



República Federativa do Brasil

Ministério do Desenvolvimento, Indústria,  
Comércio e Serviços

Instituto Nacional da Propriedade Industrial



**(11) BR 112017000366-0 B1**

**(22) Data do Depósito:** 03/07/2015

**(45) Data de Concessão:** 14/02/2023

**(54) Título:** ENGRENAÇÃO COM ONDA DE TENSÃO DO TIPO DUPLO

**(51) Int.Cl.:** F16H 1/32; F16H 55/08.

**(30) Prioridade Unionista:** 23/07/2014 JP 2014-149370.

**(73) Titular(es):** HARMONIC DRIVE SYSTEMS INC..

**(72) Inventor(es):** JUN HANNA; YOSHIHIDE KIYOSAWA; NOBORU TAKIZAWA; XIN YUE ZHANG.

**(86) Pedido PCT:** PCT JP2015069242 de 03/07/2015

**(87) Publicação PCT:** WO 2016/013378 de 28/01/2016

**(85) Data do Início da Fase Nacional:** 06/01/2017

**(57) Resumo:** Trata-se de uma engrenagem externamente dentada (4) de uma engrenagem com onda de tensão do tipo duplo (1) dotada de primeiros e segundos dentes externos (7, 8) que têm diferentes números de dentes, e um vão (9) formado entre esses dentes como uma área de folga de cortador para cortadores de dentes. A largura máxima L1 do vão (9) é 0,1 a 0,3 vezes a largura L da engrenagem dentada externamente. A profundidade de área de contato de topo de dente do primeiro dente externo (7) até a parte mais profunda (9a) do vão (9) é 0,9 a 1,3 vezes a profundidade dos primeiros dentes externos, e a profundidade a partir da área de contato de topo de dente dos segundos dentes externos (8) até a parte mais profunda (9a) do vão (9) é 0,9 a 1,3 vezes a profundidade dos segundos dentes externos. A resistência à fadiga de fundo de dente da engrenagem externamente dentada dotada de diferentes números de primeiros e segundos dentes externos é aumentada, tornando possível alcançar uma engrenagem com onda de tensão com alta capacidade de carga e pequena razão de velocidade.

**"ENGRENAGEM COM ONDA DE TENSÃO DO TIPO DUPLO"****[CAMPO DA TÉCNICA]**

[0001] A presente invenção refere-se a uma engrenagem com onda de tensão que tem um par de engrenagens internamente dentadas, uma engrenagem externamente dentada cilíndrica com capacidade de se flexionar em uma direção radial, e um gerador de onda.

**[ANTECEDENTES DA TÉCNICA]**

[0002] As engrenagens com onda de tensão que têm engrenagens externamente dentadas cilíndricas são tipicamente dotadas de uma engrenagem internamente dentada de lado estacionário presa com a finalidade de não girar, um gerador de onda que é um elemento de inserção de rotação, uma engrenagem internamente dentada de lado de acionamento que é um elemento de emissão de rotação reduzida, e uma engrenagem externamente dentada cilíndrica com capacidade de se flexionar na direção radial e entrelaçar com a engrenagem internamente dentada de lado estacionário e a engrenagem internamente dentada de lado de acionamento. Em engrenagens com onda de tensão típicas, a engrenagem externamente dentada é provocada a se flexionar em um formato de elipse, em que a engrenagem externamente dentada flexionada em formato de elipse entrelaça com as engrenagens internamente dentadas de lado de acionamento e de lado estacionário em ambas as posições de extremidade ao longo do eixo geométrico principal do formato de elipse.

[0003] O Documento de Patente 1 revela engrenagens com onda de tensão típicas nas quais o número de dentes da engrenagem internamente dentada de lado estacionário é duas vezes maior do que o da engrenagem externamente dentada, e o número de dentes da engrenagem internamente dentada de lado de acionamento é igual ao da engrenagem externamente dentada. Os dentes externos da engrenagem externamente dentada são bisseccionados na porção central de direção de traço de dente dos mesmos, em que uma das porções de dente externo tem capacidade de

entrelaçar com a engrenagem internamente dentada de lado estacionário, e a outra das porções de dente externo tem capacidade de entrelaçar com a engrenagem internamente dentada de lado de acionamento. Quando o gerador de onda gira, a engrenagem externamente dentada gira mais lentamente em uma razão de velocidade que corresponde à diferença no número de dentes em relação à engrenagem internamente dentada de lado estacionário. A rotação reduzida da engrenagem externamente dentada é emitida a partir da engrenagem internamente dentada de lado de acionamento, que gira integralmente com a engrenagem externamente dentada.

[0004] As engrenagens com onda de tensão são caracterizadas pelo fato de que é possível ter altas razões de redução e uma alta resposta sem retorno. Entretanto, em alguns casos, as engrenagens com onda de tensão que têm uma baixa razão de redução são desejáveis. Nas engrenagens com onda de tensão, quando a razão de velocidade das mesmas se torna pequena, a quantidade de flexão radial da engrenagem externamente dentada das mesmas se torna grande. Em consideração às características mecânicas, aos desempenhos mecânicos e a outros fatores como os entrelaçamentos da engrenagem internamente dentada flexível com a engrenagem internamente dentada enquanto está sendo flexionada, as engrenagens com onda de tensão típicas têm uma razão de velocidade de 50 ou mais, e é difícil que as engrenagens com onda de tensão tenham uma razão de velocidade tão baixa quanto 20 a 50.

[0005] O Documento de Patente 2 revela uma engrenagem com onda de tensão na qual o número de dentes da engrenagem internamente dentada de lado estacionário é duas vezes maior que o da engrenagem externamente dentada, e o número de dentes da engrenagem internamente dentada de lado de acionamento é duas vezes menor que o da engrenagem externamente dentada. Nessa engrenagem com onda de tensão, quando o gerador de onda gira, a engrenagem externamente dentada gira mais

lentamente em uma razão de velocidade que corresponde à diferença no número de dentes em relação à engrenagem internamente dentada de lado estacionário. A rotação da engrenagem externamente dentada é aumentada em uma razão de velocidade que corresponde à diferença em número e dentes entre a engrenagem externamente dentada e a engrenagem internamente dentada de lado de acionamento, e é emitida a partir da engrenagem internamente dentada de lado de acionamento. A rotação emitida a partir da engrenagem internamente dentada de lado de acionamento é reduzida a uma razão de velocidade de menos que 50 em relação à rotação inserida no gerador de onda.

