(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 982 807**

(51) Int. Cl.:

F16C 33/10 (2006.01)
F16C 17/02 (2006.01)
C10M 101/00 (2006.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.07.2022 E 22184326 (1)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **19.06.2024 EP 4130500**

(54) Título: **Dispositivo de rodamiento y método para accionar el dispositivo de rodamiento**

(30) Prioridad:

02.08.2021 JP 2021127008
03.02.2022 JP 2022015976

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
17.10.2024

(73) Titular/es:

KABUSHIKI KAISHA KOBE SEIKO SHO (KOBE STEEL, LTD.) (100.0%)
2-4, Wakinohama-Kaigandori 2-chome, Chuo-ku, Kobe-shi
Hyogo 651-8585, JP

(72) Inventor/es:

TAKAGAWA, YUSAKU;
OKITA, KEISUKE y
MATSUDA, MARIKO

(74) Agente/Representante:

UNGRÍA LÓPEZ, Javier

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Dispositivo de rodamiento y método para accionar el dispositivo de rodamiento

Antecedentes de la invención

Campo de la invención

La presente invención se refiere a un dispositivo de rodamiento y a un método para accionar un dispositivo de rodamiento.

Descripción de la técnica relacionada

Un dispositivo de rodamiento para un barco incluye: por ejemplo, un miembro de eje tal como un eje del cigüeñal, un eje intermedio, un eje de propulsión, o similares; y un miembro de rodamiento tal como un rodamiento deslizante o similar que soporta de forma deslizable el miembro de eje. Además, se suministra aceite lubricante a un hueco entre el miembro de eje y el miembro de rodamiento. El aceite lubricante forma una película de aceite entre el miembro de eje y el miembro de rodamiento para reducir la resistencia a la fricción entre estos miembros.

En un caso en el que la formación de la película de aceite es suficiente, un factor principal de la resistencia a la fricción es una viscosidad de la película de aceite, y así tiende a mantenerse una baja resistencia a la fricción. Por otra parte, en un caso en el que la formación de la película de aceite sea insuficiente, no solo la viscosidad de la película de aceite, sino también un contacto sólido entre el miembro de eje y el miembro de rodamiento, puede llegar a ser un factor de la resistencia a la fricción, y así es probable que aumente la resistencia a la fricción. Además, en el caso en el que la formación de la película de aceite sea insuficiente, es probable que se produzca un agarrotamiento entre el miembro de eje y el miembro de rodamiento.

Como una técnica para reducir la resistencia a la fricción y el agarrotamiento de un miembro deslizante, por ejemplo, el Documento de patente 1 desvela la formación de una película de carbono amorfo que contiene nitrógeno sobre una cara deslizante. Además, el Documento de patente 2 desvela un miembro deslizante combinado que tiene características superficiales que permiten una reducción en la fricción de un motor de combustión interna.

Documentos del estado de la técnica

Documentos de patente

Documento de patente 1: Solicitud de patente japonesa no examinada, Publicación n.º 2017-025396

Documento de patente 2: Solicitud de patente japonesa no examinada, Publicación n.º 2004-116707

Sumario de la invención

Sin embargo, si se forma la película desvelada en el Documento de patente 1, por ejemplo sobre una superficie de un miembro de rodamiento para un barco en un entorno de alta carga, las impurezas debidas al daño de la película se pueden mezclar en el aceite lubricante. Además, si la película se forma sobre una superficie de un miembro de rodamiento para un barco grande, puede aumentar la inversión de capital y el coste. Mientras tanto, la técnica desvelada en el Documento de patente 2 se basa en el miembro deslizante que se acopla en movimiento recíproco. Por tanto, si se aplica la técnica anterior a un dispositivo de rodamiento que se basa en la rotación del miembro de eje, puede existir la posibilidad de que no pueda inhibirse la resistencia a la fricción y el agarrotamiento entre el miembro de eje y el miembro de rodamiento.

La presente invención se hizo en vista de las circunstancias anteriores, y es un objeto de la presente invención proporcionar un dispositivo de rodamiento que permita la inhibición de la resistencia a la fricción y el agarrotamiento entre un miembro de eje y un miembro de rodamiento mientras se suprimen la mezcla de impurezas y un aumento en el coste.

El problema se resuelve con un dispositivo de rodamiento según la reivindicación 1 y un método de accionamiento de un dispositivo de rodamiento según la reivindicación 4.

Efectos de la invención

El dispositivo de rodamiento según un aspecto de la presente invención permite la inhibición de la resistencia a la fricción y el agarrotamiento entre el miembro de eje y el miembro de rodamiento mientras se suprimen la mezcla de impurezas y un aumento en el coste.

Breve descripción de los dibujos

La FIG. 1 es una vista en sección transversal esquemática que ilustra una sección perpendicular a un eje central de un miembro de eje en un dispositivo de rodamiento según una realización de la presente invención.

La FIG. 2 es un diagrama de flujo que ilustra un método para accionar un dispositivo de rodamiento según otra realización de la presente invención.

La FIG. 3 es un gráfico que muestra una relación entre un número de grano de papel de lija con el que se pulió un miembro de eje, y una rugosidad media aritmética del miembro de eje.

La FIG. 4 es un gráfico que muestra una relación entre el número de grano del papel de lija con el que se pulió el miembro de eje, y una altura de picos salientes del miembro de eje.

La FIG. 5 es un gráfico que muestra una relación entre una relación de dureza entre el miembro de eje y el miembro de rodamiento, y una relación entre rugosidades medias aritméticas antes y después de una prueba de deslizamiento de cada uno del miembro de eje y el miembro de rodamiento.

La FIG. 6 es un gráfico que muestra una relación entre la relación de dureza del miembro de eje y el miembro de rodamiento, y una relación entre las alturas de picos salientes antes y después de la prueba de deslizamiento de cada uno del miembro de eje y el miembro de rodamiento.

La FIG. 7 es un gráfico que muestra una relación entre un número característico del rodamiento y un coeficiente de fricción de n.º 29, n.º 30, n.º 34 y n.º 35.

La FIG. 8 es un gráfico que muestra una relación entre un número característico del rodamiento y un coeficiente de fricción de n.º 31, n.º 32, n.º 33, n.º 36, n.º 37 y n.º 38.

La FIG. 9 es un gráfico que muestra una relación entre un número característico del rodamiento y un coeficiente de fricción de n.º 85 a n.º 91.

Descripción de las realizaciones preferidas

Descripción de realizaciones de la presente invención

En primer lugar, se enumeran y describen las realizaciones de la presente invención.

Un dispositivo de rodamiento según un aspecto de la presente invención incluye: un miembro de eje que tiene un diámetro de eje mayor o igual que 180 mm; un miembro de rodamiento que soporta de forma deslizable una cara periférica externa del miembro de eje, en donde el miembro de eje es un eje del cigüeñal, un eje intermedio o un eje de propulsión para un barco, y un aceite lubricante que se suministra a un hueco entre la cara periférica externa del miembro de eje y una cara periférica interna del miembro de rodamiento y forma una película de aceite en el hueco, en donde una rugosidad media aritmética Ra_1 de la cara periférica externa del miembro de eje es mayor o igual que 0,05 µm e menor o igual que 0,30 µm, y una altura de picos salientes Rpk_1 de la cara periférica externa es mayor o igual que 0,04 µm e menor o igual que 0,34 µm.

En el dispositivo de rodamiento, se optimizan la rugosidad media aritmética Ra_1 y la altura de picos salientes Rpk_1 de la cara periférica externa del miembro de eje, por lo que se mantiene fácilmente un área de deslizamiento entre el miembro de eje y el miembro de rodamiento en un estado de lubricación fluida. Por lo tanto, el dispositivo de rodamiento permite la inhibición de la resistencia a la fricción y el agarrotamiento entre el miembro de eje y el miembro de rodamiento mientras se suprime la mezcla de impurezas en el área de deslizamiento y un aumento en el coste.

En un caso en el que una dureza del miembro de eje se indica por H_1 [HV] y una dureza del miembro de rodamiento se indica por H_2 [HV], H_1/H_2 es preferentemente mayor o igual que 4,1. De este modo, ajustando H_1/H_2 para que sea mayor o igual que el límite inferior, tiende a reducirse una rugosidad superficial del miembro de rodamiento. Por consiguiente, la resistencia a la fricción y el agarrotamiento entre el miembro de eje y el miembro de rodamiento puede inhibirse aún más.

En un caso en el que una rugosidad media aritmética de la cara periférica interna del miembro de rodamiento se indica por Ra_2 [µm] y una altura de picos salientes de la cara periférica interna del miembro de rodamiento se indica por Rpk_2 [µm], se prefiere que Ra_2/Ra_1 sea mayor o igual que 0,26 y menor o igual que 38,0 y que Rpk_2/Rpk_1 sea mayor o igual que 0,32 y menor o igual que 69,0. Controlando así Ra_2/Ra_1 y Rpk_2/Rpk_1 para que entren dentro de los intervalos anteriores, la resistencia a la fricción y el agarrotamiento entre el miembro de eje y el miembro de rodamiento se inhiben más fácilmente.

Un espesor de película de aceite h [µm] calculado según la siguiente fórmula 1 es preferentemente mayor o igual que un espesor de película de aceite límite h_{lim} [µm] calculado según la siguiente fórmula 2.

$$h = 1{,}95R\left(\frac{\alpha\eta u}{R}\right)^{0{,}73}\left(\frac{w}{ER}\right)^{-0{,}09} \quad \cdots 1$$

$$h_{lím} = \Lambda_{lím}\sqrt{Ra_1{}^2 + Ra_2{}^2} \quad \cdots 2$$

Por lo tanto, el espesor de película de aceite h que es mayor o igual que el espesor de película de aceite límite h_{lim} facilita el mantenimiento del área de deslizamiento en el estado de lubricación fluida.

