 8 выполнены таким образом, что

5 направление центральной оси 1а является направлением линии зуба.

[0035] 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 8 выполнены напротив вторых внутренних зубьев 3а и выполнены с возможностью

10 зацепления со вторыми внутренними зубьями 3а, причем число вторых наружных зубьев 8 обозначено Zf2. Числа Zf1, Zf2 зубьев отличаются друг от друга.

[0036] Генератор 5 волн содержит жесткий кулачок 11 с эллипсоидным контуром, а также первый волновой подшипник 12 и второй волновой подшипник 13, причем первый и второй волновые подшипники установлены на наружной периферической

15 эллипсоидной поверхности жесткого кулачка 11. Первый и второй волновые подшипники образованы из шарикоподшипников.

[0037] Генератор волн 5 вставлен во внутреннюю периферическую поверхность цилиндрического тела 6 зубчатого колеса 4 внешнего зацепления и вызывает изгиб цилиндрического тела 6 с получением эллипсоидной формы. В результате этого, первые

20 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 наружные зубья 7 входят в зацепление с первыми внутренними зубьями 2а в обоих

25 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.

[0038] Генератор 5 волн представляет собой элемент ввода вращения волновой зубчатой передачи 1. Жесткий кулачок 11 генератора 5 волн имеет отверстие 11с для

30 вала, в котором соосно установлен и надежно закреплен входной поворотный вал 10 (см. фиг. 2). Например, в отверстии 11с 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 зацепления и расположенные с неподвижной стороны первые внутренние зубья 2а, а

35 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.

[0039] Число Zf1 первых наружных зубьев 7 и число Zf2 вторых наружных зубьев 8 отличаются друг от друга; в данном примере число Zf2 вторых наружных зубьев больше.

40 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 Zc2 вторых внутренних зубьев 3а меньше.

45 [0040] 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 Zc1 первых внутренних зубьев 2а и числом Zf1 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.

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

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

[0041] В конкретном примере числа зубьев установлены следующим образом ( $n_1=n_2=1$ ):

$$Z_{c1}=62$$

$$Z_{f1}=60$$

$$Z_{c2}=62$$

$$Z_{f2}=64$$

[0042] 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  $R_2=32$ .

[0043] 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).

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

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

$$=-930/62$$

$$=-15$$

[0044] Таким образом, в заявленном изобретении в соответствии с предложенной волновой зубчатой передачей 1 возможно получить передаточное отношение меньше 50, например, передаточное отношение значительно ниже 30. Кроме того, в отличие от известного уровня техники, первые наружные зубья 7 и вторые наружные зубья 8, 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.

[0045] Конфигурация зубчатого колеса внешнего зацепления

На фиг. 3 изображен частичный увеличенный разрез сдвоенной волновой зубчатой передачи 1, показанной на фиг. 1. Далее более подробно описаны первые и вторые наружные зубья 7, 8, выполненные на зубчатом колесе 4 внешнего зацепления, со ссылкой в первую очередь на фиг. 3. В настоящем примере ширина зуба первых и вторых наружных зубьев 7, 8 по существу равна ширине зуба первых и вторых внутренних зубьев 2а, 3а, с которыми первые и вторые наружные зубья 7, 8 могут входить в зацепление. Таким образом, первые наружные зубья 7 и вторые наружные зубья 8, имеющие одинаковую ширину зуба, выполнены симметрично относительно центрального положения 6а по направлению линии зуба на цилиндрическом теле 6. В случаях, когда первые внутренние зубья 2а и вторые внутренние зубья 3а отличаются

по ширине зуба, первые наружные зубья 7 и вторые наружные зубья 8 также сконфигурированы с разными значениями толщины зуба соответствующим образом.

[0046] Между первыми и вторыми наружными зубьями 7, 8 образован зазор 9, имеющий установленную ширину вдоль направления линии зуба. Зазор 9 служит в качестве просвета между инструментом и заготовкой для зуборезных фрез, используемых для нарезания первых и вторых наружных зубьев 7, 8.