[0006] Os Documentos de Patente 2 e 3 revelam engrenagens com onda de tensão que têm geradores de onda que têm duas fileiras de mancais esféricos. Esse tipo de gerador de onda é configurado a partir de um plugue rígido que tem uma superfície periférica externa de contorno em elipse, e duas fileiras de mancais esféricos encaixados na superfície periférica externa. A engrenagem internamente dentada flexível é pressionada radialmente para fora pelas duas porções de extremidade de eixo geométrico principal das superfícies periféricas externas dos traços externos flexionados em forma de elipse dos mancais esféricos, e o entrelaçamento da engrenagem internamente dentada flexível em relação às primeira e segunda engrenagens internamente dentadas rígidas é sustentado.

## **DOCUMENTOS DE TÉCNICA ANTERIOR**

### **DOCUMENTOS DE PATENTE**

[0007] Documento de Patente 1: JP-A2011-112214

[0008] Documento de Patente 2: JP-A02-275147

[0009] Documento de Patente 3: JP-U01-91151

### **[SUMÁRIO DA INVENÇÃO]**

### **[PROBLEMAS UM SEREM SOLUCIONADOS PELA INVENÇÃO]**

[0010] Considera-se que, na engrenagem externamente dentada usada no presente documento, os primeiros dentes com capacidade de

entrelaçar com uma primeira engrenagem internamente dentada e os segundos dentes com capacidade de entrelaçar com uma outra segunda engrenagem internamente dentada são formados na superfície periférica externa de um corpo cilíndrico radialmente flexível, em que os segundos dentes diferem em número dos primeiros dentes. A adoção de tal configuração torna possível realizar uma engrenagem com onda de tensão que tem uma razão de velocidade menor que 50 de uma maneira similar como na engrenagem com onda de tensão revelada no Documento de Patente 2. Adicionalmente, essa configuração permite que uma engrenagem com onda de tensão que tem uma razão de velocidade menor que 50 seja projetada com um grau de liberdade maior do que na engrenagem com onda de tensão revelada do Documento de Patente 2.

[0011] No presente relatório descritivo, uma engrenagem com onda de tensão que tem uma engrenagem externamente dentada na qual os primeiros e segundos dentes externos diferem em número são formados na superfície periférica externa de um corpo cilíndrico flexível é chamada de "engrenagem com onda de tensão de tipo duplo". A engrenagem com onda de tensão de tipo duplo tem problemas descritos doravante no presente documento.

[0012] Primeiro, em uma engrenagem com onda de tensão de tipo duplo, os primeiros dentes externos e os segundos dentes externos de uma engrenagem externamente dentada são formados na superfície periférica externa de um corpo cilíndrico compartilhado, e as partes de aro de fundo de dente dos primeiros e dos segundos dentes externos são conectadas entre si. Os primeiros e os segundos dentes externos que diferem em número são feitos para entrelaçar com diferentes engrenagens internamente dentadas, respectivamente, de modo que a força aplicada nos primeiros dentes externos ocasionada ao entrelaçar com os dentes internos de uma engrenagem internamente dentada seja amplamente diferente da força aplicada nos segundos dentes externos ocasionada ao entrelaçar com

os dentes internos da outra engrenagem internamente dentada. Especificamente, diferente do caso em que os dentes externos são separados em duas partes ao longo da direção de traço de dente, uma vez que os primeiros dentes externos e os segundos dentes externos diferem em número, os perfis de dente desses dois dentes externos também diferirão.

[0013] Consequentemente, a concentração de estresse alto e a grande quantidade de torção ocorrem em porções entre os primeiros e os segundos dentes externos que são formados na superfície periférica externa do corpo cilíndrico flexível formada a partir de um corpo elástico de parede fina. Como um resultado, nos primeiros e segundos dentes externos, seus estados de contato de dente em relação aos dentes internos em cada ponto ao longo da direção de traço de dente são alterados, e suas distribuições de carga de área de contato de dente ao longo da direção de traço de dente são consideravelmente osciladas.

[0014] Quando os estados de contato de dente são alterados e as distribuições de carga de área de contato de dente são consideravelmente oscilados, a resistência à fadiga de fundo de dente e o torque de transferência de carga da engrenagem externamente dentada não podem ser aumentadas. A fim de aumentar a resistência à fadiga de fundo de dente e o torque de transferência de carga da engrenagem externamente dentada, é necessário que a distribuição de contato de dente se torne uniforme com a finalidade de diminuir a carga de contato de dente máxima, e que o contato de dente em cada ponto ao longo da direção de traço de dente seja mantido de uma maneira adequada.

[0015] Adicionalmente, os estados de entrelaçamento dos primeiros e segundos dentes externos com os respectivos dentes internos, especialmente seus estados de entrelaçamento de direção de traço de dente, são afetados pela rigidez de suporte do gerador de onda. Quando os estados de entrelaçamento ao longo da direção de traço de dente não são apropriados, o torque de carga de transferência é diminuído.

[0016] Portanto, a fim de aumentar a resistência à fadiga de fundo de dente e o torque de carga de transferência da engrenagem externamente dentada, é necessário que a distribuição de carga de área de contato de dente seja uniforme com a finalidade de reduzir a carga de área de contato de dente máxima, e que o contato de dente em cada ponto ao longo da direção de traço de dente seja mantido em um estado adequado. Adicionalmente, a fim de manter um estado de entrelaçamento apropriado em cada ponto ao longo da direção de traço de dente, a rigidez de suporte do gerador de onda precisa ser aumentada.

[0017] Além disso, se a engrenagem externamente dentada não for apropriadamente sustentada pelo gerador de onda, as distribuições de carga de esfera de mancal que aparecem nas duas fileiras dos mancais esféricos do gerador de onda se tornam irregulares, através do que o tempo de vida dos mancais é encurtado. Portanto, para o propósito de que a distribuição de carga de esfera de mancal se torne regular e a durabilidade dos mancais seja acentuada, é necessário sustentar as porções de entrelaçamento entre os primeiros dentes externos e os dentes internos de uma engrenagem internamente dentada, e as porções de entrelaçamento entre os segundos dentes externos e os dentes internos da outra engrenagem internamente dentada de uma maneira apropriada.