Una viscosidad η del aceite lubricante es preferentemente mayor o igual que una viscosidad límite η_{lim} [Pa·s] del aceite lubricante, calculada según la siguiente fórmula 3.

$$\eta_{lím} = \frac{R}{\alpha u}\left(\frac{\Lambda_{lím}\sqrt{Ra_1{}^2+Ra_2{}^2}}{1{,}95R}\right)^{\frac{1}{0{,}73}}\left(\frac{w}{ER}\right)^{\frac{0{,}09}{0{,}73}} \quad \cdots 3$$

Por lo tanto, la viscosidad η del aceite lubricante que es mayor o igual que la viscosidad límite η_{lim} del aceite lubricante facilita aún más el mantenimiento del área de deslizamiento en el estado de lubricación fluida.

Una velocidad periférica u del miembro de eje es preferentemente mayor o igual que una velocidad periférica límite u_{lim} [m/s] del miembro de eje, calculada según la siguiente fórmula 4.

$$u_{lim} = \frac{R}{\eta\alpha}\left(\frac{w}{ER}\right)^{\frac{0{,}09}{0{,}73}}\left(\frac{\Lambda_{lím}\sqrt{Ra_1{}^2+Ra_2{}^2}}{1{,}95R}\right)^{\frac{1}{0{,}73}} \quad \cdots 4$$

Por lo tanto, la velocidad periférica u del miembro de eje que es mayor o igual que la velocidad periférica límite u_{lim} facilita aún más el mantenimiento del área de deslizamiento en el estado de lubricación fluida.

Un radio equivalente R del miembro de eje y el miembro de rodamiento es preferentemente mayor o igual que un radio equivalente límite R_{lim} [m] del miembro de eje y el miembro de rodamiento, calculado según la siguiente fórmula 5.

$$R_{lím} = \left(\frac{1}{\eta\alpha u}\right)^{\frac{0{,}73}{0{,}36}}\left(\frac{w}{E}\right)^{\frac{0{,}09}{0{,}36}}\left(\frac{\Lambda_{lím}\sqrt{Ra_1{}^2+Ra_2{}^2}}{1{,}95}\right)^{\frac{1}{0{,}36}} \quad \cdots 5$$

Por lo tanto, el radio equivalente R que es mayor o igual que el radio equivalente límite R_{lim} facilita aún más el mantenimiento del área de deslizamiento en el estado de lubricación fluida.

La viscosidad η del aceite lubricante cumple preferentemente la siguiente fórmula 6.

$$0{,}08 \times \eta_{lím} \leq \eta < 5{,}20 \times \eta_{lim} \quad 6$$

Por lo tanto, la viscosidad η que cumple la fórmula anterior 6 facilita el mantenimiento del área de deslizamiento en el estado de lubricación fluida mientras se optimiza la viscosidad del aceite lubricante.

Otro aspecto de la presente invención es un método para accionar un dispositivo de rodamiento que incluye: un miembro de eje que tiene un diámetro de eje mayor o igual que 180 mm; un miembro de rodamiento que soporta de forma deslizable una cara periférica externa del miembro de eje, en donde el miembro de eje es un eje del cigüeñal, un eje intermedio o un eje de propulsión para un barco, y un aceite lubricante que se suministra a un hueco entre la cara periférica externa del miembro de eje y una cara periférica interna del miembro de rodamiento y forma una película de aceite en el hueco, incluyendo el método: una etapa de accionamiento de accionar usando el dispositivo de

rodamiento para girar el miembro de eje, en donde una rugosidad media aritmética Ra_1 de la cara periférica externa del miembro de eje es mayor o igual que 0,05 µm y menor o igual que 0,30 µm, y una altura de picos salientes Rpk_1 de la cara periférica externa es mayor o igual que 0,04 µm y menor o igual que 0,34 µm.

Según el método para accionar un dispositivo de rodamiento, usando el dispositivo de rodamiento, el área de deslizamiento entre el miembro de eje y el miembro de rodamiento se mantiene fácilmente en el estado de lubricación fluida en la etapa de accionamiento. Por lo tanto, el método para accionar un dispositivo de rodamiento permite la inhibición de la resistencia a la fricción y el agarrotamiento entre el miembro de eje y el miembro de rodamiento mientras se suprime la mezcla de impurezas en el área de deslizamiento y un aumento en el coste.

Se debe observar que en la presente invención, el "diámetro de eje" significa un diámetro de la cara periférica externa del miembro de eje, la "rugosidad media aritmética" significa un valor medido según JIS-B0601 (2013), la "altura de picos salientes" significa un valor medido según JIS-B0671-2 (2002), la "dureza" significa una dureza de Vickers medida según JIS-Z2244 (2009), el "estado de lubricación fluida" significa un estado de lubricación fluida que se ordena usando una curva de Stribeck, el "espesor de película de aceite límite" significa un espesor de película de aceite mínimo al que la película de aceite puede mantener el estado de lubricación fluida, la "viscosidad límite" significa una viscosidad mínima del aceite lubricante a la que la película de aceite puede mantener el estado de lubricación fluida, la "velocidad periférica del miembro de eje" significa una velocidad periférica a la que la cara periférica externa del miembro de eje, y la "velocidad periférica límite" significa una velocidad periférica mínima del miembro de eje a la que la película de aceite puede mantener el estado de lubricación fluida.

En la presente invención, el "radio equivalente" significa un valor [m] calculado según la siguiente fórmula 7 en un caso en el que un radio de la cara periférica externa del miembro de eje se indique por R_1 [m] y un radio de la cara periférica interna del miembro de rodamiento se indica por R_2 [m] (con respecto al radio R_1 y el radio R_2, véase la FIG. 1). Además, el "radio equivalente límite", como se denomina en el presente documento, significa un radio equivalente mínimo al que la película de aceite puede mantener el estado de lubricación fluida.

$$R = \frac{R_2 R_1}{R_2 - R_1} \quad \cdots 7$$

En la presente invención, la viscosidad η del aceite lubricante significa un valor calculado según la siguiente fórmula 8 en un caso en el que una densidad del aceite lubricante se indica por ρ [g/cm^3], una viscosidad cinemática del aceite lubricante a una temperatura de aceite lubricante T [K] a presión atmosférica se indica por $\mu(T)$ [mm^2/s] y una presión aplicada al aceite lubricante se indica por P [GPa].

$$\eta = \rho\mu(T)\exp(\alpha P) \times 10^{-3} \quad 8$$

En la fórmula anterior 8, la viscosidad cinemática $\mu(T)$ se calcula según la siguiente fórmula 9 usando un número característico de viscosidad-temperatura m.

$$\mu(T) = 10^{10^{(-m\log T + b)}} - 0{,}7 \quad \cdots 9$$

En la fórmula anterior 9, el número característico de viscosidad-temperatura m se calcula según la siguiente fórmula 10 mostrada en "Method of Estimating Kinematic Viscosity and Mixture Ratio" de JIS-K2283 (2000), usando una viscosidad cinemática conocida μ_1 del aceite lubricante a una temperatura T_1 [K] y una viscosidad cinemática conocida μ_2 del aceite lubricante a una temperatura T_2 [K] ($T_1 < T_2$).

$$m = \{\log\log(\mu_1 + 0{,}7) - \log\log(\mu_2 + 0{,}7)\} / (\log T_2 - \log T_1) \quad 10$$

En la fórmula anterior 9, b se calcula según la siguiente fórmula 11 usando una viscosidad cinemática conocida μ_3 del aceite lubricante a una temperatura T3 [K].

$$b = \log\log(\mu_3 + 0{,}7) + m\log T_3 \quad 11$$

En la presente invención, un coeficiente viscosidad-presión α significa un valor [1/GPa] calculado según la siguiente fórmula empírica 12 usando el número característico de viscosidad-temperatura m y la viscosidad cinemática $\mu(T)$.

$$\alpha = m\{0{,}1657 + 0{,}2332\log\mu(T)\} \times 10 \quad 12$$

En la presente invención, un "módulo elástico longitudinal equivalente" significa un valor [GPa] calculado según la

siguiente fórmula 13 en un caso en el que una relación de Poisson del miembro de eje se indica por ν_1, un módulo elástico longitudinal del miembro de eje se indica por E_1 [GPa], una relación de Poisson del miembro de rodamiento se indica por ν_2 y un módulo elástico longitudinal del miembro de rodamiento se indica por E_2 [GPa].

$$E = \frac{2}{\frac{(1-\nu_1^2)}{E_1} + \frac{(1-\nu_2^2)}{E_2}} \quad \cdots 13$$

En la presente invención, un "parámetro de la película de aceite" significa un valor de Λ calculado según la siguiente fórmula 14 en un caso en el que el espesor de película de aceite se indica por h [μm].

$$\Lambda = \frac{h}{\sqrt{Ra_1^2 + Ra_2^2}} \quad \cdots 14$$

Detalles de realizaciones de la presente invención

En lo sucesivo, las realizaciones de la presente invención se describen con detalle con referencia a los dibujos.

Dispositivo de rodamiento

El dispositivo de rodamiento en la FIG. 1 incluye: un miembro de eje 1; un miembro de rodamiento 2 que soporta de forma deslizable una cara periférica externa 11 del miembro de eje 1; y un aceite lubricante 3 que se suministra a un hueco entre la cara periférica externa 11 del miembro de eje 1 y una cara periférica interna 21 del miembro de rodamiento 2 y forma una película de aceite 31 en el hueco.

Miembro de eje

El miembro de eje 1 es un cuerpo giratorio que gira en una dirección circunferencial con respecto al miembro de rodamiento 2. El miembro de eje 1 se ejemplifica por un eje del cigüeñal, un eje intermedio, un eje de propulsión y similares para un barco, cada uno de los cuales va a estar dispuesto en un barco. Los ejemplos de un material del miembro de eje 1 incluyen acero al carbono, acero de baja aleación, una aleación de aluminio y similares. Un eje central P del miembro de eje 1 se extiende en una dirección horizontal (una dirección Y en la FIG. 1).

Se prefiere que una capa de recubrimiento, tal como una película lubricante o similares, no se forme sobre la cara periférica externa 11 del miembro de eje 1. Al no proporcionarse de esta forma la capa de recubrimiento sobre la cara periférica externa 11, se puede inhibir la mezcla de impurezas en un área de deslizamiento entre el miembro de eje 1 y el miembro de rodamiento 2 y un aumento en el coste.