[0047] Толщина стенки обода первых и вторых наружных зубьев

Толщина стенки обода у корня зуба первых наружных зубьев 7 и вторых наружных зубьев 8 задана следующим образом. Вторая толщина  $t(2)$  стенки обода вторых наружных зубьев 8, число которых больше, задана таким образом, что превышает первую толщину  $t(1)$  стенки обода первых наружных зубьев 7, число которых меньше, где первая толщина  $t(1)$  стенки обода - это толщина стенки обода первых наружных зубьев 7, а вторая толщина  $t(2)$  стенки обода - это толщина стенки обода вторых наружных зубьев 8.

$$t(1) < t(2)$$

[0048] Величина, на которую изгибаются первые и вторые наружные зубья

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. Таким образом, 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.

$$d_1 = m_1 n_1$$

$$d_2 = m_2 n_2$$

[0049] 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 6, диаметры делительной окружности зубьев с обеих сторон приблизительно равны. Соответственно, теоретическое значение  $m_n$  величины радиального изгиба обычно меньше, когда число зубьев больше.

[0050] В настоящем примере величины, на которые первые и вторые наружные зубья 7, 8 изогнуты в радиальном направлении генератором 5 волн, имеют одинаковое значение  $d$ . Величина  $d$  радиального изгиба представлена следующими соотношениями.

$$d < d_1$$

$$d > d_2$$

[0051] На фиг. 4 изображен схематический чертеж зубчатого колеса 4 внешнего зацепления в изогнутом положении. Как показано на фиг. 4, окружность С 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. Данную деформированную окружность называют «эллипсоидной кривой C1 обода в нейтральном положении».

[0052] Величина  $d$ , на которую зубчатое колесо 4 внешнего зацепления изгибается в радиальном направлении, представляет собой разницу между радиусом большой оси  $L_{\max}$  эллипсоидной кривой C1 обода в нейтральном положении и радиусом окружности C обода в нейтральном положении. Данная величина  $d$  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  $m n$  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 смещении) величины изгиба в радиальном направлении.

[0053] В настоящем примере положение изгиба первых наружных зубьев 7, имеющих меньшее число, задано величиной изгиба, значение которой меньше теоретического значения (величина изгиба при отрицательном угле смещения, где  $k < 1$ ), как описано выше. И наоборот, положение изгиба вторых наружных зубьев 8, имеющих большее число, задано величиной изгиба, значение которой больше теоретического значения (величина изгиба при положительном угле смещения, где  $k > 1$ ).

[0054] Средние углы зацепления первых и вторых наружных зубьев

На фиг. 5(a) изображен чертеж, показывающий профиль зуба, который задает первые наружные зубья 7, и на фиг. 5(b) изображен чертеж, показывающий профиль зуба, который задает вторые наружные зубья 8. Профили первых и вторых наружных зубьев 7, 8 в данном примере описаны со ссылкой на эти чертежи.

[0055] Прежде всего, описано соотношение между углами зацепления профилей зуба первых и вторых наружных зубьев 7, 8. На фиг. 5(a), на котором показан один профиль 70 зуба первых наружных зубьев 7, основная область A1 пятна контакта представляет собой область пятна контакта, задающую 50%-диапазон общей высоты  $h_1$  зуба профиля 70 зуба, причем через центр основной области A1 пятна контакта проходит делительная окружность PC1. Определен первый средний угол  $\alpha_1$  зацепления, который представляет собой среднее значение углов, образованных осью симметрии профиля 70 зуба и касательной линией профиля зуба, проведенной к отдельным участкам основной области A1 пятна контакта.

[0056] Аналогичным образом, на фиг. 5(b), на которой показан один профиль 80 зуба вторых наружных зубьев 8, основная область A2 пятна контакта представляет собой область пятна контакта, задающую 50%-диапазон общей высоты  $h_2$  зуба профиля 80 зуба, причем через центр основной области A2 пятна контакта проходит делительная окружность PC2. Определен второй средний угол  $\alpha_2$  зацепления, который представляет собой среднее значение углов, образованных осью симметрии профиля 80 зуба и касательной линией профиля зуба, проведенной к отдельным участкам основной области A2 пятна контакта.