[0018] Em vista do ponto supracitado, um objetivo da presente invenção consiste em fornecer uma engrenagem com onda de tensão de tipo duplo que pode realizar facilmente uma baixa razão de velocidade, tem uma resistência à fadiga de fundo de dente aumentada da engrenagem internamente dentada flexível e tem uma grande capacidade de carga.

[0019] Além do objetivo supracitado, um outro objetivo da presente invenção consiste em fornecer uma engrenagem com onda de tensão de tipo duplo com grande capacidade de carga que é dotada de um gerador de onda que tem uma alta durabilidade e que sustenta a engrenagem externamente dentada com alta rigidez.

## MEIOS PARA SOLUCIONAR OS PROBLEMAS

[0020] A fim de solucionar os problemas descritos acima, uma engrenagem com onda de tensão de tipo duplo da presente invenção é caracterizada por incluir:

[0021] uma primeira engrenagem internamente dentada rígida na qual primeiros dentes internos são formados;

[0022] uma segunda engrenagem internamente dentada rígida na qual segundos dentes internos são formados, em que a segunda engrenagem internamente dentada é disposta com a finalidade de ser coaxialmente alinhada em paralelo com a primeira engrenagem internamente dentada;

[0023] uma engrenagem internamente dentada flexível na qual primeiros dentes externos com capacidade de entrelaçar com os primeiros dentes internos e os segundos dentes externos com capacidade de entrelaçar com os segundos dentes internos é formada em uma superfície periférica externa de um corpo cilíndrico radialmente flexível, em que os segundos dentes diferem em número dos primeiros dentes, e a engrenagem externamente dentada é disposta coaxialmente dentro da primeira e da segunda engrenagens internamente dentadas; e

[0024] um gerador de onda que faz com que a engrenagem externamente dentada se flexione em um formato de elipse, fazendo com que os primeiros dentes externos entrelacem parcialmente com os primeiros dentes internos e fazendo com que os segundos dentes externos entrelacem parcialmente com os segundos dentes internos;

[0025] em que um vão é formado entre uma superfície de extremidade interna de direção de traço de dente dos primeiros dentes externos e uma superfície de extremidade interna de direção de traço de dente dos segundos dentes externos, em que o vão tem uma largura prescrita ao longo de uma direção de traço de dente, e o vão tem uma parte mais profunda de direção de profundidade de dente em uma porção central de

direção de traço de dente;

[0026] O vão funciona como uma área de folga de cortador para cortadores de corte de dente usados para cortar os primeiros e segundos dentes externos;

[0027] uma relação

[0028]  $0,1L < L1 < 0,3L$

[0029] é satisfeita, em que  $L$  é uma largura a partir de uma extremidade externa de direção de traço de dente dos primeiros dentes externos para uma extremidade externa de direção de traço de dente dos segundos dentes externos, e  $L1$  é uma largura máxima de direção de traço de dente do vão; e

[0030] as relações

[0031]  $0,9h1 < t1 < 1,3h1$  e

[0032]  $0,9h2 < t2 < 1,3h2$

[0033] são satisfeitas, em que  $h1$  é uma profundidade de dente dos primeiros dentes externos,  $h2$  é uma profundidade de dente dos segundos dentes externos,  $t1$  é uma profundidade de direção de profundidade de dente a partir de uma área de contato de topo de dente dos primeiros dentes externos até a parte mais profunda, e  $t2$  é uma profundidade de direção de profundidade de dente a partir de uma área de contato de topo de dente dos segundos dentes externos até a parte mais profunda.

[0034] Na engrenagem com onda de tensão de tipo duplo, embora os primeiros dentes externos que entrelaçam com os primeiros dentes internos e os segundos dentes externos que entrelaçam com os segundos dentes internos sejam conectados em suas partes de aro de fundo de dente entre si, seus números e módulos de dente diferem uns dos outros e, portanto, seus perfis de dente diferem um do outro.

[0035] Uma razão de velocidade  $R1$  entre a primeira engrenagem internamente dentada e a engrenagem externamente dentada que tem primeiros dentes externos, uma razão de velocidade  $R2$  entre a

segunda engrenagem internamente dentada e a engrenagem externamente dentada que tem segundos dentes externos e uma razão de velocidade R da engrenagem com onda de tensão são respectivamente definidas da seguinte forma:

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

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

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

[0036] em que Zc1 é o número de dente dos primeiros dentes internos, Zc2 é o número de dente dos segundos dentes internos, Zf1 é o número de dente dos primeiros dentes externos, e Zf2 é o número de dente dos segundos dentes externos.

[0037] De acordo com a engrenagem com onda de tensão da presente invenção, é possível obter uma razão de velocidade menor que 50, por exemplo, uma razão de velocidade notavelmente menor que 30. Adicionalmente, diferentemente da técnica anterior, os primeiros dentes externos e os segundos dentes externos que diferem em número e módulo são formados como os dentes externos da engrenagem externamente dentada. Consequentemente, há um grau de liberdade maior no projeto para definir a razão de velocidade, e uma engrenagem com onda de tensão que tem uma razão de velocidade baixa pode ser realizada mais facilmente do que na técnica anterior.

[0038] Adicionalmente, na engrenagem externamente dentada da engrenagem com onda de tensão de tipo duplo da presente invenção, diferentes cortadores de dente são usados para cortar os primeiros e os segundos dentes externos. Por essa razão, o vão que funciona como uma área de folga de cortador é formado na porção central de direção de traço de dente da engrenagem externamente dentada, a saber, entre os primeiros e os segundos dentes externos.

[0039] A maneira na qual o vão é formado tem um efeito proeminente sobre o contato de dente dos primeiros dentes externos em

relação aos primeiros dentes internos ao longo da direção de traço de dente, bem como sobre a distribuição de carga de área de contato de dente. A maneira na qual o vão é formado tem de modo similar um efeito proeminente sobre o contato de dente dos segundos dentes externos em relação aos segundos dentes internos ao longo da direção de traço de dente, bem como sobre a distribuição de carga de área de contato de dente.

[0040] De acordo com a presente invenção, em vista desses pontos, a largura máxima L1 do vão é definida dentro de uma faixa de 0,1 a 0,3 vezes a largura L da engrenagem externamente dentada, e as profundidades máximas t1 e t2 são definidas dentro de uma faixa de 0,9 a 1,3 vezes as profundidades de dente h1, h2 dos primeiros e segundos dentes externos. Foi confirmado que a formação do vão dessa maneira torna possível manter a uniformidade nas distribuições de carga de área de contato de dente de direção de traço de dente dos primeiros e segundos dentes externos e para manter um estado satisfatório para o contato de dente dos primeiros e dos segundos dentes externos em relação aos primeiros e aos segundos dentes internos em cada posição de direção de traço de dente.