Un diámetro de eje del miembro de eje 1 es mayor o igual que 180 mm. El límite inferior del diámetro de eje del miembro de eje 1 puede ser 280 mm, y puede ser 360 mm. Cuando la capa de recubrimiento se proporciona sobre la cara periférica externa 11 del miembro de eje 1 y/o similares en un caso en el que el diámetro de eje del miembro de eje 1 sea mayor o igual que el valor límite inferior, existe una alta posibilidad de que la capa de recubrimiento se pueda dañar, generándose así impurezas. Por otro lado, el dispositivo de rodamiento no requiere que la capa de recubrimiento se proporcione sobre la cara periférica externa 11; por lo tanto, se puede inhibir la mezcla de impurezas en el área de deslizamiento.

El límite superior del diámetro de eje del miembro de eje 1 no está particularmente limitado y es, por ejemplo, preferentemente 1.500 mm y más preferentemente 1.300 mm. Cuando el diámetro de eje del miembro de eje 1 es mayor que el valor límite superior, el dispositivo de rodamiento puede llegar a ser demasiado grande, que puede ser contrario a una exigencia de, por ejemplo, una reducción en el tamaño del dispositivo.

Sobre la cara periférica externa 11 del miembro de eje 1, puede estar presente una pluralidad de ápices de proyección de rugosidad, en donde los ápices de proyección de rugosidad se calculan por el siguiente procedimiento. En primer lugar, basándose en una curva de rugosidad con una longitud medida de 4,0 mm, siendo medida la curva de rugosidad a un valor de corte de 0,25 mm según JIS-B0601 (2013), una línea promedio de la curva de rugosidad se establece según JIS-B0601(2013). Con la línea promedio como referencia, las alturas de los puntos de medición por encima de la línea promedio se definen como valores positivos, mientras que las alturas de los puntos de medición por debajo de la línea promedio se definen como valores negativos. Un valor promedio de las alturas de todos los puntos medición que tienen valores positivos se indica por Thr0. A continuación, de los puntos de medición en la curva de rugosidad, un punto de medición que es más alto que los puntos de medición adyacentes al mismo en ambos lados y tiene una

altura superior a -Thr0 se define como un ápice temporal. De los puntos de medición entre ápices temporales adyacentes entre sí, un punto de medición que tiene una altura más pequeña (que tiene una mayor profundidad desde los ápices temporales adyacentes entre sí) se define como un valle. Entonces, para todos los ápices temporales, se determinan respectivamente las diferencias de altura entre un ápice temporal y cada uno de los valles adyacentes al ápice temporal en ambos lados, y se excluyen los ápices en los que el valor más grande de estas diferencias de altura es inferior a 0,2 × Thr0. Como resultado, los restantes ápices temporales se determinan como ápices de proyección de rugosidad.

En un caso en el que los ápices de proyección de rugosidad están presentes en la cara periférica externa 11 del miembro de eje 1, el límite inferior de un radio de curvatura β de las proyecciones de rugosidad en la cara periférica externa 11 puede ser 55 µm, y puede ser 58 µm. En el miembro de eje 1 que tiene un mayor diámetro de eje mayor o igual que el valor límite inferior, es probable que la exactitud dimensional debida al procesamiento mecánico sea insuficiente; por lo tanto, puede desearse el pulido manual de la cara periférica externa 11. Cuando la cara periférica externa 11 se pule manualmente, es probable que aumente el radio de curvatura B de las proyecciones de rugosidad. Cuando el radio de curvatura β de las proyecciones de rugosidad es grande, es probable que ocurra el agarrotamiento en el área de deslizamiento entre el miembro de eje 1 y el miembro de rodamiento 2. Incluso con dicha configuración, el dispositivo de rodamiento permite la fácil inhibición del agarrotamiento en el área de deslizamiento.

Se debe observar que el "radio de curvatura de proyecciones de rugosidad" como se denomina en el presente documento significa un valor calculado por el siguiente procedimiento. En primer lugar, se dibujan líneas rectas hacia el ápice de proyección de rugosidad desde todos los puntos de medición entre el ápice de proyección de rugosidad y los valles adyacentes al ápice de proyección de rugosidad en ambos lados, y el punto de medición para el que la pendiente de la línea recta es el mayor se define como un extremo de la proyección de rugosidad. El radio de curvatura de cada proyección de rugosidad se determina por -0,5/a, en donde a indica un coeficiente cuadrático de un función cuadrática obtenida por aproximación de una curva de rugosidad entre ambos extremos de cada proyección de rugosidad por el método de mínimos cuadrados. Una mediana de los radios de curvatura de todas las proyecciones de rugosidad en la curva de rugosidad se determina como el radio de curvatura de las proyecciones de rugosidad.

Los rugosidad media aritmética Ra_1 de la cara periférica externa 11 del miembro de eje 1 es mayor o igual que 0,05 µm y menor o igual que 0,30 µm, y la altura de picos salientes Rpk_1 de la cara periférica externa 11 es mayor o igual que 0,04 µm y menor o igual que 0,34 µm. Como se ha descrito anteriormente, cuando la cara periférica externa 11 se pule manualmente, es probable que el miembro de eje 1 tenga un gran radio de curvatura β de proyecciones de rugosidad. En este momento, puliendo con papel de lija que tiene un número de grano suficientemente grande, la rugosidad media aritmética Ra_1 y la altura de picos salientes Rpk_1 se pueden reducir para entrar dentro de los intervalos anteriores. Por ejemplo, puliendo con papel de lija que tiene rugosidad de un número de grano mayor o igual que 200, la rugosidad media aritmética Ra_1 y la altura de picos salientes Rpk_1 se pueden reducir para entrar dentro de los intervalos anteriores. El número de grano del papel de lija puede ser mayor o igual que 500, y puede ser mayor o igual que 600. Se debe observar que la rugosidad media aritmética Ra_1 de la cara periférica externa 11 del miembro de eje 1 y la altura de picos salientes Rpk1 de la cara periférica externa 11 pueden ser valores antes del deslizamiento entre el miembro de eje 1 y el miembro de rodamiento 2.

El límite superior de la rugosidad media aritmética Ra_1 de la cara periférica externa 11 es preferentemente 0,16 µm, más preferentemente 0,12 µm, y todavía más preferentemente 0,08 µm. Cuando la rugosidad media aritmética Ra_1 de la cara periférica externa 11 es mayor que el límite superior, puede ser difícil inhibir la resistencia a la fricción y el agarrotamiento entre el miembro de eje 1 y el miembro de rodamiento 2.

El límite superior de la altura de picos salientes Rpk_1 de la cara periférica externa 11 es preferentemente 0,22 µm, más preferentemente 0,18 µm, y todavía más preferentemente 0,14 µm. Cuando la altura de picos salientes Rpk_1 de la cara periférica externa 11 es mayor que el límite superior, puede ser difícil inhibir la resistencia a la fricción y el agarrotamiento entre el miembro de eje 1 y el miembro de rodamiento 2.

Miembro de rodamiento

El miembro de rodamiento 2 se ejemplifica por un rodamiento de cigüeñal, un rodamiento intermedio, un rodamiento de propulsión y similares para un barco, cada uno de los cuales va a estar dispuesto en un barco. Los ejemplos de un material del miembro de rodamiento 2 incluyen metal blanco, kelmet, una aleación de aluminio y similares.

La cara periférica interna 21 del miembro de rodamiento 2 rodea la cara periférica externa 11 del miembro de eje 1 a lo largo de la dirección circunferencial. Un eje central de la cara periférica interna 21 se extiende en la dirección horizontal (la dirección Y en la FIG. 1). El aceite lubricante 3 se suministra al hueco entre la cara periférica externa 11 y la cara periférica interna 21, y la película de aceite 31 se forma a partir del aceite lubricante 3. El miembro de rodamiento 2 soporta de forma deslizable el miembro de eje 1 debido a que al estar dispuesto así la cara periférica interna 21 se orienta hacia la cara periférica externa 11 con la película de aceite 31 intercalada entremedias.

La cara periférica interna 21 se somete a una carga desde la cara periférica externa 11 a través de la película de aceite 31. Por lo tanto, la cara periférica interna 21 tiene una región que se somete a la carga (distribución de carga). La

distribución de carga se extiende en la dirección del eje central de la cara periférica interna 21 y se forma en una forma de arco en una sección perpendicular al eje central de la cara periférica interna 21. Además, un intervalo de la distribución de carga puede fluctuar debido a la rotación y vibración del miembro de eje 1.

Se prefiere que no se forme una capa de recubrimiento, tal como una película lubricante o similares, sobre la cara periférica interna 21 del miembro de rodamiento 2. Al no proporcionarse así la capa de recubrimiento sobre la cara periférica interna 21, se puede inhibir la mezcla de impurezas en el área de deslizamiento entre el miembro de eje 1 y el miembro de rodamiento 2 y un aumento en el coste.

La dureza H_1 [HV] del miembro de eje 1 es preferentemente superior a la dureza H_2 [HV] del miembro de rodamiento 2. En general, puesto que la dureza H_2 del miembro de rodamiento 2 es baja, es difícil de controlar intencionalmente la rugosidad superficial de la cara periférica interna 21 por procesamiento mecánico y/o similares. Incluso en dicho caso, al establecer la dureza H_1 del miembro de eje 1 para que sea superior a la dureza H_2 del miembro de rodamiento 2, la cara periférica interna 21 del miembro de rodamiento 2 puede pulirse debido al deslizamiento con el miembro de eje 1. Como resultado, se reduce la rugosidad superficial de la cara periférica interna 21 del miembro de rodamiento 2, y así se inhiben fácilmente la resistencia a la fricción y el agarrotamiento entre la cara periférica externa 11 y la cara periférica interna 21. El límite inferior de una relación (H_1/H_2) entre la dureza H_1 del miembro de eje 1 y la dureza H_2 del miembro de rodamiento 2 es preferentemente 4,1, más preferentemente 5,0, todavía más preferentemente 6,0, y particularmente preferentemente 8,0. Cuando la relación anterior es inferior al límite inferior, puede ser difícil reducir la rugosidad superficial de la cara periférica interna 21 por rotación del miembro de eje 1. En cambio, el límite superior de la relación anterior no está particularmente limitado y puede ser, por ejemplo, 20 en vista de la facilidad de selección de los materiales del miembro de eje 1 y el miembro de rodamiento 2, y similares.

