

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 704 451**

21 Número de solicitud: 201731124

51 Int. Cl.:

G06F 17/50 (2006.01)
B21K 1/28 (2006.01)
B21K 1/30 (2006.01)
B21H 5/00 (2006.01)
B22F 5/08 (2006.01)

12

SOLICITUD DE PATENTE

A1

22 Fecha de presentación:

18.09.2017

43 Fecha de publicación de la solicitud:

18.03.2019

71 Solicitantes:

UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID (100.0%)
Av. Gregorio Peces Barba, 1
28919 Leganés (Madrid) ES

72 Inventor/es:

KEY SÁNCHEZ, Raúl;
HALZAGUE SÁNCHEZ, Juan Augusto;
GARCÍA PRADA, Juan Carlos y
CASTEJÓN SISAMÓN, Cristina

54 Título: **Método de fabricación de rueda dentada para transmisión de potencia**

57 Resumen:

La invención describe un método para fabricar una rueda dentada que comprende: obtener datos geométricos y de contorno iniciales; calcular una topología optimizada (1a) para una relación rigidez/masa máxima manteniendo un factor de seguridad (γ) objetivo; calcular una topología optimizada fabricable (1b) mediante la aproximación de cada elemento irregular de la topología optimizada (1a) a segmentos lineales de geometría regular; calcular una topología optimizada fabricable crecida (1c) haciendo crecer los segmentos lineales para obtener elementos crecidos; determinar si el factor de seguridad (γ) de los elementos crecidos coincide esencialmente con el factor de seguridad objetivo (γ_{obj}) y, en caso negativo, modificar el índice de crecimiento y repetir los dos pasos anteriores iterativamente hasta obtener una topología optimizada fabricable final cuyos elementos crecidos tengan un factor de seguridad (γ) que coincide esencialmente con el factor de seguridad objetivo (γ_{obj}); y fabricar la rueda dentada según la topología optimizada fabricable crecida final.

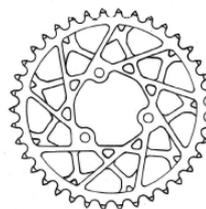


FIG.7

DESCRIPCIÓN

Método de fabricación de rueda dentada para transmisión de potencia

5 OBJETO DE LA INVENCION

La presente invención pertenece de manera general al campo de la mecánica, y más particularmente al diseño y fabricación de elementos de geometría cilíndrica para la transmisión de potencia.

10

El objeto de la presente invención es un nuevo método para fabricar una rueda dentada optimizada en función de las solicitaciones a las que va a estar sometida. Este método es particularmente útil para el diseño de la corona de motocicleta o bicicleta.

15 ANTECEDENTES DE LA INVENCION

Existen múltiples ocasiones en que se lleva a cabo transmisión de potencia mediante un elemento de geometría cilíndrica normalmente dotado de dientes. En estos casos, con el propósito de asegurar que es capaz de resistir las solicitaciones mecánicas a las que está sometida durante su funcionamiento, la rueda dentada en cuestión se diseña normalmente de manera que está sobredimensionada en cuanto a la cantidad de material utilizado para su fabricación. Evidentemente, esto implica un exceso de peso que puede resultar relevante en determinadas aplicaciones, así como un desperdicio de material. Además, el exceso de masa de la rueda dentada puede causar determinados efectos dinámicos en aplicaciones en las que la rueda dentada gira a gran velocidad.

20

25

A este respecto, puede hacerse referencia particular al diseño de una corona de motocicleta. La corona de una motocicleta es el elemento responsable, junto con el piñón y la cadena, de comunicar a las ruedas el movimiento giratorio generado en el motor. La corona de una motocicleta tiene una forma circular con unos dientes dispuestos en su periferia para el acoplamiento de la cadena. Gracias a esta configuración, la corona es movida por el motor y arrastra la cadena, la cual a su vez provoca el giro del piñón acoplado a la rueda trasera. La corona de una motocicleta debe estar diseñada para soportar las importantes solicitaciones mecánicas a las que está sometida durante su funcionamiento. Además, es recomendable que sea lo más ligera que sea posible, ya que así se minimiza el peso total de la motocicleta y se evitan determinados inconvenientes relacionados con el comportamiento dinámico de la

30

35

motocicleta.

5 Sin embargo, como se ha mencionado con anterioridad, actualmente el diseño de la corona de una motocicleta no se realiza teniendo en cuenta las solicitudes reales a las que va a estar sometida, sino que simplemente se utiliza un diseño convencional conocido basado en la experiencia. Es decir, no se optimiza su diseño para que tenga la resistencia necesaria con el mínimo peso posible, sino que se utilizan diseños estándar conocidos sin tener en cuenta para qué condiciones concretas están pensados tales diseños. Como consecuencia, las coronas actualmente utilizadas presentan una relación peso/resistencia sensiblemente más elevada de lo necesario.

10 En definitiva, de manera general existe en este campo de la técnica una necesidad de ruedas dentadas para transmisión de potencia mejor diseñadas, y en particular de coronas para motocicleta que proporcionen unas prestaciones mejores que las actuales.