[0041] De acordo com a presente invenção, é possível realizar uma engrenagem com onda de tensão que tem uma razão de velocidade menor que 30, e realizar uma engrenagem com onda de tensão que tem uma alta resistência à fadiga de fundo de dente e uma alta capacidade de carga.

[0042] A seguir, o gerador de onda da engrenagem com onda de tensão de tipo duplo da presente invenção tem:

[0043] um primeiro mancal de onda que compreende um mancal esférico para sustentar os primeiros dentes externos, e um segundo mancal de onda que compreende um mancal esférico para sustentar os segundos dentes externos; e

[0044] centros de esfera de mancal do primeiro mancal de onda e do segundo mancal de onda estão localizados em posições que são equidistantes, ao longo da direção de traço de dente, a partir de um centro de

direção de traço de dente do vão; e

[0045] em que, onde uma distância de centro entre esferas Lo é uma distância entre os centros de esfera de mancal do primeiro e do segundo mancais de onda,

[0046] a distância entre esferas é definida com a finalidade de aumentar correspondentemente com um aumento em uma largura máxima L1 do vão, e satisfaz uma relação

$$[0047] 0,35L < Lo < 0,7L.$$

[0048] Na técnica anterior, um gerador de onda que tem duas fileiras de mancais esféricos é usado a fim de aumentar a área na qual a engrenagem externamente dentada é sustentada. As duas fileiras de mancais esféricos foram dispostas deslocadas em direção à porção central de direção de largura de dente da engrenagem externamente dentada, sem qualquer consideração para a distância de centro entre esferas.

[0049] Na presente invenção, a distância de centro entre esferas Lo entre duas fileiras de mancais de onda é aumentada de modo que seja possível aumentar a rigidez para sustentar os primeiros e os segundos dentes externos que diferem em número, e para aprimorar o contato de dente de cada um dos dentes externos em relação aos dentes internos em cada posição de direção de traço de dente. Especificamente, é adotada uma configuração na qual a distância de centro entre esferas Lo se estende (aumenta) em correspondência com um aumento no comprimento máximo de direção de traço de dente L1 do vão, que é formado entre os primeiros e os segundos dentes externos e funciona como uma área de folga de cortador. A faixa de aumento da distância de centro entre esferas Lo é definida como 0,35 a 0,7 vezes a largura L da engrenagem externamente dentada.

[0050] De acordo com a presente invenção, é possível dispor o primeiro e o segundo mancais de onda de modo que os centros da esfera sejam posicionados nas posições de direção de traço de dente adequadas em relação a cada um dos primeiros e segundos dentes externos de acordo

com a largura do vão que é formado. Isso torna possível sustentar confiavelmente os primeiros e os segundos dentes externos, com o uso dos primeiro e segundo mancais de onda, em cada posição de direção de traço de dente de cada um dos primeiros e segundos dentes externos (isto é, para aumentar a rigidez de sustentação do gerador de onda).

[0051] Como um resultado, é possível aprimorar o contato de dente dos primeiros e segundos dentes externos em cada posição de direção de traço de dente, e aumentar a resistência à fadiga de fundo de dente dos mesmos. Também é possível ponderar a distribuição de carga de esfera de mancal de cada um dos mancais de onda do gerador de onda, e reduzir a carga máxima; portanto, a vida útil do gerador de onda pode ser aprimorada.

[0052] Na engrenagem com onda de tensão de tipo duplo da presente invenção, em geral, o número Zf1 dos primeiros dentes externos difere de um número Zc1 dos primeiros dentes internos, e o número Zf2 de segundos dentes externos difere de um número Zc2 de segundos dentes internos. Por exemplo, o número Zf1 de primeiros dentes externos é menor que o número Zc1 de primeiros dentes internos, e o número Zc1 de primeiros dentes internos e o número Zc2 de segundos dentes internos são iguais entre si.

[0053] Além disso, o que gerador de onda é definido como um elemento de inserção de rotação; e uma dentre a primeira engrenagem internamente dentada e a segunda engrenagem internamente dentada é definida como uma engrenagem internamente dentada de lado estacionário presa com a finalidade de não girar, e a outra dentre a primeira engrenagem internamente dentada e a segunda engrenagem internamente dentada é uma engrenagem internamente dentada de lado de acionamento que é um elemento de emissão de rotação reduzida.

[0054] Adicionalmente, os primeiros e os segundos dentes externos da engrenagem externamente dentada são flexionados em um formato de elipse, um formato de três lóbulos ou outro formato não circular

pelo gerador de onda. Isso faz com que a engrenagem externamente dentada se entrelaça com a engrenagem internamente dentada rígidas em várias posições separadas entre si ao longo da direção circunferencial. Tipicamente, a engrenagem externamente dentada é flexionada em um formato de elipse e é entrelaçada com a engrenagem internamente dentada em duas posições separadas por 180 graus ao longo da direção circunferencial (isto é, em abas as posições de extremidade do eixo geométrico principal do formato de elipse). Nesse caso, as diferenças entre o número de dente Zf1 dos primeiros dentes externos e o número de dente Zf2 dos segundos dentes externos são definidas como  $2n$ , em que  $n$  é um número inteiro positivo.

### **BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS**

[0055] A Figura 1 é uma vista de superfície de extremidade e uma vista em corte transversal longitudinal de uma engrenagem com onda de tensão de tipo duplo à qual a presente invenção é aplicada;

[0056] A Figura 2 é um diagrama esquemático da engrenagem com onda de tensão de tipo duplo mostrada na Figura 1;

[0057] A Figura 3 é uma vista em corte transversal parcial ampliada da engrenagem com onda de tensão mostrada na Figura 1;

### **MODOS PARA EXECUTAR A INVENÇÃO**

[0058] Uma modalidade de uma engrenagem com onda de tensão de tipo duplo à qual a presente invenção é aplicada é descrita abaixo em referência aos desenhos anexos.