El límite inferior de una relación (Ra_2/Ra_1) entre la rugosidad media aritmética Ra_2 [μm] de la cara periférica interna 21 del miembro de rodamiento 2 y la rugosidad media aritmética Ra_1 [μm] de la cara periférica externa 11 del miembro de eje 1 no está particularmente limitado y puede ser, por ejemplo, 0,26. Mientras tanto, el límite superior de la relación anterior es preferentemente 38,0, más preferentemente 37,1, todavía más preferentemente 22,6, e incluso más preferentemente 20,4. Cuando la relación anterior es mayor que el límite superior, puede ser difícil inhibir la resistencia a la fricción y el agarrotamiento entre la cara periférica externa 11 y la cara periférica interna 21. Se debe observar que la relación anterior puede ser una relación antes del deslizamiento entre el miembro de eje 1 y el miembro de rodamiento 2.

El límite inferior de una relación (Rpk_2/Rpk_1) entre la altura de picos salientes Rpk_2 [μm] de la cara periférica interna 21 del miembro de rodamiento 2 y la altura de picos salientes Rpk_1 [μm] de la cara periférica externa 11 del miembro de eje 1 no está particularmente limitado y puede ser, por ejemplo, 0,32. Mientras tanto, el límite superior de la relación anterior es preferentemente 69,0, más preferentemente 68,3, todavía más preferentemente 57,3, e incluso más preferentemente 27,4. Cuando la relación anterior es mayor que el límite superior, puede ser difícil inhibir la resistencia a la fricción y el agarrotamiento entre la cara periférica externa 11 y la cara periférica interna 21. Se debe observar que la relación anterior puede ser una relación antes del deslizamiento entre el miembro de eje 1 y el miembro de rodamiento 2.

Aceite lubricante

El aceite lubricante 3 se ejemplifica por aceite de base parafínica. Al formar la película de aceite 31, el aceite lubricante 3 facilita el mantenimiento del estado de lubricación fluida entre la cara periférica externa 11 y la cara periférica interna 21.

El espesor de película de aceite h [μm] calculado según la siguiente fórmula 1 es preferentemente mayor o igual que el espesor de película de aceite límite h_{lim} [μm] calculado según la siguiente fórmula 2.

$$h = 1{,}95R\left(\frac{\alpha\eta u}{R}\right)^{0{,}73}\left(\frac{w}{ER}\right)^{-0{,}09} \quad \cdots 1$$

$$h_{lím} = \Lambda_{lím}\sqrt{Ra_1{}^2 + Ra_2{}^2} \quad \cdots 2$$

En la fórmula anterior 1, R representa el radio equivalente [m] del miembro de eje 1 y el miembro de rodamiento 2, o representa el coeficiente de viscosidad-presión [1/GPa] del aceite lubricante 3, η representa la viscosidad [Pa·s] del aceite lubricante 3, u representa la velocidad periférica [m/s] del miembro de eje 1, E representa el módulo elástico longitudinal equivalente [GPa] del miembro de eje 1 y el miembro de rodamiento 2, y w representa una carga [N/m] por unidad de longitud en una dirección axial del miembro de eje 1, siendo la carga aplicada al miembro de rodamiento

2. Además, en la fórmula anterior 2, Λ_{lim}, representa un valor de un parámetro mínimo de la película de aceite al que la película de aceite 31 mantiene el estado de lubricación fluida. Se debe observar que en la fórmula anterior 1, por ejemplo, un valor promedio de la rotación velocidad durante la rotación continua del miembro de eje 1 se puede usar como velocidad periférica u. En la fórmula anterior 1, η (T_h) calculado según la fórmula anterior 8 se puede usar como la viscosidad η en un caso en el que una temperatura máxima del aceite lubricante 3 durante la rotación continua del miembro de eje 1 se indica por T_h. En la fórmula anterior 1, la carga w por unidad longitud se puede determinar suponiendo que, en vista de la facilidad de cálculo del espesor de la película de aceite h, la carga total del miembro de eje 1 se aplica directamente a la cara periférica interna 21. Según esta suposición, la carga w por unidad longitud puede definirse como un valor obtenido dividiendo la carga total del miembro de eje 1 por una anchura de la cara periférica interna 21 (una longitud en la dirección del eje central de la cara periférica interna 21). En la fórmula anterior 1, el valor Λ_{lim} del parámetro mínimo de la película de aceite puede ajustarse a mayor o igual que 3 y menor o igual que 4 según las propiedades del material del miembro de eje 1 y el miembro de rodamiento 2. En particular, en un caso en el que se puede considerar que la rugosidad superficial de cada uno de la cara periférica externa 11 del miembro de eje 1 y la cara periférica interna 21 del miembro de rodamiento 2 sigue una distribución normal, el valor Λ_{lim} del parámetro mínimo de película de aceite puede ajustarse a 3. En la fórmula anterior 2, como rugosidad media aritmética Ra_1 de la cara periférica externa 11 del miembro de eje 1 y rugosidad media aritmética Ra_2 de la cara periférica interna 21 del miembro de rodamiento 2 pueden usarse valores antes del deslizamiento entre el miembro de eje 1 y el miembro de rodamiento 2.

Por lo tanto, debido a que el espesor de la película de aceite h es mayor o igual que el espesor de película de aceite límite h_{lim}, el contacto sólido entre la cara periférica externa 11 y la cara periférica interna 21 se inhibe fácilmente por la película de aceite 31. Esto facilita el mantenimiento del estado de lubricación fluida entre la cara periférica externa 11 y la cara periférica interna 21.

La viscosidad límite η_{lim} [Pa·s] del aceite lubricante 3 se determina según la siguiente fórmula 3 modificando la fórmula anterior 1 usando la fórmula anterior 2.

$$\eta_{lim} = \frac{R}{\alpha u}\left(\frac{\Lambda_{lim}\sqrt{Ra_1^{\,2}+Ra_2^{\,2}}}{1{,}95R}\right)^{\frac{1}{0{,}73}}\left(\frac{w}{ER}\right)^{\frac{0{,}09}{0{,}73}} \quad \cdots 3$$

La viscosidad η [Pa·s] del aceite lubricante 3 se controla preferentemente con referencia a la viscosidad límite η_{lim}. Es decir, el límite inferior de la viscosidad η [Pa·s] del aceite lubricante 3 es preferentemente 008 × η_{lim}, más preferentemente superior a 0,19 × η_{lim}, todavía más preferentemente 0,37 × η_{lim}, e incluso más preferentemente 0,47 × η_{lim}. Además, el límite inferior de la viscosidad η puede ser la viscosidad límite η_{lim}. Mientras tanto, el límite superior de la viscosidad η es preferentemente inferior a 5,20 × η_{lim}, más preferentemente 3,70 × η_{lim}, y todavía más preferentemente 1,43 × η_{lim}. Cuando la viscosidad η es inferior al límite inferior, puede ser difícil mantener el estado de lubricación fluida entre la cara periférica externa 11 y la cara periférica interna 21. En cambio, cuando la viscosidad η es mayor que el límite superior, la viscosidad η puede llegar a ser excesivamente alta, dificultando la reducción de la resistencia a la fricción entre la cara periférica externa 11 y la cara periférica interna 21.

La velocidad periférica límite u_{lim} [m/s] del miembro de eje 1 se determina según la siguiente fórmula 4 modificando la fórmula 1 anterior usando la fórmula 2 anterior.

$$u_{lim} = \frac{R}{\eta\alpha}\left(\frac{w}{ER}\right)^{\frac{0{,}09}{0{,}73}}\left(\frac{\Lambda_{lim}\sqrt{Ra_1^{\,2}+Ra_2^{\,2}}}{1{,}95R}\right)^{\frac{1}{0{,}73}} \quad \cdots 4$$

La velocidad periférica u [m/s] del miembro de eje 1 se controla preferentemente con referencia a la velocidad periférica límite u_{lim}. Es decir, el límite inferior de la velocidad periférica u [m/s] del miembro de eje 1 es preferentemente 0,29 × u_{lim}, más preferentemente 0,53 × u_{lim}, y todavía más preferentemente u_{lim}. Mientras tanto, el límite superior de la velocidad periférica u no está particularmente limitado y puede ser, por ejemplo, 4,94 × u_{lim}. Cuando la velocidad periférica u sea inferior al límite inferior, puede ser difícil mantener el estado de lubricación fluida entre la cara periférica externa 11 y la cara periférica interna 21.

El radio equivalente límite R_{lim} [m] del miembro de eje 1 y el miembro de rodamiento 2 se determina según la siguiente fórmula 5 modificando la fórmula anterior 1 usando la fórmula anterior 2.

$$R_{lím} = \left(\frac{1}{\eta\alpha u}\right)^{\frac{0,73}{0,36}} \left(\frac{w}{E}\right)^{\frac{0,09}{0,36}} \left(\frac{\Lambda_{lím}\sqrt{Ra_1{}^2+Ra_2{}^2}}{1,95}\right)^{\frac{1}{0,36}} \quad \cdots 5$$

El radio equivalente R [m] del miembro de eje 1 y el miembro de rodamiento 2 se controla preferentemente con referencia al radio equivalente límite $R_{lím}$. Es decir, el límite inferior del radio equivalente R [m] es preferentemente 0,08 × $R_{lím}$, más preferentemente 0,27 × $R_{lím}$, y todavía más preferentemente $R_{lím}$. Mientras tanto, el límite superior del radio equivalente R no está particularmente limitado y puede ser, por ejemplo, 25,65 × $R_{lím}$ en vista de, por ejemplo, una exigencia de una reducción en el tamaño del dispositivo. Cuando el radio equivalente R es inferior al límite inferior, puede ser difícil mantener el estado de lubricación fluida entre la cara periférica externa 11 y la cara periférica interna 21.