[0057] В настоящем примере первый средний угол  $\alpha_1$  зацепления первых наружных зубьев 7, число которых является меньшим, установлен большим, чем второй средний угол  $\alpha_2$  зацепления вторых наружных зубьев 8, число которых является большим (т.е.  $\alpha_1 > \alpha_2$ ). Например, соотношение между первым и вторым средними углами  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  зацепления может быть установлено следующим образом.

$$\alpha_2 \approx 0,31 \alpha_1$$

[0058] В соответствии с экспериментами, проведенными авторами настоящего изобретения, было подтверждено, что соотношение между первым и вторым средними углами  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  зацепления предпочтительно установлено следующим образом.

$$0,29\alpha_1 < \alpha_2 < 0,75\alpha_1.$$

5 [0059] (Высота зуба первых и вторых наружных зубьев

Далее описано соотношение между значениями высоты  $h_1$ ,  $h_2$  зуба первых и вторых наружных зубьев 7, 8. В настоящем примере первая высота  $h_1$  зуба, которая представляет собой высоту первых наружных зубьев 7, число которых является меньшим, установлена большей, чем вторая высота  $h_2$  зуба, которая представляет собой высоту вторых  
10 наружных зубьев 8, число которых является большим ( $h_1 > h_2$ ). Например, соотношение между первой и второй высотой  $h_1$ ,  $h_2$  зуба может быть установлено следующим образом.

$$h_2 \approx 0,86h_1$$

[0060] В соответствии с экспериментами, проведенными авторами настоящего  
15 изобретения, было подтверждено, что между первой и второй высотами  $h_1$ ,  $h_2$  зуба предпочтительно удовлетворяется следующее соотношение.

$$h_1 > h_2$$

[0061] В волновой зубчатой передаче 1 настоящего примера первые и вторые наружные зубья 7, 8, отличающиеся числом зубьев, изгибают с получением эллипсоидной  
20 формы на одинаковую величину, и вводят в зацепление с первыми и вторыми внутренними зубьями 2а, 3а соответственно. Величина изгиба первых наружных зубьев 7, число которых является меньшим, меньше теоретического значения. Профиль 70 зуба первых наружных зубьев 7 сконфигурирован таким образом, что высота  $h_1$  зуба и средний угол  $\alpha_1$  зацепления больше высоты зуба и среднего угла зацепления профиля  
25 80 зуба вторых наружных зубьев 8. Это позволяет устранить любую недостаточность зацепления между первыми внутренними зубьями 2а и первыми наружными зубьями 7, которые продвигаются меньше во время зацепления, и образовать удовлетворительное положение зацепления.

[0062] И наоборот, величина изгиба вторых наружных зубьев 8, число которых  
30 является большим, больше теоретического значения. Профиль 80 зуба вторых наружных зубьев 8 сконфигурирован таким образом, что высота  $h_2$  зуба и средний угол  $\alpha_2$  зацепления больше высоты зуба и среднего угла зацепления профиля 70 зуба первых наружных зубьев 7. Это позволяет устранить мешающее воздействие между вторыми внутренними зубьями 3а и вторыми наружными зубьями 8, которые продвигаются  
35 больше во время зацепления, и образовать удовлетворительное положение зацепления.

[0063] В результате, возможно поддерживать в удовлетворительном состоянии положение зацепления между первыми наружными зубьями 7 и первыми внутренними зубьями 2а, а также положение зацепления между вторыми наружными зубьями 8 и вторыми внутренними зубьями 3а. Это позволяет предотвратить снижение нагрузочной  
40 способности волновой зубчатой передачи, сохранить баланс усталостной прочности корня зуба между первыми и вторыми наружными зубьями 7, 8 и обеспечить износоустойчивость зубчатого колеса 4 внешнего зацепления и зубчатых колес 2, 3 внутреннего зацепления. Также возможно обеспечить общее увеличение крутящего момента между первыми и вторыми наружными зубьями 7, 8 и первыми и вторыми  
45 внутренними зубьями 2а, 3а. Кроме того, в генераторе 5 волн для поддержки первых и вторых наружных зубьев 7, 8 возможно свести к минимуму диапазон колебаний распределения нагрузки на шарики первых и вторых волновых подшипников 12, 13, а также предотвратить сокращение срока службы волновых подшипников.