[0059] A Figura 1 é uma vista de superfície de extremidade e uma vista em corte transversal longitudinal que mostra uma engrenagem com onda de tensão de tipo duplo (chamada abaixo simplesmente de "engrenagem com onda de tensão") de acordo com uma modalidade da presente invenção, e a Figura 2 é um diagrama esquemático da mesma. A engrenagem com onda de tensão 1, que é usada como, por exemplo, um redutor de engrenagem, tem uma primeira engrenagem internamente dentada rígida anular 2, uma segunda engrenagem internamente dentada rígida anular

3, uma engrenagem internamente dentada flexível cilíndrica 4 que compreende um corpo elástico de parede fina radialmente flexível e um gerador de onda com contorno de elipse 5.

[0060] A primeira e a segunda engrenagens internamente dentadas 2, 3 são dispostas com a finalidade de serem coaxialmente alinhadas em paralelo entre si, com um vão previsto entre as mesmas, ao longo da direção de um eixo geométrico central 1a. No presente exemplo, a primeira engrenagem internamente dentada 2 é uma engrenagem internamente dentada de lado estacionário presa com a finalidade de girar, o número de primeiros dentes internos 2a da mesma é indicado por Zc1. A segunda engrenagem internamente dentada 3 é uma engrenagem internamente dentada de lado de acionamento sustentada de modo girável, o número de segundos dentes internos 3a da mesma é indicado por Zc2. A segunda engrenagem internamente dentada 3 é o elemento de emissão de rotação reduzida da engrenagem com onda de tensão 1.

[0061] A engrenagem externamente dentada cilíndrica 4 é disposta coaxialmente dentro da primeira e da segunda engrenagens internamente dentadas 2, 3. A engrenagem externamente dentada 4 tem um corpo cilíndrico 6 que é um corpo elástico de parede fina radialmente flexível, primeiros dentes externos 7 e segundos dentes externos 8 formados na superfície periférica externa circular do corpo cilíndrico 6, e um vão 9 (em referência à Figura 3) formado entre os dentes externos 7, 8 em cada lado, em que o vão 9 funciona como uma área de folga de cortador. Os primeiros dentes externos 7 são formados em um lado ao longo da direção do eixo geométrico central 1a da superfície periférica externa circular do corpo cilíndrico 6, e os segundos dentes externos 8 são formados no outro lado de segundo dentes internos 3a da superfície periférica externa circular. Os primeiros e os segundos dentes externos 7, 8 são formados de modo que a direção do eixo geométrico central 1a seja a direção de traço de dente.

[0062] Especificamente, os primeiros dentes externos 7 são

formados no lado oposto aos primeiros dentes internos 2a, e têm capacidade de entrelaçar com os primeiros dentes internos 2a, o número de primeiros dentes externos 7 é indicado por Zf1. Os segundos dentes externos 8 são formados no lado oposto aos segundos dentes internos 3a, e têm capacidade de entrelaçar com os segundos dentes internos 3a, o número de segundos dentes externos 8 é indicado por Zf2. Os números Zf1, Zf2 de dentes são diferentes uns dos outros. Adicionalmente, os primeiros dentes externos 7 e os segundos dentes externos 8 são separados uns dos outros na direção de traço de dente.

[0063] O gerador de onda 5 tem um plugue rígido com formato de elipse 11, e um primeiro mancal de onda 12 e segundo mancal de onda 13, em que o primeiro e o segundo mancais de onda são encaixados na superfície periférica externa em formato de elipse do plugue rígido 11. O primeiro e o segundo mancais de onda 12, 13 são formados a partir de mancais esféricos.

[0064] O gerador de onda 5 é inserido na superfície periférica interna do corpo cilíndrico 6 da engrenagem externamente dentada 4, e faz com que o corpo cilíndrico 6 se flexione em um formato de elipse. Portanto, os primeiros e os segundos dentes externos 7, 8 são também flexionados em um formato de elipse. A engrenagem externamente dentada flexionada em formato de elipse 4 entrelaça com a primeira e a segunda engrenagens internamente dentadas 2, 3 em ambas as posições de extremidade ao longo do eixo geométrico principal Lmax do formato de elipse. Especificamente, os primeiros dentes externos 7 se entrelaçam com os primeiros dentes internos 2a em ambas as posições de extremidade ao longo do eixo geométrico principal do formato de elipse, e os segundos dentes externos 8 se entrelaçam com os segundos dentes internos 3a em ambas as posições de extremidade ao longo do eixo geométrico principal.

[0065] O gerador de onda 5 é o elemento de inserção de rotação da engrenagem com onda de tensão 1. O plugue rígido 11 do gerador de

onda 5 tem um orifício de eixo 11c, no qual um eixo de rotação de entrada 10 (em referência à Figura 2) é conectado seguramente em uma disposição coaxial. Por exemplo, um eixo de saída de motor pode ser seguramente conectado em uma disposição coaxial no orifício de eixo 11c. Quando o gerador de onda 5 gira, as posições nas quais os primeiros dentes externos 7 da engrenagem externamente dentada 4 e os primeiros dentes internos de lado estacionário 2a se entrelaçam, e as posições nas quais os segundos dentes externos 8 da engrenagem externamente dentada 4 e os segundos dentes internos de lado de acionamento 3a se entrelaçam, se movem ao longo da direção circunferencial.

[0066] O número Zf1 de primeiros dentes externos 7 e o número Zf2 de segundos dentes externos 8 diferem um do outro; no presente exemplo, o número Zf2 de segundos dentes externos é maior. O número Zc1 de primeiros dentes internos 2a e o número Zf1 de primeiros dentes externos 7 também diferem um do outro; no presente exemplo, o número Zc1 de primeiros dentes internos 2a é maior. O número Zc2 de segundos dentes internos 3a e o número Zf2 de segundos dentes externos 8 diferem um do outro; no presente exemplo, o número Zc2 de segundos dentes internos 3a é menor.