Ventajas

En el dispositivo de rodamiento, al optimizar la rugosidad media aritmética Ra_1 y la altura de picos salientes Rpk_1 de la cara periférica externa 11 del miembro de eje 1, se mantiene fácilmente el estado de lubricación fluida entre la cara periférica externa 11 y la cara periférica interna 21. Además, el dispositivo de rodamiento no requiere proporcionar una capa de tratamiento superficial, tal como una capa de recubrimiento o similares, sobre la cara periférica externa 11 y la cara periférica interna 21. Por lo tanto, el dispositivo de rodamiento permite la inhibición de la resistencia a la fricción y el agarrotamiento entre la cara periférica externa 11 y la cara periférica interna 21, mientras que se suprime la mezcla de impurezas entre la cara periférica externa 11 y la cara periférica interna 21 y un aumento en el coste.

Método para accionar el dispositivo de rodamiento

El método para accionar un dispositivo de rodamiento en la FIG. 2 incluye una etapa de accionamiento E1 de accionar usando el dispositivo de rodamiento en la FIG. 1 para girar el miembro de eje 1.

Etapa de accionamiento

En la etapa de accionamiento E1, el miembro de eje 1 gira mientras que el aceite lubricante 3 se suministra al hueco entre el miembro de eje 1 y el miembro de rodamiento 2. Un método para suministrar el aceite lubricante 3 se ejemplifica por un método en el que un orificio de suministro para suministrar el aceite lubricante 3 se proporciona sobre la cara periférica interna 21 del miembro de rodamiento 2 y el aceite lubricante 3 se suministra desde el orificio de suministro de forma que el aceite lubricante 3 circule en el área de deslizamiento entre el miembro de eje 1 y el miembro de rodamiento 2. Se debe observar que el aceite lubricante 3 puede ser añadido gota a gota entre la cara periférica externa 11 y la cara periférica interna 21 antes de girar el miembro de eje 1.

En la etapa de accionamiento E1, el miembro de eje 1 gira preferentemente de forma que el espesor de la película de aceite h [μm] calculado según la siguiente fórmula 1 sea mayor o igual que el espesor de la película de aceite límite $h_{lím}$ [μm] calculado según la siguiente fórmula 2.

$$h = 1,95R\left(\frac{\alpha\eta u}{R}\right)^{0,73}\left(\frac{w}{ER}\right)^{-0,09} \quad \cdots 1$$

$$h_{lím} = \Lambda_{lím}\sqrt{Ra_1{}^2 + Ra_2{}^2} \quad \cdots 2$$

Al controlar así el espesor de la película de aceite h para que sea mayor o igual que el espesor de la película de aceite límite $h_{lím}$, la película de aceite 31 inhibe fácilmente el contacto sólido entre la cara periférica externa 11 y la cara periférica interna 21.

La viscosidad η del aceite lubricante 3 en la etapa de accionamiento E1 se controla preferentemente con referencia a la viscosidad límite $\eta_{lím}$ mencionada anteriormente. Es decir, el límite inferior de la viscosidad η [Pa·s] es preferentemente 0,08 × $\eta_{lím}$, más preferentemente superior a 0,19 × $\eta_{lím}$, todavía más preferentemente 0,37 × $\eta_{lím}$, e incluso más preferentemente 0,47 × $\eta_{lím}$. Además, el límite inferior de la viscosidad $\eta_{lím}$ puede ser la viscosidad límite $\eta_{lím}$. Mientras tanto, el límite superior de la viscosidad η es preferentemente inferior a 5,20 × $\eta_{lím}$, más preferentemente 3,70 × $\eta_{lím}$, y todavía más preferentemente 1,43 × $\eta_{lím}$. Cuando la viscosidad η es inferior al límite inferior, puede ser difícil mantener el estado de lubricación fluida entre la cara periférica externa 11 y la cara periférica interna 21. En cambio, cuando la viscosidad η es mayor que el límite superior, la viscosidad η puede llegar a ser excesivamente alta,

lo que dificulta la reducción de la resistencia a la fricción entre la cara periférica externa 11 y la cara periférica interna 21. Se debe observar que, como se denomina en el presente documento, la "viscosidad η" significa la viscosidad η durante el accionamiento del miembro de eje 1, y "controlar con referencia a la viscosidad límite η_{lim}" significa que al ajustar las condiciones de accionamiento, tales como la velocidad periférica u del miembro de eje 1 y similares, seleccionando el aceite lubricante 3, y/o similares, la viscosidad η del aceite lubricante 3 en la etapa de accionamiento E1 se controla con referencia a la viscosidad límite η_{lim}, inmediatamente antes del comienzo de la etapa de accionamiento E1.

En la etapa de accionamiento E1, la velocidad periférica u del miembro de eje 1 se controla preferentemente con referencia a la velocidad periférica límite u_{lim} mencionada anteriormente. Es decir, el límite inferior de la velocidad periférica u [m/s] del miembro de eje 1 en la etapa de accionamiento E1 es preferentemente 029 × u_{lim}, más preferentemente 0,53 × u_{lim}, y todavía más preferentemente u_{lim}. Mientras tanto, el límite superior de la velocidad periférica 11 no está particularmente limitado y puede ser, por ejemplo, 4,94 × u_{lim}. Cuando la velocidad periférica u es inferior al límite inferior, puede ser difícil mantener el estado de lubricación fluida entre la cara periférica externa 11 y la cara periférica interna 21.

Ventajas

Según el método para accionar un dispositivo de rodamiento, usando el dispositivo de rodamiento, el estado de lubricación fluida entre la cara periférica externa 11 y la cara periférica interna 21 se mantiene fácilmente en la etapa de accionamiento E1. Por lo tanto, el método para accionar un dispositivo de rodamiento permite la inhibición de la resistencia a la fricción y el agarrotamiento entre la cara periférica externa 11 y la cara periférica interna 21, mientras se suprime la mezcla de impurezas entre la cara periférica externa 11 y la cara periférica interna 21 y un aumento en el coste.

Otras realizaciones

Las realizaciones descritas anteriormente no limitan la configuración de la presente invención. Por lo tanto, en las realizaciones descritas anteriormente, los componentes de cada parte de las realizaciones descritas anteriormente pueden omitirse, sustituirse o añadirse basándose en la descripción en la presente memoria descriptiva y el conocimiento técnico general, y se debe interpretar que dicha omisión, sustitución o adición se encuentra dentro del alcance de la presente invención.

En las realizaciones descritas anteriormente, el eje central del miembro de eje se extiende en la dirección horizontal; sin embargo, el eje central del miembro de eje puede estar inclinado hacia la dirección horizontal.

Ejemplos

En lo sucesivo, la presente invención se describe con detalle a modo de Ejemplos; la presente invención no se debe interpretar como limitada a la descripción en los Ejemplos.

En los ejemplos, se realizaron una prueba de pulido en la que la cara periférica externa del miembro de eje se pulió manualmente y una prueba de deslizamiento en la se giró el miembro de eje.

Prueba de pulido

En la prueba de pulido, la cara periférica externa del miembro de eje se pulió con papel de lija. Como material del miembro de eje, se usó acero correspondiente a S45C como se define en JIS-G4051 (2016). Un diámetro externo del miembro de eje en una parte a pulir se fijó a 600 mm. El pulido se realizó repetidamente mientras que el número de grano del papel de lija se aumentaba gradualmente. Para cada número de grano del papel de lija, se midieron la rugosidad media aritmética Ra_1 y la altura de picos salientes Rpk_1 de la cara periférica externa después del pulido usando un instrumento portátil de medición de la rugosidad superficial ("SJ-310"), disponible de Mitutuyo Corporation. En esta medición, se decidieron cuatro posiciones circunferenciales en intervalos de 90° a lo largo de la dirección circunferencial de la cara periférica externa, y para cada una de estas posiciones circunferenciales, se midieron la rugosidad media aritmética Ra_1 y la altura de picos salientes Rpk_1 de la cara periférica externa en dos puntos de medición que difirieron en la posición en la dirección axial. Además, una longitud de evaluación en cada uno de los puntos de medición se ajustó a 4 mm. Las condiciones de medición de la rugosidad media aritmética Ra_1 se ajustaron del siguiente modo: una fuerza de medición fue 0,75 mN, un radio de un elemento de medición fue 2 µm, un valor de corte de alta frecuencia (λc) fue 0,8 mm, y un valor de corte de baja frecuencia un (λs) fue 2,5 µm. La FIG. 3 muestra los resultados de medición de la rugosidad media aritmética Ra_1, y la FIG. 4 muestra los resultados de medición de la altura de picos salientes Rpk_1. Se debe observar que en las FIG. 3 y 4, cada punto representa un valor promedio, y una barra de error correspondiente representa un intervalo de error con respecto al valor promedio.

Como se muestra en la FIG. 3, cuando el número de grano del papel de lija es mayor o igual que 150, la rugosidad media aritmética Ra_1 se reduce a un intervalo mayor o igual que 0,05 µm y menor o igual que 0,30 µm. Además,

cuando el número de grano del papel de lija es mayor o igual que 200, la rugosidad media aritmética Ra_1 converge a un intervalo mayor o igual que 0,05 µm y menor o igual que 0,20 µm. Mientras tanto, como se muestra en la FIG. 4, cuando el número de grano del papel de lija es mayor o igual que 150, la altura de picos salientes Rpk_1 de la cara periférica externa del miembro de eje se reduce a un intervalo mayor o igual que 0,04 µm y menor o igual que 0,34 um. Además, cuando el número de grano del papel de lija es mayor o igual que 200, la altura de picos salientes Rpk_1 de la cara periférica externa del miembro de eje converge a un intervalo mayor o igual que 0,04 µm y menor o igual que 0,26 µm. En otras palabras, en la fabricación del miembro de eje que incluye pulido manual, se considera que en el caso en el que la rugosidad media aritmética Ra_1 y la altura de picos salientes Rpk_1 de la cara periférica externa del miembro de eje entren dentro de los intervalos anteriores, la rugosidad superficial del miembro de eje se reducen hasta casi el límite. Por lo tanto, se considera que, debido a la rugosidad media aritmética Ra_1 y la altura de picos salientes Rpk_1 de la cara periférica externa del miembro de eje que entran dentro de los intervalos anteriores, se pueden inhibir la resistencia a la fricción y el agarrotamiento entre el miembro de eje y el miembro de rodamiento.