15

DESCRIPCIÓN DE LA INVENCIÓN

La presente invención está dirigida a un método para fabricar una rueda dentada cuya topología está optimizada para que sea capaz de soportar las cargas máximas a las que estará sometida durante su uso con la mínima masa posible. Es decir, este método permite calcular la topología óptima de una rueda dentada de una manera individualizada en función de múltiples parámetros, tales como diámetro, peso, número de dientes, etc. Además de los cálculos estructurales necesarios para ello, este método comprende pasos adicionales especialmente diseñados para que la topología optimizada sea fácil de fabricar a través de medios convencionales, lo que implica también un importante ahorro de costes.

25

El resultado final de este método son unas ruedas dentadas sencillas de fabricar y cuyo peso está muy por debajo del peso habitual de las ruedas dentadas convencionalmente utilizadas en la actualidad.

30

Se definen a continuación varios términos que se utilizarán a lo largo de la presente descripción.

35

- Rueda dentada: Una rueda dentada es un elemento de geometría cilíndrica, esencialmente plano, y dotado de dientes destinado a la transmisión de potencia a través del engranaje de dichos dientes con una cremallera, cadena, rueda dentada

adicional, o similar. La rueda dentada comprende fundamentalmente un cuerpo circular y unos dientes que sobresalen radialmente de su periferia. El cuerpo circular presenta unos orificios dispuestos en su porción central que constituyen los puntos de anclaje de la rueda dentada.

5

- Corona: La corona de una motocicleta constituye un ejemplo particular de rueda dentada para transmisión de potencia. La corona es el elemento responsable, junto con el piñón y la cadena, de comunicar a las ruedas el movimiento giratorio generado en el motor.

10

- Ciclo: Porción de geometría plana repetitiva en que se divide la geometría circular plana de la rueda dentada.

15

- Índice de ciclicidad (η): Número de ciclos que componen la geometría plana de un círculo, específicamente la rueda dentada. Aunque no es condición necesaria, es recomendable que sea múltiplo del número de puntos de anclaje de la rueda dentada.

20

- Factor de seguridad (γ): relación entre la tensión equivalente en un elemento de la rueda dentada y el límite elástico del material que forma dicho elemento en cada diferencial de volumen.

25

- Índice de crecimiento (φ): relación entre el área plana de una región optimizada topológicamente a la que se pretende aproximar y el área plana de un elemento lineal correspondiente una vez crecido. Se calcula como:

$$\varphi = \frac{A_l}{A_t}$$

donde:

φ es el índice de crecimiento.

A_l el área plana del elemento lineal crecido [mm].

A_t el área plana de la región optimizada topológicamente a la que se pretende aproximar [mm].

30

- Iteración: número de repeticiones del proceso de diseño orientado a la fabricación para cada optimización topológica realizada.

5 - Optimización topológica: La optimización topológica es un proceso iterativo que determina la mejor configuración de un volumen limitado de material dentro de un dominio espacial dado para obtener las características mecánicas óptimas según un objetivo de diseño. El proceso de optimización redistribuye sistemáticamente el material por el dominio para maximizar o minimizar un objetivo particular. Bendsøe y Kikuchi en *“Generating optimal topologies in structural design using a homogenization method”*, Computer methods in applied mechanics and engineering 71(2): 197-224, 1988, introdujeron por primera vez esta técnica computacional para la distribución óptima del material en estructuras continuas. Adicionalmente, el documento de N. M. Patel, D. Tillotson, J. E. Renaud, A. Tovar, y K. Izui, *“Comparative Study of Topology Optimization Techniques,”* AIAA Journal, vol. 46, no. 8, pp. 1963–1975, 2008, proporciona un estudio comparativo de varias técnicas de optimización topológica.

15 Por otra parte, en este documento las referencias a la topología, la forma, la geometría, etc. de la rueda dentada se refieren en todo momento, a no ser que se indique de manera explícita o que el contexto aconseje lo contrario, a una topología, forma, geometría etc. en un plano bidimensional que contiene a la rueda dentada. Es decir, se supone en todo momento que el espesor de la rueda dentada es constante.

20 Un aspecto de la invención describe un método de fabricación de una rueda dentada para transmisión de potencia que comprende fundamentalmente los siguientes pasos:

1) Datos de partida

25 Se obtienen los datos de partida para el cálculo de la geometría de la rueda dentada. Estos datos de partida pueden dividirse en tres grupos:

1.a) Especificaciones geométricas y material de partida

30 Se determina el material, diámetro, número de dientes, y paso de los dientes de la rueda dentada que se va a fabricar, entre otros parámetros. Se trata de características fundamentalmente geométricas que se fijan al inicio del método y que no son optimizables. Además de las especificaciones descritas, es posible indicar cuál es el área de la rueda dentada que se desea optimizar. Esto permite dejar fuera del proceso de optimización determinadas zonas.

35

1.b) Condiciones de contorno

5 Se determina el número y posición de los anclajes de la rueda dentada, la fuerza máxima que debe soportar la rueda dentada, y el número de dientes que soporta dicha fuerza máxima en base a una distribución de carga. Se trata de características que están relacionadas tanto con la estructura del mecanismo en el que se va a montar la rueda dentada como con el uso que se vaya a dar a la misma.

10

1.c) Condiciones de contorno adicionales

Se determina un índice de ciclicidad y un factor de seguridad objetivo.