[0067] No presente exemplo, a engrenagem externamente dentada 4 é provocada a flexionar em um formato de elipse, e entrelaça com as engrenagens internamente dentadas 2 e 3 em dois locais ao longo da direção circunferencial. Portanto, a diferença entre o número Zc1 de primeiros dentes internos 2a e o número Zf1 de primeiros dentes externos 7 é 2j, em que j é um número inteiro positivo. A diferença entre o número Zc2 de segundos dentes internos 3a e o número Zf2 de segundos dentes externos 8 é 2k, em que k é um número inteiro positivo.

$$[0068] Zc1 = Zf1 + 2j$$

$$[0069] Zc2 = Zf2 - 2k$$

[0070] Em um exemplo específico, o número de dentes é

definido da seguinte forma ( $j=k=1$ ):

$$[0071] Z_{c1}=62$$

$$[0072] Z_{f1}=60$$

$$[0073] Z_{c2}=62$$

$$[0074] Z_{f2}=64$$

[0075] A razão de velocidade  $R_1$  entre a primeira engrenagem internamente dentada 2 e os primeiros dentes externos 7, e a razão de velocidade  $R_2$  entre a segunda engrenagem internamente dentada 3 e os segundos dentes externos 8, são respectivamente definidas da seguinte forma:

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

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

[0076] Portanto,  $R_1=-30$  e  $R_2=32$ .

[0077] A razão de velocidade  $R$  da engrenagem com onda de tensão 1 é representada pela seguinte fórmula com o uso das razões de velocidade  $R_1$  e  $R_2$ . Dessa forma, de acordo com a presente invenção, uma engrenagem com onda de tensão que tem uma razão de velocidade dramaticamente baixa (razão de redução baixa) pode ser realizada (uma razão de velocidade negativa indica que a rotação de saída progride na direção oposta à da rotação de entrada).

$$\begin{aligned} R &= (R_1 \times R_2 - R_1) / (-R_1 + R_2) \\ &= (-30 \times 32 + 30) / (30 + 32) \\ &= -930 / 62 \\ &= -15 \end{aligned}$$

#### **(VÃO: ÁREA DE FOLGA DE CORTADOR)**

[0078] A Figura 3 é uma vista em corte transversal ampliada parcial da engrenagem com onda de tensão, que mostra a engrenagem externamente dentada 4 bem como o primeiro e o segundo mancais de onda 12 e 13 do gerador de onda 5. O vão 9 formado entre os primeiros e os segundos dentes externos 7 e 8 funciona como uma área de folga de cortador

para cortadores de corte de dente usados para cortar os primeiros e os segundos dentes externos 7 e 8.

[0079] Os primeiros e os segundos dentes externos 7 e 8 serão explicados primeiramente. Uma vez que os primeiros e os segundos dentes internos 2a e 3a têm substancialmente a mesma largura de dente, os primeiros dentes externos 7 e os segundos dentes externos 8 que têm a mesma largura de dente são formados em um estado simétrico em relação à posição de direção de traço de dente central 6a do corpo cilíndrico 6. Quando os primeiros e os segundos dentes internos diferem em largura de dente um do outro, os primeiros e os segundos dentes externos 7 e 8 diferirão correspondentemente em largura de dente.

[0080] O vão 9 tem uma largura prescrita ao longo da direção de traço de dente; a parte mais profunda, que é a parte do vão 9 que é formada mais profundamente ao longo da direção de profundidade de dente, é formada na porção central de direção de traço de dente. No presente exemplo, a parte mais profunda 9a é uma porção na qual a porção central de direção de traço de dente é definida por uma linha reta que se estende paralela à direção de traço de dente, conforme visualizado a partir da direção de espessura de dente. Nas duas extremidades de direção de traço de dente da parte mais profunda 9a, uma curva arqueada côncava que define a superfície de extremidade interna de direção de traço de dente 7a dos primeiros dentes externos 7 e uma curva arqueada côncava que define a superfície de extremidade interna de direção de traço de dente 8a dos segundos dentes externos 8 são suavemente conectadas. Também é possível adotar uma configuração na qual a parte mais profunda 9a é definida por uma superfície curva côncava e as duas superfícies de extremidade interna 7a, 8a são definidas por linhas retas inclinadas. É adicionalmente possível adotar uma configuração na qual a parte mais profunda 9a é definida por uma linha reta e as duas superfícies de extremidade interna 7a, 8a são definidas por linhas retas inclinadas.

[0081] A direção de traço de dente largura do vão 9 no presente exemplo aumenta gradualmente a partir da parte mais profunda 9a ao longo da direção de profundidade de dente. A largura máxima L1 na direção de traço de dente é a distância, ao longo da direção de traço de dente, a partir da extremidade interna de direção de traço de dente 7b do círculo adendo dos primeiros dentes externos 7 para a extremidade interna de direção de traço de dente 8b do círculo adendo dos segundos dentes externos 8.

[0082] A relação

[0083]  $0,1L < L1 < 0,3L$

[0084] é estabelecida, em que L é a largura a partir da extremidade externa de direção de traço de dente 7c dos primeiros dentes externos 7 para a extremidade externa de direção de traço de dente 8c dos segundos dentes externos 8, e L1 é a largura máxima de direção de traço de dente do vão 9.

[0085] A profundidade da parte mais profunda 9a do vão 9 é definida da seguinte forma. As relações

[0086]  $0,9h1 < t1 < 1,3h1$  e

[0087]  $0,9h2 < t2 < 1,3h2$

[0088] são estabelecidas, em que h1 é a profundidade de dente dos primeiros dentes externos 7, h2 é a profundidade de dente dos segundos dentes externos 8, t1 é a profundidade de direção de profundidade de dente da área de contato de topo 7d dos primeiros dentes externos 7 até a parte mais profunda 9a, e t2 é a profundidade de direção de profundidade de dente da área de contato de topo 8d dos segundos dentes externos 8 até a parte mais profunda 9a.

[0089] [Distância entre centros de esferas de mancal]

[0090] A distância entre os centros de esfera de mancal do primeiro e do segundo mancais de onda 12, 13 é descrita a seguir em referência à Figura 3.

[0091] No plugue rígido 11 do gerador de onda 5, uma primeira

superfície periférica externa com contorno de elipse 11a de largura fixa é formada em um lado da direção de eixo geométrico central, e uma segunda superfície periférica externa com contorno de elipse 11b de largura fixa é formada no outro lado da direção de eixo geométrico central. A primeira superfície periférica externa 11a e a segunda superfície periférica externa 11b são superfícies periféricas externas em formato de elipse que têm o mesmo formato e a mesma fase. As primeiras e as segundas superfícies periféricas externas 11a e 11b podem ter diferentes formatos de elipse de acordo com a diferença na quantidade de deflexão entre os primeiros e os segundos dentes externos 7 e 8.

[0092] O primeiro mancal de onda 12 é encaixado na primeira superfície periférica externa 11a em um estado que é flexionado em um formato de elipse, e o segundo mancal de onda 13 é encaixado na segunda superfície periférica externa 11b em um estado que é flexionado em um formato de elipse. O primeiro e o segundo mancais de onda 12, 13 são do mesmo tamanho.