Prueba de deslizamiento

En la prueba de deslizamiento, el miembro de eje se hizo girar en las siguientes condiciones de n.º 1 a n.º 106 usando un aparato A (un medidor del desgaste por fricción disponible de Chihoda-Seiko Co., Ltd), un aparato B (un medidor de la vida útil del rodamiento disponible de Chihoda-Seiko Co., Ltd) y un aparato C (un medidor del desgaste por fricción disponible de KOBELCO MACHINERY ENGINEERING Co., Ltd.). Como el miembro de eje, se usó un miembro de eje con una cara periférica externa pulida manualmente. En el aparato A, el miembro de eje se hizo girar mientras que, para n.º 29 a n.º 38, la cara periférica interna del miembro de rodamiento que rodeaba la cara periférica externa del miembro de eje en un intervalo de aproximadamente 90°, y para n.º 13 a n.º 26 y n.º 39 a n.º 106, el miembro de rodamiento que tenía una forma de tipo placa se presionaba contra el miembro de eje con una carga constante. En el aparato B y el aparato C, el miembro de eje se hizo girar mientras que la cara periférica interna del miembro de rodamiento que rodeaba toda la periferia de la cara periférica externa del miembro de eje se presionaba contra el miembro de eje con una carga constante. Además, con respecto a cada uno de n.º 1 a n.º 106, se midieron las durezas del miembro de eje y el miembro de rodamiento, así como las rugosidades medias aritméticas y la altura de picos salientes del miembro de eje y el miembro de rodamiento antes y después de la prueba de deslizamiento. Las Tablas 1 a 5 muestran los resultados de medición de n.º 1 a n.º 106. Se debe observar que en las Tablas 1 a 5, Ra_{1A} indica la rugosidad media aritmética del miembro de eje antes de la prueba de deslizamiento, Ra_{1B} indica la rugosidad media aritmética del miembro de eje después de la prueba de deslizamiento, Ra_{2A} indica la rugosidad media aritmética del miembro de rodamiento antes de la prueba de deslizamiento, y Ra_{2B} indica la rugosidad media aritmética del miembro de rodamiento después de la prueba de deslizamiento. Además, en las Tablas 1 a 5, Rpk_{1A} indica la altura de picos salientes del miembro de eje antes de la prueba de deslizamiento, Rpk_{1B} indica la altura de picos salientes del miembro de eje después de la prueba de deslizamiento, Rpk_{2A} indica la altura de picos salientes del miembro de rodamiento antes de la prueba de deslizamiento, y Rpk_{1B} indica la altura de picos salientes del miembro de rodamiento después de la prueba de deslizamiento. Además, la "relación de dureza", la "relación de rugosidades medias aritméticas" y la "relación de altura de picos salientes" mostradas en las Tablas 1 a 5 son valores calculados con 4 cifras significativas. Se debe observar que en la prueba de deslizamiento, la dureza se midió usando un medidor de dureza de Vickers ("TV-310"), disponible de FUTURE-TECH CORP., para los miembros de eje de n.º 1 a n.º 28 y los miembros de rodamiento de n.º 13 a n.º 26, usando un medidor de dureza de Vickers ("MVK-E"), disponible de Akashi Seisakusho, Ltd., para los miembros de rodamiento de n.º 1 a n.º 12, n.º 27, y n.º 28, y usando un medidor de dureza de Vickers ("AVK"), disponible de Akashi Seisakusho, Ltd, para los miembros de eje y miembros de rodamiento de n.º 29 a n.º 106. Además, la rugosidad media aritmética y la altura de picos salientes se midieron usando el instrumento portátil de medición de rugosidad superficial ("SJ-310"), disponible de Mitutuyo Corporation, para los miembros de eje y los miembros de rodamiento de n.º 1 a n.º 28, y usando un instrumento portátil de medición de la rugosidad superficial ("SJ-210"), disponible de Mitutuyo Corporation, para los miembros de eje y los miembros de rodamiento de n.º 29 a n.º 106. Además, en la medición de la rugosidad media aritmética y la altura de picos salientes, la longitud de evaluación se estableció a 4 mm para n.º 1 a n.º 28, y la longitud de evaluación se estableció a 12,5 mm para n.º 29 a n.º 106. Las condiciones de medición de la rugosidad media aritmética se ajustaron del siguiente modo: para n.º 1 a n.º 28, la fuerza de medición fue 0,75 mN, el radio del elemento de medición fue 2 µm, el valor de corte de alta frecuencia (λc) fue 0,8 mm, y el valor de corte de baja frecuencia (λs) fue 2,5 µm; y para n.º 29 a n.º 106, la fuerza de medición fue 4 mN, el radio del elemento de medición fue 5 µm, el valor de corte de alta frecuencia (λc) fue 2,5 mm y el valor de corte de baja frecuencia (λs) fue 8 µm.

N.º 1 a n.º 3

Para n.º 1 a n.º 3, la carga del miembro de rodamiento al miembro de eje se ajustó a 10 kN. La frecuencia de rotación del miembro de eje se disminuyó en etapas de 250 rpm en intervalos de 10 minutos desde una frecuencia de rotación inicial de 3.000 rpm hasta una frecuencia de rotación mínima de 250 rpm. Se usó acero al manganeso como el miembro de eje, y se usó metal blanco de WJ1 como se define en JIS-H5401 (1958) como el miembro de rodamiento. Como el aceite lubricante, se usó "FBK oil RO32", disponible de ENEOS Corporation. El aceite lubricante se suministró al área de deslizamiento entre la cara periférica externa del miembro de eje y la cara periférica interna del miembro de rodamiento a una temperatura inicial de 70 °C y se hizo circular mientras que el área de deslizamiento se sumergió en el aceite lubricante.

N.º 4 a n.º 12

Para n.º 4 a n.º 12, la frecuencia de rotación del miembro de eje se ajustó a un valor constante de 3.500 rpm. La carga del miembro de rodamiento al miembro de eje se incrementó en etapas en 0,5 kN en intervalos de 5 minutos desde una carga inicial de 0 kN hasta un máximo de 20 kN. Se usó acero al manganeso como el miembro de eje, y se usó metal blanco correspondiente a WJ1 como se define en JIS-H5401 (1958) como el miembro de rodamiento. Como el aceite lubricante, se usó "FBK oil RO32", disponible de ENEOS Corporation. El aceite lubricante se suministró al área de deslizamiento entre la cara periférica externa del miembro de eje y la cara periférica interna del miembro de rodamiento a la temperatura inicial de 70 °C y se hizo circular en el área de deslizamiento.

N.º 13 a n.º 17

Con respecto a n.º 13 a n.º 17, la frecuencia de rotación del miembro de eje se ajustó a 400 rpm para n.º 13, 200 rpm para n.º 14, 100 rpm para n.º 15, 50 rpm para n.º 16 y 800 rpm para n.º 17. La carga del miembro de rodamiento al miembro de eje se incrementó en etapas en 0,1 kN en intervalos de 1 minuto desde una carga inicial de 0 kN hasta 1 kN. Se usó acero de S45C como se define en JIS-G4051 (2016) como el miembro de eje, y se usó metal blanco de W12 como se define en JIS-H5401 (1958) como el miembro de rodamiento. Como el aceite lubricante, se usó "FBK oil RO32", disponible de ENEOS Corporation. El aceite lubricante se suministró al área de deslizamiento entre la cara periférica externa del miembro de eje y la cara periférica interna del miembro de rodamiento a temperatura ambiente y se hizo circular en el área de deslizamiento.

N.º 18 y n.º 25

Para n.º 18 y n.º 25, la frecuencia de rotación del miembro de eje y la carga del miembro de rodamiento al miembro de eje se mantuvieron a valores constantes de 50 rpm y 1 kN, respectivamente, y el miembro de eje se hizo girar durante 240 minutos. Para n.º 18 y n.º 25, se usaron un miembro de eje y un miembro de rodamiento similares a los de n.º 13 a n.º 17, excepto por la dureza y la rugosidad superficial. Además, se usó el mismo aceite lubricante que en n.º 13 a n.º 17 y se hizo circular como en n.º 13 a n.º 17.

N.º 19 y n.º 26

Para n.º 19 y n.º 26, la frecuencia de rotación del miembro de eje y la carga del miembro de rodamiento al miembro de eje se mantuvieron a valores constantes de 100 rpm y 1 kN, respectivamente, y el miembro de eje se hizo girar durante 240 minutos. Para n.º 19 y n.º 26, se usaron un miembro de eje y un miembro de rodamiento similares a los de n.º 13 a n.º 17, excepto por la dureza y la rugosidad superficial. Además, el aceite lubricante fue el mismo que en n.º 13 a n.º 17. El aceite lubricante solo se añadió gota a gota una vez sobre el área de deslizamiento entre la cara periférica externa del miembro de eje y la cara periférica interna del miembro de rodamiento a temperatura ambiente al comienzo de la prueba de deslizamiento.

N.º 20 a n.º 24

Con respecto a n.º 20 a n.º 24, la frecuencia de rotación del miembro de eje se ajustó a 400 rpm para n.º 20, 200 rpm para n.º 21, 100 rpm para n.º 22, 50 rpm para n.º 23 y 800 rpm para n.º 24. Las condiciones de accionamiento de n.º 20 a n.º 24 fueron similares a las de n.º 13 a n.º 17, excepto por la frecuencia de rotación del miembro de eje. Para n.º 20 a n.º 24, se usaron un miembro de eje y un miembro de rodamiento similares a los de n.º 13 a n.º 17, excepto por la dureza y la rugosidad superficial. Además, se usó el mismo aceite lubricante que en n.º 13 a n.º 17 y se hizo circular como en n.º 13 a n.º 17.