15

El índice de ciclicidad está relacionado con la resistencia estructural de la rueda dentada y con su fabricabilidad. Normalmente, se elige un índice de ciclicidad múltiplo del número de anclajes de la rueda dentada.

20

El factor de seguridad objetivo se define en función del uso del mecanismo donde se montará la rueda dentada.

Si bien en este documento la obtención de los datos de partida se describe en un primer paso del método de la invención, nótese que algunos de estos datos, así como otros datos utilizados a lo largo de este método, podrían obtenerse en diferentes momentos. Basta con que se obtengan en un momento anterior a aquel en el que es necesario utilizarlos para algún proceso particular.

25

2) Cálculo de una topología optimizada

30

En este paso se calcula una topología optimizada del cuerpo de la rueda dentada de modo que se cumple una función objetivo al mismo tiempo que se mantiene el factor de seguridad objetivo. Este cálculo se realiza sobre el cuerpo de la rueda dentada, es decir, la porción de material que excluye los dientes, una pequeña franja radial en la base de éstos, y además los puntos de anclaje.

35

La topología optimizada se calcula utilizando un algoritmo de optimización topológica

5 aplicado al cálculo de elementos finitos. Como se ha mencionado con anterioridad en este documento, se trata de un método de optimización conocido que consiste fundamentalmente en dividir la rueda dentada en un número finito de elementos formando una malla y aplicar a ésta las cargas y condiciones de contorno a las que va a estar sometida. Con esta información, se calculan las solicitaciones a las que se encuentra sometido cada elemento finito. Estas solicitaciones se contrastan con una función objetivo (preferentemente, obtener una rueda dentada con una relación rigidez/masa máxima o con una inercia mínima), y las restricciones del problema de optimización (asegurar un factor de seguridad determinado). Aquellos elementos finitos que no cumplen el criterio predefinido por el algoritmo de optimización topológica son eliminados de la geometría, y se repite el proceso. Este proceso se realiza de manera iterativa, eliminando elementos finitos sucesivamente hasta obtener una geometría óptima para las cargas y condiciones de contorno aplicadas.

15 En caso de que no exista solución, es decir, que no exista ninguna topología optimizada que cumpla con los requisitos impuestos, será necesario replantear las condiciones geométricas y/o las condiciones de contorno y repetir el cálculo de la topología optimizada. Por ejemplo, puede sustituirse un material por otro más resistente, modificar el número de dientes de la rueda dentada, modificar el mecanismo de transmisión para aumentar el número de dientes que soportan las cargas, modificar el mecanismo en el que se va a integrar la rueda dentada sustituyéndolo por otro donde la fuerza máxima que debe soportar sea menor, etc.

25 El resultado de esta etapa es una rueda dentada con una topología optimizada normalmente formada por elementos irregulares topológicamente optimizados para soportar las cargas de la rueda dentada pero normalmente curvos y muy alejados de formas geométricas regulares fáciles de fabricar.

30 3) Cálculo de una topología optimizada fabricable

Se calcula ahora una topología optimizada fabricable mediante la aproximación de cada elemento irregular de la topología optimizada calculada en el paso anterior a segmentos lineales de geometría regular.

35 En efecto, la topología optimizada formada por elementos irregulares normalmente curvos obtenida en el paso anterior suele ser de muy difícil fabricación. En este paso

del método se realiza una aproximación donde los elementos irregulares topológicamente optimizados se aproximan a segmentos lineales de geometría regular. Un segmento lineal de geometría regular se refiere a un elemento con una única dimensión y que responde a una geometría sencilla, como por ejemplo líneas rectas, tramos de línea circulares, u otros.

5

El resultado de esta etapa es una topología optimizada fabricable formada únicamente por líneas de geometría sencilla y regular.

10

4) Cálculo de una topología optimizada fabricable crecida

A continuación, se calcula una topología optimizada fabricable crecida haciendo crecer los segmentos lineales de geometría regular de la topología optimizada fabricable según un índice de crecimiento para obtener elementos crecidos de geometría regular.

15

Hacer crecer un determinado segmento lineal de geometría regular consiste en dotar dicho segmento de espesor en el plano de la rueda dentada. Para ello, se traslada cada punto del segmento perpendicularmente a la tangente del segmento una misma distancia a ambos lados del propio segmento, obteniéndose así un elemento bidimensional. Por ejemplo, si un determinado segmento lineal es una línea recta, el elemento crecido correspondiente se obtendrá trasladando la línea recta la misma distancia a cada lado de la propia recta, obteniéndose un elemento rectangular. Como resultado de este paso, se obtienen unos elementos crecidos de geometría regular mucho más fáciles de fabricar que los elementos de geometría irregular topológicamente optimizados a los que corresponden.

20

25

Preferentemente, en la primera iteración de este método el índice de crecimiento adopta un valor unidad. Ello implica que la superficie de un determinado elemento crecido de geometría regular en la primera iteración será la misma que la superficie del elemento de geometría irregular topológicamente optimizado correspondiente. Se trata de un punto de partida prometedor, ya que puede esperarse que el elemento crecido tenga una resistencia estructural parecida a la de un elemento topológicamente optimizado que tiene una forma similar y una superficie igual.