[0064] Зазор: просвет между инструментом и заготовкой Далее со ссылкой на фиг. 3 описан зазор 9, образованный между первыми и вторыми наружными зубьями 7, 8. Как описано ранее, зазор 9 служит в качестве просвета между инструментом и заготовкой для зуборезных фрез, используемых для нарезания первых и вторых

5 наружных зубьев 7, 8.  
[0065] 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

10 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

15 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

20 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 наклонными прямыми линиями. Кроме того, может быть принята конфигурация, в

25 которой самый глубокий участок 9а задан прямой линией, а две внутренние торцевые поверхности 7а, 8а заданы наклонными прямыми линиями.

[0066] Ширина зазора 9 по направлению линии зуба в данном примере постепенно увеличивается от самого глубокого участка 9а вдоль направления высоты зуба. Максимальная ширина L1 по направлению линии зуба представляет собой расстояние

30 вдоль направления линии зуба от внутреннего края 7b окружности вершин первых наружных зубьев 7 до внутреннего края 8b окружности вершин вторых наружных зубьев 8.

[0067] Установлено соотношение  

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

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

[0068] Высота самого глубокого участка 9а зазора 9 задана следующим образом. Установлены соотношения

35 
$$0,9h1 < t1 < 1,3h1 \text{ и}$$

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

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 до самого глубокого участка 9а, и t2 - глубина по высоте зуба от вершины 8d зуба

40 вторых наружных зубьев 8 до самого глубокого участка 9а.

[0069] В зубчатом колесе 4 внешнего зацепления сдвоенной волновой зубчатой передачи 1 зуборезные фрезы, используемые для нарезания первых и вторых наружных зубьев 7, 8, отличаются друг от друга. По этой причине, зазор 9, служащий в качестве просвета между инструментом и заготовкой, образован в центральной части по

45 направлению линии зуба зубчатого колеса 4 внешнего зацепления, т.е. между первыми наружными зубьями 7 и вторыми наружными зубьями 8.

[0070] То, каким образом образован зазор 9, оказывает заметное воздействие на контакт первых наружных зубьев 7 с первыми внутренними зубьями 2а вдоль

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.

5 [0071] 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, 8, как описано выше. Было подтверждено, что образование зазора 9 таким способом позволяет поддерживать  
10 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.

[0072] Расстояние между центрами шариков подшипников в волновом генераторе  
15 Далее со ссылками на фиг. 3 описано расстояние между центрами шариков первого и второго волновых подшипников 12, 13.

[0073] 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  
20 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.

25 [0074] 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.

30 [0075] 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 в соответствии с увеличением максимальной ширины  $L1$  зазора 9.  
35 Кроме того, межцентровое расстояние  $Lo$  установлено таким образом, чтобы находиться в пределах диапазона, заданного следующей формулой, где  $Lo$  - расстояние между центрами шариков подшипников.

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

[0076] В известном уровне техники применяют генератор волн, содержащий два ряда  
40 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.

[0077] В настоящем примере межцентровое расстояние  $Lo$  между двумя рядами  
45 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  $L_0$  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.

[0078] 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).

[0079] 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.

[0080] 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 (элемент вывода замедленного вращения). Однако, вместо этого можно выполнить первое зубчатое колесо 2 внутреннего зацепления как зубчатое колесо внутреннего зацепления, расположенное с приводной стороны (элемент вывода замедленного вращения), а второе зубчатое колесо 3 внутреннего зацепления как зубчатое колесо внутреннего зацепления, расположенное с неподвижной стороны.