N.º 27 y n.º 28

Las condiciones de accionamiento de n.º 27 y n.º 28 fueron similares a las de n.º 1 a n.º 3, excepto que la frecuencia de rotación del miembro de eje disminuyó en intervalos de 1 minuto. Para n.º 27 y n.º 28, se usó acero con aleación de níquel-cromo-molibdeno como el miembro de eje, y se usó un miembro de rodamiento similar al de n.º 1 a n.º 3, excepto por la dureza y la rugosidad superficial. Además, se usó el mismo aceite lubricante que en n.º 1 a n.º 3 y se hizo circular como en n.º 1 a n.º 3.

N.º 29 a n.º 38

Con respecto a n.º 29 a n.º 38, la frecuencia de rotación del miembro de eje se ajustó a 200 rpm para n.º 29, 800 rpm para n.º 30, 100 rpm para n.º 31, 200 rpm para n.º 32, 800 rpm para n.º 33, 200 rpm para n.º 34, 800 rpm para n.º 35, 100 rpm para n.º 36, 200 rpm para n.º 37 y 800 rpm para n.º 38. La carga del miembro de rodamiento al miembro de eje se incrementó en etapas en 0,1 kN en intervalos de 1 minuto desde la carga inicial de 0 kN hasta 1 kN. Se usó acero de S45C como se define en JIS-G4051 (2016) como el miembro de eje, y se usó metal blanco de W12 como se define en JIS-H5401 (1958) como el miembro de rodamiento. Como el aceite lubricante, se usó "FBK oil RO100", disponible de ENEOS Corporation, para n.º 29, n.º 30, n.º 34, y n.º 35, y se usó "FBK oil RO32", disponible de ENEOS

Corporation, para n.º 31 a n.º 33 y n.º 36 a n.º 38. El aceite lubricante solo se añadió gota a gota una vez sobre el área de deslizamiento entre la cara periférica externa del miembro de eje y la cara periférica interna del miembro de rodamiento a temperatura ambiente al comienzo de la prueba de deslizamiento.

Para n.º 29 a n.º 38, se midió una temperatura [°C] con un termopar equipado a una profundidad de 2 mm desde una superficie del miembro de rodamiento, y la temperatura se determinó como una temperatura del aceite lubricante. Además, para n.º 29 a n.º 38, se midió una fuerza de fricción a un tiempo de rotación del miembro de eje con una celda de carga unida a un soporte que mantuvo el miembro de rodamiento, y se determinó un coeficiente de fricción μ dividiendo la fuerza de fricción por la carga aplicada. Estos valores de medición se usaron para la evaluación del estado de lubricación fluida y el cálculo del espesor de la película de aceite, como se describe después.

N.º 39 a n.º 42

Para n.º 39 a n.º 42, la frecuencia de rotación del miembro de eje y la carga del miembro de rodamiento al miembro de eje se mantuvieron a valores constantes de 100 rpm y 1 kN, respectivamente, y el miembro de eje se hizo girar durante un máximo de 900 minutos. Se debe observar que, debido a las restricciones del aparato, en un caso en el que la fuerza de fricción medida con la celda de carga unida al soporte que sujetaba el miembro de rodamiento alcanzara mayor o igual que aproximadamente 294 kN, o en un caso en que la temperatura medida con el termopar equipado a la profundidad de 2 mm desde la superficie del miembro de rodamiento alcanzara mayor o igual que 100 °C, la prueba se detuvo en ese momento de tiempo. Se usó acero de S45C como se define en JIS-G4051 (2016) como el miembro de eje, y se usó metal blanco de WJ2 como se define en JIS-H5401 (1958) como el miembro de rodamiento. Como el aceite lubricante, se usó “FBK oil RO32”, disponible de ENEOS Corporation. El aceite lubricante solo se añadió gota a gota una vez sobre el área de deslizamiento entre la cara periférica externa del miembro de eje y la cara periférica interna del miembro de rodamiento a 20 °C al comienzo de la prueba de deslizamiento.

N.º 43 a n.º 45

Con respecto a n.º 43 a n.º 45, la frecuencia de rotación del miembro de eje se ajustó a 200 rpm para n.º 43 y 100 rpm para n.º 44 y n.º 45. Además, la carga del miembro de rodamiento al miembro de eje se mantuvo a un valor constante 1 kN, y el miembro de eje se hizo girar durante un máximo de 320 minutos. Se debe observar que, debido a restricciones del aparato, en el caso en que la fuerza de fricción medida con la celda de carga unida al soporte que sujetaba el miembro de rodamiento alcanzara mayor o igual que aproximadamente 294 kN, o en el caso en que la temperatura medida con el termopar equipado a la profundidad de 2 mm desde la superficie del miembro de rodamiento alcanzara mayor o igual que 100 °C, la prueba se detuvo en ese momento de tiempo. Para n.º 43 a n.º 45, se usaron un miembro de eje y un miembro de rodamiento similares a los de n.º 39 a n.º 42, excepto por la dureza y la rugosidad superficial. Además, el aceite lubricante fue el mismo que en n.º 39 a n.º 42. Para n.º 43, el aceite lubricante se añadió gota a gota sobre el área de deslizamiento entre la cara periférica externa del miembro de eje y la cara periférica interna del miembro de rodamiento solo una vez a 20 °C al comienzo de la prueba de deslizamiento; para n.º 44 y n.º 45, el aceite lubricante se suministró al área de deslizamiento a 20 °C y se hizo circular mientras que el área de deslizamiento se sumergió en el aceite lubricante.

N.º 46 a n.º 84

Con respecto a n.º 46 a n.º 84, un tiempo de rotación del miembro de eje se ajustó a 1 minuto para n.º 46 y n.º 65, 5 minutos para n.º 47 y n.º 66, 10 minutos para n.º 48 y n.º 67, 20 minutos para n.º 49 y n.º 68, 30 minutos para n.º 50 y n.º 69, 40 minutos para n.º 51 y n.º 70, 50 minutos para n.º 52 y n.º 71, 60 minutos para n.º 53 y n.º 72, 90 minutos para n.º 54 y n.º 73, 120 minutos para n.º 55 y n.º 74, 151 minutos para n.º 56, 150 minutos para n.º 75, 180 minutos para n.º 57 y n.º 76, 240 minutos para n.º 58 y n.º 77, 360 minutos para n.º 59 y n.º 78, 480 minutos para n.º 60 y n.º 79, 600 minutos para n.º 61 y n.º 80, 720 minutos para n.º 81, 840 minutos para n.º 62 y n.º 82, 1.080 minutos para n.º 63 y n.º 83, y 1.440 minutos para n.º 64 y n.º 84. Con respecto a n.º 46 a n.º 84, se usaron otras condiciones de accionamiento fueron similares a las de n.º 39 a n.º 42. Para n.º 46 a n.º 84, un miembro de eje y un miembro de rodamiento similares a los de n.º 39 a n.º 42, excepto por la dureza y la rugosidad superficial. Además, como el aceite lubricante, se usó “FBK oil RO32”, disponible de ENEOS Corporation, para n.º 46 a n.º 64, y se usó “FBK oil RO100”, disponible de ENEOS Corporation, para n.º 65 a n.º 84; como en n.º 39 a n.º 42, el aceite lubricante solo se añadió gota a gota una vez a 20 °C al comienzo de la prueba de deslizamiento.

N.º 85 a n.º 91

Con respecto a n.º 85 a n.º 91, la frecuencia de rotación del miembro de eje se ajustó a 100 rpm para n.º 85, 200 rpm para n.º 86, 800 rpm para n.º 87, 800 rpm para n.º 88, 100 rpm para n.º 89, 200 rpm para n.º 90 y 800 rpm para n.º 91. La carga del miembro de rodamiento al miembro de eje se incrementó en etapas en 0,1 kN en intervalos de 1 minuto desde la carga inicial de 0 kN, hasta 1 kN. El acero de S45C como se define en JIS-G4051 (2016) se usó como el miembro de eje, y se usó aleación de Al-Sn-Cu (en lo sucesivo, también denominada una aleación de aluminio) con un contenido de Sn del 7,0 % en masa y un contenido de Cu del 2,5 % en masa como el miembro de rodamiento. Como el aceite lubricante, se usó “FBK oil RO100”, disponible de ENEOS Corporation. El aceite lubricante solo se añadió gota a gota una vez sobre el área de deslizamiento entre la cara periférica externa del miembro de eje y la cara periférica interna del miembro de rodamiento a temperatura ambiente al comienzo de la prueba de deslizamiento.

Para n.º 85 a n.º 91, la temperatura del aceite lubricante y el coeficiente de fricción μ se determinaron como en n.º 29 a n.º 38. Estos valores de medición se usaron para la evaluación del estado de lubricación fluida y el cálculo del espesor de la película de aceite, como se describe después.

N.º 92 a n.º 106

Con respecto a n.º 92 a n.º 106, la frecuencia de rotación del miembro de eje y la carga del miembro de rodamiento al miembro de eje se mantuvieron a valores constantes de 800 rpm y 0,3 kN, respectivamente, y el tiempo de rotación del miembro de eje se ajustó a 1 minuto para n.º 92 y n.º 100, 5 minutos para n.º 93 y n.º 101, 10 minutos para n.º 94 y n.º 102, 20 minutos para n.º 95 y n.º 103, 30 minutos para n.º 96 y n.º 104, 40 minutos para n.º 97 y n.º 105, 50 minutos para n.º 98 y n.º 106, y 60 minutos para n.º 99. Para n.º 92 a n.º 106, se usaron un miembro de eje y un miembro de rodamiento similares a los de n.º 85 a n.º 91, excepto por la dureza y la rugosidad superficial. Además, como el aceite lubricante, se usó “FBK oil RO32”, disponible de ENEOS Corporation; como en n.º 39 a n.º 42, el aceite lubricante solo se añadió gota a gota una vez a 20 °C al comienzo de la prueba de deslizamiento.