30

35

En caso de subsiguientes iteraciones, el índice de crecimiento podrá incrementarse o

decrementarse. Si se incrementa, el grosor del elemento crecido irá aumentando a medida que se llevan a cabo iteraciones. Si se decrementa, el grosor del elemento crecido irá disminuyendo a medida que se llevan a cabo iteraciones.

5 5) Comprobación de la topología optimizada fabricable crecida

En este paso se realiza un estudio estructural para determinar si el factor de seguridad de los elementos crecidos de geometría regular de la topología optimizada fabricable crecida coincide esencialmente con el factor de seguridad objetivo y, en caso negativo, se modifica el índice de crecimiento y se repiten iterativamente los dos pasos anteriores hasta obtener una topología optimizada fabricable crecida cuyos elementos crecidos tengan un factor de seguridad que coincide esencialmente con el factor de seguridad objetivo.

Es decir, si el factor de seguridad de la topología optimizada fabricable crecida que se ha obtenido no coincide esencialmente con el factor de seguridad objetivo, comienza un proceso iterativo de cálculo de una topología optimizada fabricable crecida final a partir de la topología optimizada obtenida en el paso 4) donde, en cada iteración, se va modificando el índice de crecimiento. Preferentemente, si el factor de seguridad de la topología optimizada fabricable crecida que se ha obtenido en el paso anterior es menor que el factor de seguridad objetivo, ello significa que la resistencia de dicha topología optimizada fabricable crecida obtenida es insuficiente, y por tanto se aumenta el valor del índice de crecimiento. Como consecuencia, los elementos crecidos en la iteración subsiguiente tendrán una mayor superficie, lo que implica también una mayor resistencia, y por tanto también un incremento del factor de seguridad. Por el contrario, preferentemente si el factor de seguridad de la topología optimizada fabricable crecida que se ha obtenido en el paso anterior es mayor que el factor de seguridad objetivo, ello significa que aún hay margen para reducir la cantidad de material utilizado, y por tanto se disminuye el valor del índice de crecimiento. Como consecuencia, en la siguiente iteración disminuye la superficie de los elementos crecidos, disminuyendo la resistencia y también el factor de seguridad.

Por tanto, el proceso iterativo abarca los pasos 3, 4, y 5 hasta que se alcanza una topología optimizada fabricable crecida final. En caso de que después de un número máximo de iteraciones el proceso no converja a una solución, se puede modificar el

criterio de aproximación a segmentos lineales de geometría regular del paso 3, o bien comenzar el proceso de nuevo modificando alguna de las condiciones geométricas o condiciones de contorno.

5 6) Fabricación

En este último paso, se fabrica la rueda dentada según la topología optimizada fabricable crecida final. La fabricación puede realizarse utilizando el mismo tipo de medios utilizados convencionalmente para la fabricación de ruedas dentadas.

10

BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

La Fig. 1 muestra un diagrama de flujo del método según la invención aplicado a la fabricación de una corona de motocicleta.

15

Las Fig. 2a-2b muestran respectivamente una corona en bruto y una corona optimizada topológicamente.

20

Las Figs. 3a-3c muestran diferentes pasos del proceso de obtención de una corona optimizada topológicamente fabricable formada por segmentos lineales de geometría regular a partir de la corona optimizada topológicamente.

25

Las Figs. 4a-4c muestran diferentes pasos del proceso de obtención de una corona optimizada topológicamente fabricable crecida formada por elementos de geometría regular crecidos a partir de la corona optimizada topológicamente fabricable.

30

Las Figs. 5a-5d muestran esquemáticamente el paso de un elemento optimizado topológicamente de forma irregular a un elemento de geometría regular crecido equivalente al mismo.

35

La Fig. 6 muestra una comparación de la corona optimizada topológicamente fabricable crecida final y la corona optimizada topológicamente.

Las Figs. 7-9 muestran diferentes ejemplos de coronas obtenidas por medio del método de la presente invención.

REALIZACIÓN PREFERENTE DE LA INVENCION

Se describe a continuación un ejemplo del método de la presente invención aplicado a la fabricación de una corona para una motocicleta de competición.

5

La Fig. 1 muestra un diagrama de flujo del método de acuerdo con la presente invención donde se describen los pasos principales que lo conforman.

En un momento inicial, es necesario determinar los datos de partida para la realización del método. Estos datos incluyen el diámetro de la corona, número de dientes y el paso de los
10 dientes, así como el material del que se va a fabricar la corona y que es determinante en cuanto a la resistencia de la misma. También se determinan las condiciones de contorno que se aplican al problema a resolver, como la fuerza que debe ser capaz de soportar la corona y el número de dientes que van a soportar dicha fuerza. Estos datos dependen de la
15 forma de montaje de la corona y la cadena en la motocicleta. Se introduce también el número de puntos de anclaje y el índice de ciclicidad (η).

Adicionalmente, se determinan los criterios de finalización del proceso de optimización topológica. Estos criterios comprenden fundamentalmente una función objetivo consistente
20 en maximizar la relación rigidez/masa con la restricción de que el factor de seguridad (γ) de cada elemento de la topología final sea similar a un factor de seguridad objetivo (γ_{obj}).