#### (57) Формула изобретения

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

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

- 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, а зубчатое колесо внешнего зацепления расположено соосно внутри первого и второго зубчатых колес внутреннего зацепления; и

- генератор волн для 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 удовлетворяется соотношение

$Z_{f1}=Z_{f2}-2n$ , где

5  $Z_{f1}$  - число первых наружных зубьев,

$Z_{f2}$  - число вторых наружных зубьев и

$n$  - положительное целое число; причем

величины, на которые соответственно первые и вторые наружные зубья изогнуты в радиальном направлении генератором волн, являются одинаковой величиной  $d$  изгиба в радиальном направлении, которая удовлетворяет соотношениям

10  $d < d_1$  и

$d > d_2$ ,

при этом,

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

15  $n_1$  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

$d_1$  - теоретическое значение величины, на которую первые наружные зубья изогнуты

20 в радиальном направлении в местах положения большой оси, и  $d_2$  - теоретическое

значение величины, на которую вторые наружные зубья изогнуты в радиальном

направлении при изгибе наружных зубьев с получением эллипсоидной формы, то

расчетные значения  $d_1$  и  $d_2$  величин соответственно представлены соотношениями

25  $d_1 = m_1 n_1$  и

$d_2 = m_2 n_2$ ,

и удовлетворяется соотношение

$h_1 > h_2$ , где

первая высота  $h_1$  зуба - это высота зуба профиля зуба первых наружных зубьев и

30 вторая высота  $h_2$  зуба - это высота зуба профиля зуба вторых наружных зубьев.

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

первая высота  $h_1$  зуба и вторая высота  $h_2$  зуба удовлетворяют соотношению

$1,0 < h_1/h_2 < 1,42$ .

3. Волновая зубчатая передача по п. 1, в которой удовлетворяется соотношение

35  $\alpha_1 > \alpha_2$ ,

где первый средний угол  $\alpha_1$  зацепления представляет собой среднее значение углов, образованных осью симметрии профиля зуба и касательными линиями профиля зуба, проведенными к отдельным участкам пятна контакта в пределах 50%-ного диапазона общей высоты зуба в профиле зуба первых наружных зубьев, причем через центр

40 диапазона проходит делительная окружность первых наружных зубьев, и

второй средний угол  $\alpha_2$  зацепления представляет собой среднее значение углов,

образованных осью симметрии профиля зуба вторых наружных зубьев и касательными линиями профиля зуба, проведенными к отдельным участкам пятна контакта в пределах 50%-ного диапазона общей высоты зуба в профиле зуба вторых наружных зубьев,

45 причем через центр диапазона проходит делительная окружность вторых наружных зубьев.

4. Волновая зубчатая передача по п. 3, в которой

первый и второй средние углы  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  зацепления удовлетворяют соотношению

$$0,29\alpha_1 < \alpha_2 < 0,75\alpha_1.$$

5. Волновая зубчатая передача по п. 1, в которой первая толщина  $t(1)$  и вторая толщина  $t(2)$  стенки обода удовлетворяют соотношению  $t(1) < t(2)$ ,

5 где первая толщина  $t(1)$  стенки обода - это толщина стенки обода у корня зуба первых наружных зубьев, а

вторая толщина  $t(2)$  стенки обода - это толщина стенки обода у корня зуба вторых наружных зубьев.

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

10 генератор волн содержит:

жесткий кулачок;

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

первый волновой подшипник, установленный на наружной периферической

15 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.

20 7. 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, который имеет установленную ширину вдоль направления линии зуба, а также самый глубокий участок по высоте зуба в центральной

25 части по направлению линии зуба; причем

удовлетворяется соотношение

$$0,1L < L_1 < 0,3L,$$

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

30  $L_1$  - максимальная ширина зазора по направлению линии зуба; и

удовлетворяются соотношения

$$0,9h_1 < t_1 < 1,3h_1 \text{ и}$$

$$0,9h_2 < t_2 < 1,3h_2,$$

где

35  $h_1$  - высота зуба первых наружных зубьев,

$h_2$  - высота зуба вторых наружных зубьев,

$t_1$  - глубина по высоте зуба от вершины зуба первых наружных зубьев до самого глубокого участка и

40  $t_2$  - глубина по высоте зуба от вершины зуба вторых наружных зубьев до самого глубокого участка.

8. Волновая зубчатая передача по п. 7,

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;

45 и

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

причем межцентровое расстояние  $L_0$  представляет собой расстояние между центрами шариков первого и второго волновых подшипников,

при этом межцентровое расстояние установлено таким образом, что оно увеличивается в соответствии с увеличением максимальной ширины  $L_1$  зазора и

удовлетворяет соотношению

$$0,35L < L_0 < 0,7L.$$

9. 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.