[0093] Os centros de mancal 12a, 13a do primeiro mancal de onda 12 e do segundo mancal de onda 13 estão localizados em posições que são equidistantes, ao longo da direção de largura de dente, a partir da posição central de direção de traço de dente 6a na engrenagem externamente dentada 4. A distância entre centros de esferas de mancal é definida com a finalidade de aumentar correspondentemente com um aumento na largura máxima L1 do vão 9. Adicionalmente, a distância de centro entre esferas Lo é definida com a finalidade de alcançar um valor dentro da faixa indicado pela seguinte fórmula, Lo sendo a distância entre centros de esferas de mancal.

$$[0094] 0,35L < Lo < 0,7L$$

#### **[OUTRAS MODALIDADES]**

[0095] No exemplo descrito acima, a primeira engrenagem internamente dentada 2 é configurada como uma engrenagem internamente

dentada de lado estacionário, e a segunda engrenagem internamente dentada 3 é configurada como uma engrenagem internamente dentada de lado de acionamento. É possível, em vez disso, configurar a primeira engrenagem internamente dentada 2 como uma engrenagem internamente dentada de lado de acionamento, e configurar a segunda engrenagem internamente dentada 3 como uma engrenagem internamente dentada de lado estacionário.

[0096] Também é possível flexionar a engrenagem externamente dentada 4 em um formato não circular diferente de um formato de elipse, por exemplo, em um formato não circular tal como um formato de três lóbulos. Quando  $h$  representa o número de posições de entrelaçamento entre a engrenagem externamente dentada flexionada em um formato não circular e a engrenagem internamente dentada, a diferença no número de dentes entre as duas engrenagens pode ser definida como  $hp$ , em que  $h$  é um número inteiro positivo igual a ou maior do que 2, e  $p$  é um número inteiro positivo.

## **REIVINDICAÇÕES**

1. Engrenagem com onda de tensão (1), compreendendo:  
uma primeira engrenagem internamente dentada rígida (2)  
formada com primeiros dentes internos (2a);  
uma segunda engrenagem internamente dentada rígida (3)  
formada com segundos dentes internos (3a), em que a segunda engrenagem  
internamente dentada (3) é disposta com a finalidade de ser coaxialmente  
alinhada em paralelo com a primeira engrenagem internamente dentada (2);  
uma engrenagem externamente dentada flexível (4) na qual  
primeiros dentes externos (7) com capacidade de entrelaçar com os primeiros  
dentes internos (2a) e os segundos dentes externos (8) com capacidade de  
entrelaçar com os segundos dentes internos (3a) são formados em uma  
superfície periférica externa de um corpo cilíndrico radialmente flexível (6), em  
que os segundos dentes externos (8) diferem em número dos primeiros  
dentes externos (7), e a engrenagem externamente dentada (4) é disposta  
coaxialmente dentro da primeira e da segunda engrenagens internamente  
dentadas (2, 3); e  
um gerador de onda (5) para flexionar a engrenagem  
externamente dentada (4) em um formato de elipse para fazer com que os  
primeiros dentes externos (7) entrelacem parcialmente com os primeiros  
dentes internos (2a) e fazer com que os segundos dentes externos (8) se  
entrelacem parcialmente com os segundos dentes internos (3a),  
em que um vão (9) é formado entre uma superfície de  
extremidade interna de direção de traço de dente (7a) dos primeiros dentes  
externos (7) e uma superfície de extremidade interna de direção de traço de dente  
(8a) dos segundos dentes externos (8), em que o vão (9) tem uma  
largura prescrita ao longo de uma direção de traço de dente, e em que o vão  
(9) tem uma parte mais profunda (9a) ao longo de uma direção de  
profundidade de dente em uma porção central de direção de traço de dente;

**CARACTERIZADA** pelo fato de que

uma relação

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

é satisfeita, em que L é uma largura a partir de uma extremidade externa de direção de traço de dente (7c) dos primeiros dentes externos (7) para uma extremidade externa de direção de traço de dente (8c) dos segundos dentes externos (8), e L1 é uma largura máxima do vão (9) ao longo de uma direção de traço de dente; e

as relações

$0,9h1 < t1 < 1,3h1$  e

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

são satisfeitas, em que h1 é uma profundidade de dente dos primeiros dentes externos (7), h2 é uma profundidade de dente dos segundos dentes externos (8), t1 é uma profundidade de direção de profundidade de dente a partir de uma área de contato de topo de dente (7d) dos primeiros dentes externos (7) até a parte mais profunda, e t2 é uma profundidade de direção de profundidade de dente a partir de uma área de contato de topo de dente (8d) dos segundos dentes externos (8) até a parte mais profunda, e

em que o gerador de onda (5) tem um primeiro mancal de onda (12) que compreende um mancal esférico para sustentar os primeiros dentes externos (7), e um segundo mancal de onda (13) que compreende um mancal esférico para sustentar os segundos dentes externos (8);

em que os centros de esfera de mancal do primeiro mancal de onda (12) e do segundo mancal de onda (13) estão localizados em posições que são equidistantes, ao longo da direção de traço de dente, a partir de um centro de direção de traço de dente do vão (9); e

em que, onde uma distância de centro entre esferas Lo é uma distância entre os centros de esfera de mancal do primeiro e do segundo mancais de onda (12, 13),

a distância de centro entre esferas é definida com a finalidade de aumentar correspondentemente com um aumento na largura máxima L1

do vão, e satisfaz uma relação

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

2. Engrenagem com onda de tensão (1), de acordo com a reivindicação 1,

**CARACTERIZADA** pelo fato de que um número dos primeiros dentes externos (7) difere de um número dos primeiros dentes internos (2a), e um número de segundos dentes externos (8) difere de um número de segundos dentes internos (3a).

3. Engrenagem com onda de tensão (1), de acordo com a reivindicação 1,

**CARACTERIZADA** pelo fato de que um número de primeiros dentes externos (7) é menor do que um número de primeiros dentes internos (2a), e

um número de primeiros dentes internos (2a) e um número de segundos dentes internos (3a) são iguais entre si.