Una vez están disponibles todos estos datos, comienza el proceso de optimización topológica de la corona. Como se ha comentado con anterioridad en este documento, la
25 optimización se realiza sobre una denominada "corona ciega" o "cuerpo" (1a) de la corona, que incluye la porción circular central de la corona excluyendo los dientes. La Fig. 2a muestra esquemáticamente un cuerpo (1a) de una corona de la que parte este ejemplo de método de la invención. Si tiene solución, el proceso de optimización topológica da como resultado una corona con una topología optimizada (1b). Esta corona con topología
30 optimizada (1b) suele estar formada por elementos de tipo "orgánico" (generalmente denominados "polynurbs" en inglés) que son irregulares, curvos y normalmente de muy difícil fabricación por técnicas convencionales. La Fig. 2b muestra esquemáticamente un ejemplo de corona con topología optimizada (1b) obtenido a partir de la corona ciega (1a). Si el proceso de optimización topológica no tiene solución, será necesario replantear los datos
35 de partida del método y volver a realizar el proceso.

Una vez calculada la corona con topología optimizada (1b), se convierte cada elemento irregular de la corona con topología optimizada (1b) en un segmento lineal de geometría regular. En este ejemplo concreto, la topología optimizada (1b) está formada por cuatro elementos: tres elementos periféricos esencialmente radiales y un elemento central esencialmente circular. En este paso, cada uno de los tres elementos periféricos radiales se aproxima a un segmento lineal de geometría regular consistente en una recta de dirección radial sustancialmente paralela a la directriz del eje de cada uno de tales elementos periféricos. Similarmente, el elemento circular se aproxima a un segmento lineal de geometría regular consistente en una circunferencia con un diámetro similar al del eje de dicho elemento circular. Este paso se ha representado en la Fig. 3b. La Fig. 3c muestra el resultado final donde la topología optimizada (1b) de la corona formada por elementos irregulares se ha aproximado a una topología optimizada fabricable (1c) formada por segmentos lineales de geometría regular.

A continuación, se hace crecer cada uno de los elementos lineales de geometría regular de la topología optimizada fabricable (1c). Como se puede apreciar en la Fig. 4b, para cada una de las tres rectas radiales ello implica trasladar cada punto de dicha recta una misma distancia a ambos lados y en perpendicular a la propia recta. Por tanto, para cada una de las tres rectas radiales se genera una respectiva superficie rectangular. Similarmente, se traslada cada punto de la circunferencia central una misma distancia a ambos lados y perpendicularmente a la tangente de la circunferencia en dicho punto. La distancia de desplazamiento en ambos casos se calcula a partir del índice de crecimiento (φ). Más concretamente, como se ha comentado con anterioridad en este documento, en la primera iteración del método el índice de crecimiento (φ) adopta un valor unidad. Por tanto, en esta primera iteración la distancia de desplazamiento es tal que la superficie del elemento crecido es igual a la superficie del elemento irregular topológicamente optimizado del que proviene.

Para mayor claridad, las Figs. 5a-5d ilustran esquemáticamente el paso de un elemento irregular topológicamente optimizado a un elemento de geometría regular crecido. La Fig. 5a muestra un ejemplo de elemento irregular topológicamente optimizado similar a los que componen una topología optimizada (1b). En primer lugar, como se muestra en la Fig. 5b, se aproxima este elemento a un segmento lineal de geometría regular, en este caso una línea recta centrada aproximadamente según el eje principal del elemento irregular. A continuación, como se muestra en la Fig. 5c, se hace crecer la línea recta según un determinado índice de crecimiento (φ). En caso de un índice de crecimiento (φ) unidad, el resultado es un rectángulo que tiene una superficie igual a la superficie del elemento

irregular del que se partió, como se muestra en la Fig. 5c. En caso de un índice de crecimiento (φ) inferior a la unidad, el resultado es un rectángulo que tiene una superficie inferior a la superficie del elemento irregular del que se partió, como se muestra en la Fig. 5d. En caso de un índice de crecimiento (φ) superior a la unidad, el resultado es un rectángulo que tiene una superficie superior a la superficie del elemento irregular del que se partió, como se muestra en la Fig. 5e.

En último lugar se comprueba que el factor de seguridad (γ) de la topología optimizada fabricable crecida (1d) obtenida efectivamente es similar al factor de seguridad objetivo (γ_{obj}). En caso de que sea así, se toma dicha topología optimizada fabricable crecida (1d) como topología optimizada fabricable crecida final (1e). La Fig. 6 muestra la topología optimizada fabricable crecida final (1e) obtenida superpuesta sobre la topología optimizada (1b) de la que partió el método iterativo.

Por el contrario, si el factor de seguridad (γ) de la topología optimizada fabricable crecida (1d) es sensiblemente menor que el factor de seguridad objetivo (γ_{obj}), ello significa que la resistencia de la topología optimizada fabricable crecida (1d) es menor que la requerida. Para resolverlo, se incrementa el índice de crecimiento (φ) y se realiza al menos una iteración más de los pasos de: aproximación de la topología optimizada a elementos lineales; crecimiento de los elementos lineales; y comprobación del factor de seguridad. El aumento del índice de crecimiento (φ) provoca que la superficie de cada elemento de geometría regular crecido pase a ser mayor que la superficie del elemento irregular del que se partió, como se mostró en la Fig. 5e. Aumenta así la resistencia de la topología optimizada fabricable crecida (1d), y por tanto también el factor de seguridad (γ).