10. Волновая зубчатая передача по п. 1,

в которой число первых наружных зубьев меньше числа первых внутренних зубьев, при этом

число первых внутренних зубьев и число вторых внутренних зубьев равны друг

другу.

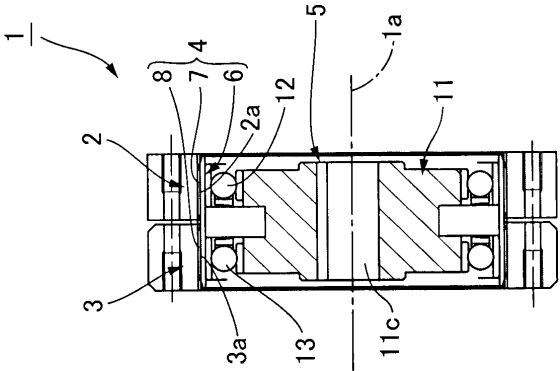
11. Волновая зубчатая передача по п. 1, в которой

генератор волн представляет собой элемент ввода вращения и

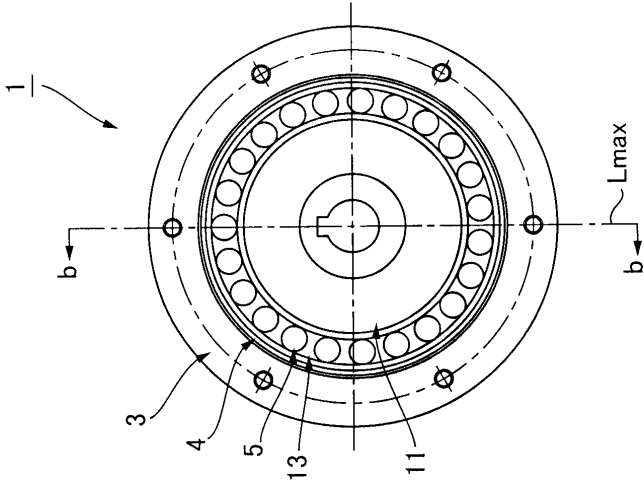
любое колесо из первого зубчатого колеса внутреннего зацепления и второго зубчатого колеса внутреннего зацепления является зубчатым колесом внутреннего

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.

ФИГ. 1(b)

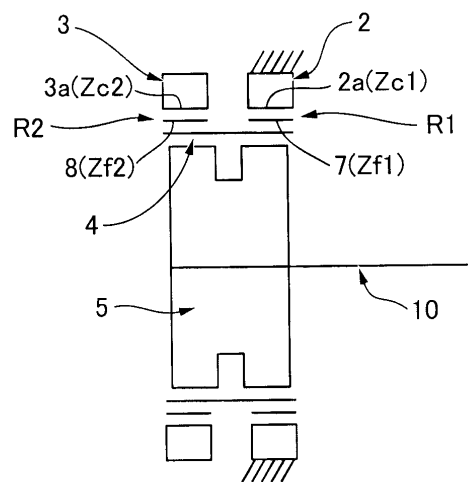


ФИГ. 1(a)