4. Engrenagem com onda de tensão (1), de acordo com a reivindicação 1

**CARACTERIZADA** pelo fato de que o gerador de onda (5) faz com que a engrenagem externamente dentada (4) se flexione em um formato de elipse de modo que os primeiros dentes externos (7) sejam provocados a se entrelaçar com os primeiros dentes internos (2a) em duas posições ao longo de uma direção circunferencial e os segundos dentes externos (8) sejam provocados a se entrelaçar com os segundos dentes internos (3a) em duas posições ao longo da direção circunferencial; e

uma diferença entre um número dos primeiros dentes externos (7) e um número dos segundos dentes externos (8) é  $2n$ , em que  $n$  é um número inteiro positivo.

FIG. 1(a)

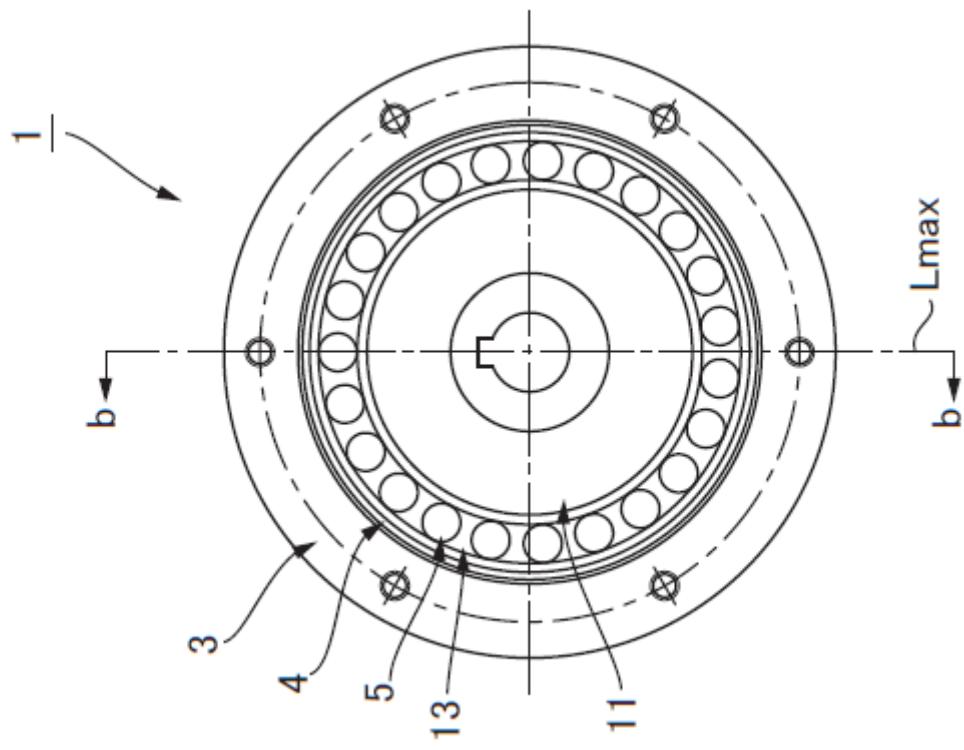


FIG. 1(b)

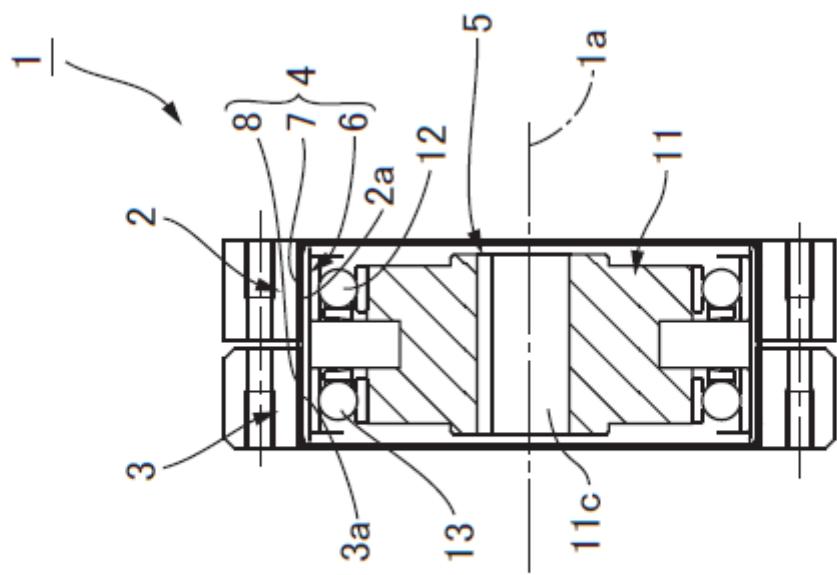


FIG. 2

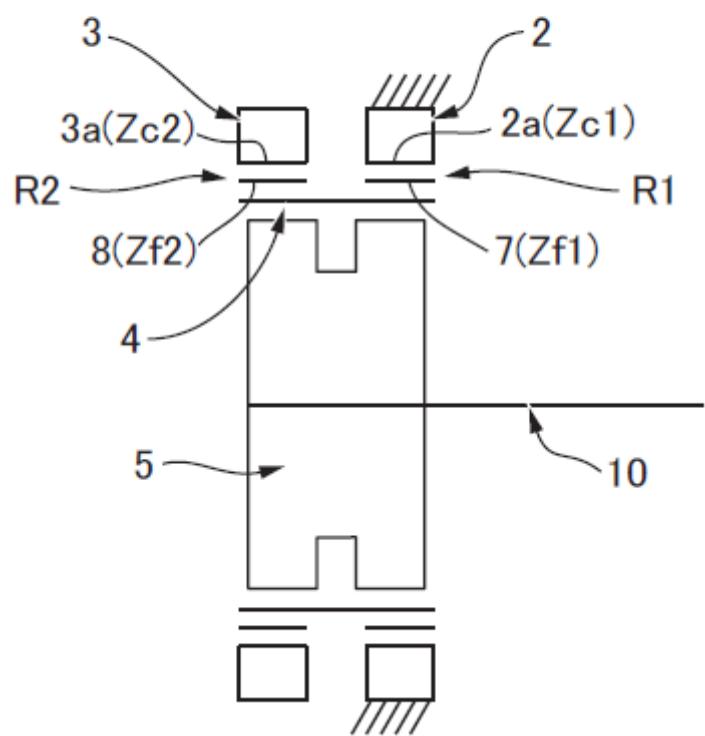


FIG. 3