Alternativamente, si el factor de seguridad (γ) de la topología optimizada fabricable crecida (1d) es sensiblemente mayor que el factor de seguridad objetivo (γ_{obj}), ello significa que la resistencia de la topología optimizada fabricable crecida (1d) es sensiblemente mayor que la requerida, y por tanto que aún existe margen para eliminar masa de la corona. Para resolverlo, se disminuye el índice de crecimiento (φ) y se realiza al menos una iteración más de los pasos de: aproximación de la topología optimizada a elementos lineales; crecimiento de los elementos lineales; y comprobación del factor de seguridad. La disminución del índice de crecimiento (φ) provoca que la superficie de cada elemento de geometría regular crecido pase a ser menor que la superficie del elemento irregular del que se partió, como se mostró en la Fig. 5d. Se reduce así la masa de la topología optimizada fabricable crecida (1d), y por tanto también el factor de seguridad (γ).

Una vez determinada la topología optimizada fabricable crecida final (1e), se procede a la fabricación de la corona a través de medios y procesos convencionales.

- 5 Por último, las Figs. 7-9 muestran tres ejemplos de topología optimizada fabricable crecida final (1e). La Fig. 7 muestra una corona de 38 dientes, la Fig. 8 muestra una corona de 34 dientes, y la Fig. 9 muestra una corona de 30 dientes. Todas ellas tienen 3 orificios de anclaje y un índice de ciclicidad (η) de 9. Como se puede apreciar, a pesar de las similitudes, las diferencias en el número de dientes provocan importantes cambios en la
- 10 geometría final de la corona.

REIVINDICACIONES

1. Método de fabricación de una rueda dentada para transmisión de potencia, donde la rueda dentada comprende un cuerpo circular y unos dientes que sobresalen radialmente en su periferia, caracterizado por que comprende los siguientes pasos:
- 5
- obtener el material, diámetro, número de dientes, y paso de los dientes de la rueda dentada que se va a fabricar; el número y posición de anclajes de dicha rueda dentada, la fuerza máxima que debe soportar la rueda dentada, y el número de dientes que soporta dicha fuerza máxima en base a la distribución de cargas; y un índice de ciclicidad (η) y un factor de seguridad objetivo (γ_{obj});
 - 10 - calcular una topología optimizada (1b) del cuerpo de la rueda dentada de modo que se cumple una función objetivo al mismo tiempo que se mantiene el factor de seguridad objetivo (γ_{obj});
 - calcular una topología optimizada fabricable (1c) mediante la aproximación de cada elemento irregular de la topología optimizada (1b) calculada en el paso anterior a segmentos lineales de geometría regular;
 - 15 - calcular una topología optimizada fabricable crecida (1d) haciendo crecer los segmentos lineales de geometría regular de la topología optimizada fabricable (1c) según un índice de crecimiento (φ) para obtener elementos de geometría regular crecidos;
 - 20 - determinar si el factor de seguridad (γ) de los elementos de geometría regular crecidos de la topología optimizada fabricable crecida (1d) coincide esencialmente con el factor de seguridad objetivo (γ_{obj}) y, en caso negativo, modificar el índice de crecimiento (φ) y repetir los dos pasos anteriores iterativamente hasta obtener una topología optimizada fabricable final (1e) cuyos elementos crecidos tengan un factor de seguridad (γ) que coincide esencialmente con el factor de seguridad objetivo (γ_{obj}); y
 - 25 - fabricar la rueda dentada según la topología optimizada fabricable crecida final (1e).
2. Método de acuerdo con la reivindicación 1, donde el paso de modificar el índice de crecimiento (φ) comprende aumentar el índice de crecimiento (φ) si el factor de seguridad (γ) de la topología optimizada fabricable crecida (1d) que se ha obtenido en el paso anterior es menor que el factor de seguridad objetivo (γ_{obj}), y disminuir el valor del índice de crecimiento (φ) si el factor de seguridad (γ) de la topología optimizada fabricable crecida (1d) que se ha obtenido en el paso anterior es mayor que el factor de seguridad objetivo (γ_{obj}).
- 30
- 35

3. Método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde el índice de crecimiento (φ) inicial en la primera iteración adopta un valor unidad.
- 5 4. Método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde la función objetivo es obtener una rueda dentada con una relación rigidez/masa máxima o con una inercia mínima.
5. Método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde la rueda
10 dentada es una corona de motocicleta.