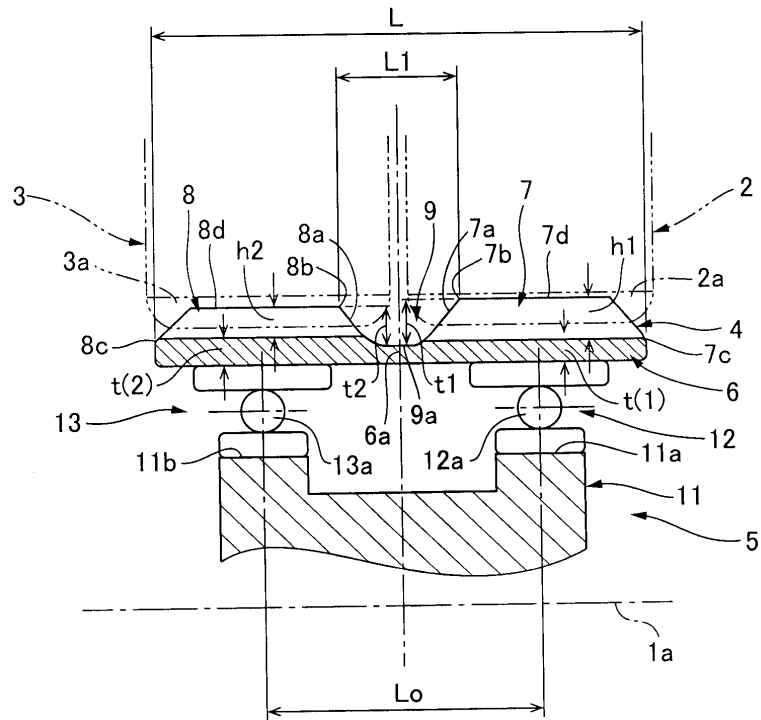
2 / 5

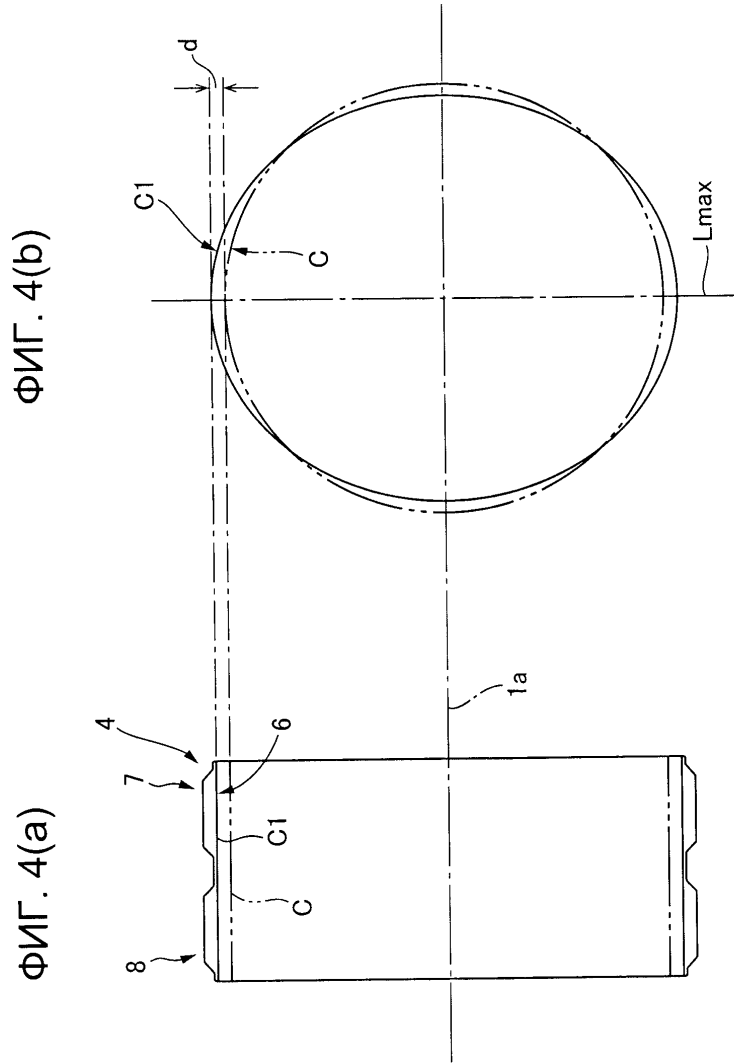
ФИГ. 2



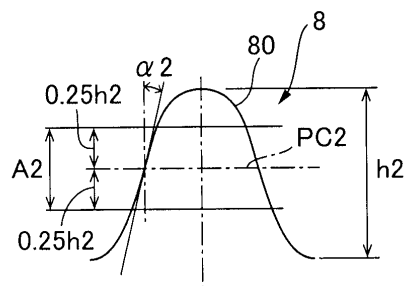


ФИГ. 3





ФИГ. 5(b)



ФИГ. 5(a)