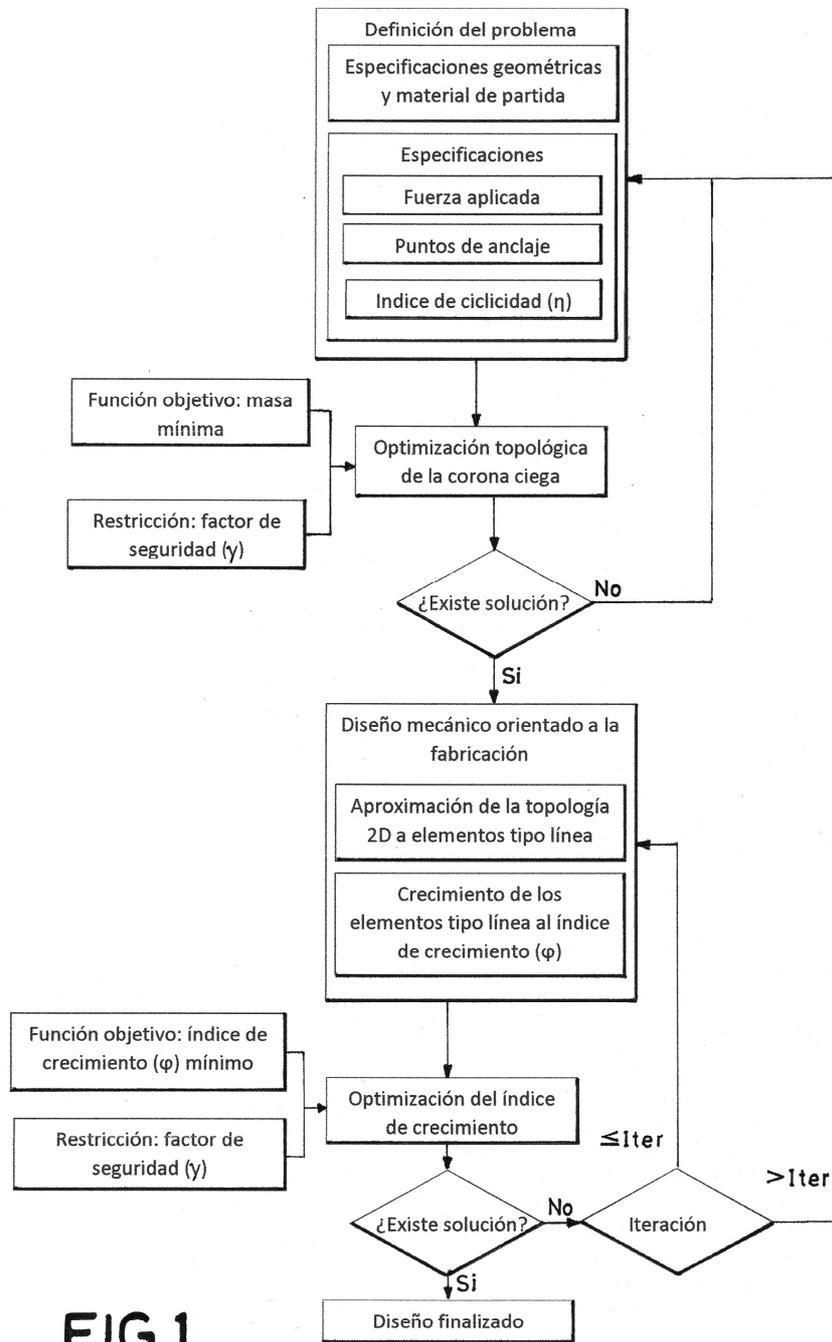


FIG.1

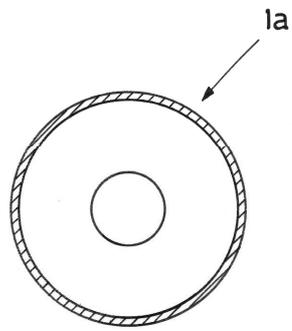


FIG. 2a

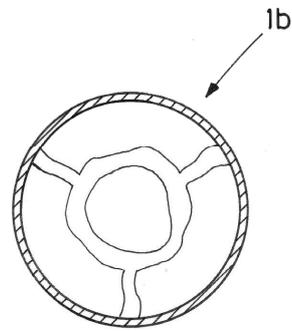


FIG. 2b

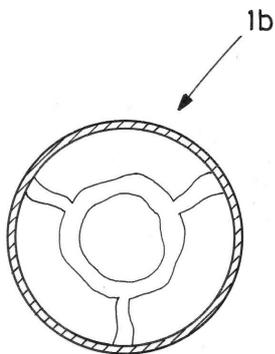


FIG. 3a

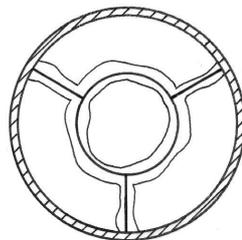


FIG. 3b

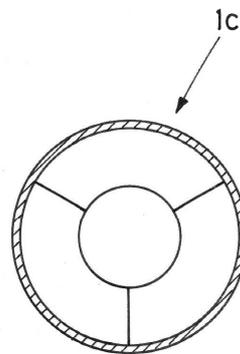


FIG. 3c

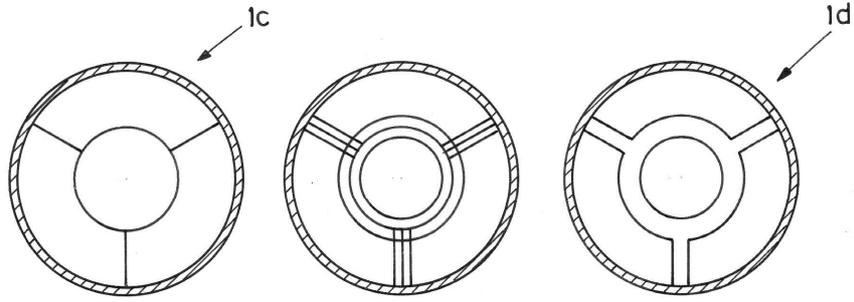


FIG. 4a

FIG. 4b

FIG. 4c

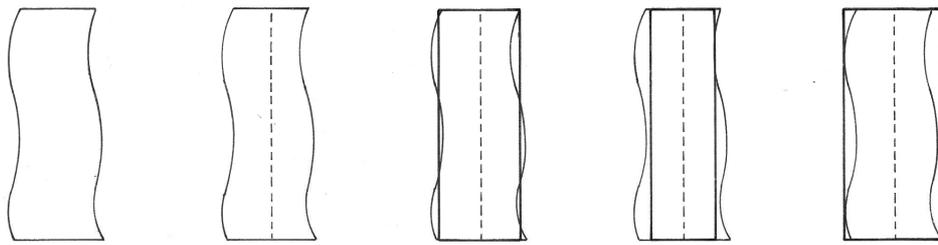


FIG. 5a

FIG. 5b

FIG. 5c

FIG. 5d

FIG. 5e

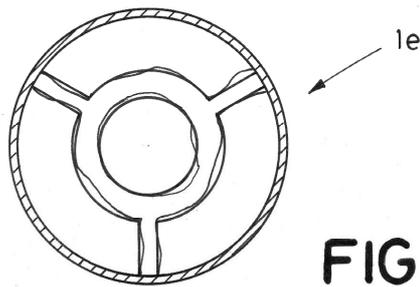


FIG. 6

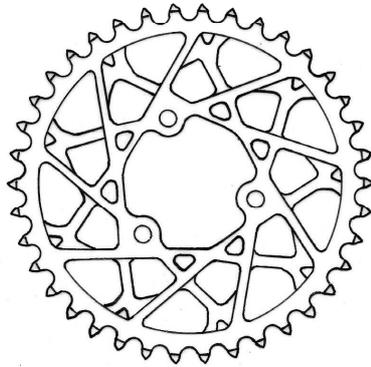


FIG. 7

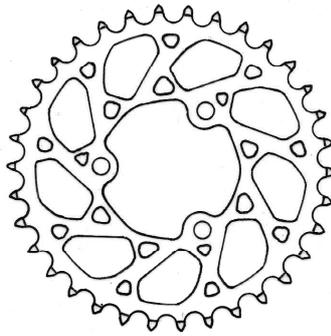


FIG. 8

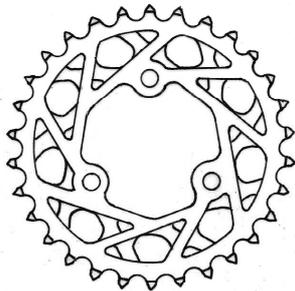


FIG. 9



- ②① N.º solicitud: 201731124
②② Fecha de presentación de la solicitud: 18.09.2017
③② Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TECNICA

⑤① Int. Cl.: Ver Hoja Adicional

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	⑤⑥ Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
X	JEAN-CHRISTOPHE CUILLIÈRE et al. Towards the Integration of Topology Optimization into the CAD Process. COMPUTER-AIDED DESIGN AND APPLICATIONS, 20140304 C A D Solutions, US. , 04/03/2014, Vol. 11, N° 2, Páginas 120 - 140, ISSN 1686-4360, <DOI: doi:10.1080/16864360.2014.846067>. <p>(Todo el documento)</p>	1 - 5
X	DIRK ROOS et al. Structural Optimization of Solid Components with Topology Optimizing Structural Language. Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, 20011019; 20011017 - 20011019 North-Holland, AMSTERDAM, NL. Hughes Thomas J R; Oden J Tinsley; Papadrakakis Manolis, 19/10/2001, Páginas 1 - 11, ISSN 0045-7825. (Todo el documento)	1 - 5
X	DE 102009012812 A1 (DAIMLER AG) 29/10/2009, (Párrafos [0003]; [0005]; [0007] – [0008]; [0015] – [0017]; Reivindicaciones 7 – 11; Figuras)	1
X	US 2015239178 A1 (ARMSTRONG NATHAN) 27/08/2015, (Párrafo [0040])	1

Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia

Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría

A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita

P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud

E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

El presente informe ha sido realizado

para todas las reivindicaciones

para las reivindicaciones nº:

Fecha de realización del informe
11.10.2018

Examinador
J. Hernández Torrego

Página
1/2

CLASIFICACIÓN OBJETO DE LA SOLICITUD

G06F17/50 (2006.01)

B21K1/28 (2006.01)

B21K1/30 (2006.01)

B21H5/00 (2006.01)

B22F5/08 (2006.01)

Documentación mínima buscada (sistema de clasificación seguido de los símbolos de clasificación)

G06F, B21K, B21H, B22F

Bases de datos electrónicas consultadas durante la búsqueda (nombre de la base de datos y, si es posible, términos de búsqueda utilizados)

INVENES, EPODOC, WPI, XPIAP