Tabla 1

N.º	Aparato	Dureza [HV]		Relación de dureza H_1/H_2	Rugosidad media aritmética [µm]				Relación de rugosidad media aritmética				Altura de picos salientes [µm]				Relación de alturas de picos salientes			
					Miembro de eje		Miembro de rodamiento						Miembro de eje		Miembro de rodamiento					
		Miembro de eje H_1	Miembro de rodamiento H_2		Ra_{1A} antes de la prueba	Ra_{1B} después de la prueba	Ra_{2A} antes de la prueba	Ra_{2B} después de la prueba	Ra_{1B}/Ra_{1A}	Ra_{2A}/Ra_{2A}	Ra_{2A}/Ra_{1A}	Ra_{2B}/Ra_{1B}	Rpk_{1A} antes de la prueba	Rpk_{1B} después de la prueba	Rpk_{2A} antes de la prueba	Rpk_{2B} después de la prueba	Rpk_{1B}/Rpk_{1A}	Rpk_{2A}/Rpk_{2A}	Rpk_{2A}/Rpk_{1A}	Rpk_{2B}/Rpk_{1B}
1	B	212,8	24,9	8,5	0,09	0,09	0,96	0,46	1,04	0,48	10,94	5,07	0,08	0,10	2,29	0,27	1,16	0,12	27,42	2,82
2	B	212,8	24,9	8,5	0,21	0,20	0,92	0,18	0,98	0,20	4,44	0,90	0,19	0,19	2,19	0,17	0,98	0,08	11,53	0,91
3	B	212,8	24,9	8,5	0,58	0,52	0,91	0,38	0,90	0,42	1,58	0,74	0,64	0,48	2,16	0,68	0,76	0,32	3,39	1,42
4	C	194,5	21,7	9,0	0,42	0,41	0,39	025	0,98	0,65	0,92	0,61	0,47	0,41	0,42	0,62	0,85	1,48	0,88	1,53
5	C	194,5	21,7	9,0	0,42	0,41	0,39	0,24	0,97	0,61	0,92	0,58	0,29	0,27	0,42	0,27	0,92	0,65	1,42	1,00
6	C	194,5	21,7	9,0	0,45	0,44	0,39	0,13	0,96	0,34	0,86	0,30	0,35	0,36	0,42	0,18	1,03	0,43	1,20	0,50
7	C	194,5	21,7	9,0	0,27	0,27	0,39	0,20	1,01	0,51	1,44	0,73	0,20	0,29	0,42	0,35	1,42	0,85	2,05	1,23
8	C	194,5	21,7	9,0	0,16	0,16	0,39	0,31	0,97	0,79	2,43	1,99	0,13	0,15	0,42	0,45	1,09	1,08	3,12	3,08
9	C	194,5	21,7	9,0	0,08	0,11	0,39	0,23	1,46	0,60	5,07	2,08	0,08	0,12	0,42	0,30	1,53	0,72	5,19	2,44
10	C	194,5	21,7	90	0,07	0,08	0,39	0,24	1,13	063	5,43	3,01	0,08	0 09	0,42	0,29	1,13	0,69	5,36	3,27
11	C	194,5	21,7	9,0	0,31	0,32	0,39	0,23	1,04	0,58	1,27	0,71	0,13	0,21	0,42	0,20	1,56	0,49	3,11	0,97
12	C	194,5	21,7	9,0	0,04	0,09	0,39	0,22	1,94	0,56	8,72	2,49	0,06	0,09	0,42	0,26	1,48	0,63	7,15	3,03
13	A	159	29,7	5,4	0,22	0,22	1,81	0,09	0,98	0,05	8,13	0,42	-	0,21	1,23	0,11	-	0,09	-	0,54
14	A	159	29,7	5,4	0,22	0,22	1,81	0,09	0,98	0,05	8,13	0,42	-	0,21	1,23	0,11	-	0,09	-	0,54
15	A	159	29,7	5,4	0,22	0,22	1,81	0,09	0,98	0,05	8,13	0,42	-	0,21	1,23	0,11	-	0,09	-	0,54
16	A	159	29,7	5,4	0,22	0,22	1,81	0,09	0,98	0,05	8,13	0,42	-	0,21	1,23	0,11	-	0,09	-	0,54
17	A	159	29,7	5,4	0,22	0,22	1,81	0,09	0,98	0,05	8,13	0,42	-	0,21	1,23	0,11	-	0,09	-	0,54
18	A	150	29,7	5,1	0,50	0,28	1,83	0,08	0,94	0,04	6,06	0,28	-	0,36	0,48	0,11	-	0,23	-	0,31
19	A	151	29,7	5,1	0,34	0,34	1,67	0,49	1,00	0,30	4,96	1,46	-	0,28	0,61	0,57	-	0,93	-	2,02
20	A	119	29,7	4,0	0,22	0,22	1,77	029	1,00	0,17	8,11	1,35	-	0,24	0,42	0,99	-	2,34	-	4,11
21	A	119	29,7	4,0	0,22	0,22	1,77	0,29	1,00	0,17	8,11	1,35	-	0,24	0,42	0,99	-	2,34	-	4,11

Tabla 2

N.º	Aparato	Dureza [HV]		Relación de dureza H_1/H_2	Rugosidad media aritmética [µm]				Relación de rugosidad media aritmética				Altura de picos salientes [µm]				Relación de alturas de picos salientes			
					Miembro de eje		Miembro de rodamiento						Miembro de eje		Miembro de rodamiento					
		Miembro de eje H_1	Miembro de rodamiento H_2		Ra_{1A} antes de la prueba	Ra_{1B} después de la prueba	Ra_{2A} antes de la prueba	Ra_{2B} después de la prueba	Ra_{1B}/Ra_{1A}	Ra_{2A}/Ra_{2A}	Ra_{2A}/Ra_{1A}	Ra_{2B}/Ra_{1B}	Rpk_{1A} antes de la prueba	Rpk_{1B} después de la prueba	Rpk_{2A} antes de la prueba	Rpk_{2B} después de la prueba	Rpk_{1B}/Rpk_{1A}	Rpk_{2A}/Rpk_{2A}	Rpk_{2A}/Rpk_{1A}	Rpk_{2B}/Rpk_{1B}
22	A	119	29,7	4,0	0,22	0,22	1,77	0,29	1,00	0,17	8,11	1,35	-	0,24	0,42	0,99	-	2,34	-	4,11
23	A	119	29,7	4,0	0,22	0,22	1,77	0,29	1,00	0,17	8,11	1,35	-	0,24	0,42	0,99	-	2,34	-	4,11
24	A	119	29,7	4,0	0,22	0,22	1,77	0,29	1,00	0,17	8,11	1,35	-	0,24	0,42	0,99	-	2,34	-	4,11
25	A	119	29,7	4,0	0,23	0,23	1,85	0,11	0,99	0,06	8,18	0,48		an		0,13	-	-	-	0,49
26	A	119	29,7	4,0	0,37	0,33	1,59	1,24	0,90	0,78	4,34	3,74	-	0,28	0,40	0,96	-	2,39	-	3,39
27	B	277	24,9	11,1	0,26	0,24	1,20	0,31	0,94	0,26	4,63	1,28	0,40	0,26	1,37	0,19	1,62	0,14	3,42	0,71
28	B	277	24,9	11,1	0,07	0,06	1,23	0,30	0,88	0,24	16,81	4,66	0,07	0,07	1,55	0,46	0,93	0,30	21,58	6,85
29	A	242,5	27,0	9,0	0,30	0,27	0,34	0,18	0,91	0,54	1,12	0,66	-	T	0,48	-	-	-	-	-
30	A	242,5	27,0	9,0	0,30	0,27	0,34	0,18	0,91	0,54	1,12	0,66	-	-	0,48	-	-	-	-	-
31	A	242,5	27,0	9,0	0,43	0,25	0,34	0,57	0,58	1,69	0,78	2,29	-	-	0,48	-	-	-	-	-
32	A	242,5	27,0	9,0	0,43	0,25	0,34	0,57	0,58	1,69	0,78	2,29	-	-	0,48	-	-	-	-	-
33	A	242,5	27,0	9,0	0,43	0,25	0,34	0,57	0,58	1,69	0,78	2,29	-	-	0,48	-	-	-	-	-
34	A	242,5	27,0	9,0	0,08	0,10	0,34	0,27	1,32	0,79	4,25	2,55	-	-	0,48	-	-	-	-	-
35	A	242,5	27,0	9,0	0,08	0,10	0,34	0,27	1,32	0,79	4,25	2,55	-	-	0,48	-	-	-	-	-
36	A	242,5	27,0	9,0	0,07	0,10	0,34	0,29	1,49	0,86	5,01	2,90	-	-	0,48	-	-	-	-	
37	A	242,5	27,0	9,0	0,07	0,10	0,34	0,29	1,49	0,86	5,01	2,90	-	-	0,48	-	-	-	-	-
38	A	242,5	27,0	9,0	0,07	0,10	0,34	0,29	1,49	0,86	5,01	2,90	-	-	0,48	-	-	-	-	
39	A	220,5	27,0	8,2	0,31	0,22	0,55	0,27	0,72	0,49	1,76	1,19	0,23	0,16	0,97	0,37	0,67	0,38	4,14	2,36
40	A	220,5	27,0	8,2	0,13	0,11	0,56	0,13	0,84	0,23	4,34	1,19	0,19	0,11	0,82	0,17	0,57	0,21	4,34	1,58
41	A	220,5	27,0	8,2	0,21	0,17	0,53	0,14	0,83	0,27	2,57	0,84	0,18	0,14	0,79	0,25	0,79	0,31	4,45	1,76
42	A	220,5	27,0	8,2	0,06	0,09	0,57	0,13	1,65	0,22	10,27	1,37	0,06	0,11	1,56	0,18	1,78	0,11	25,97	1,65

ES 2 982 807 T3

Tabla 3

N.º	Aparato	Dureza [HV]		Relación de dureza H_1/H_2	Rugosidad media aritmética [µm]				Relación de rugosidad media aritmética				Altura de picos salientes [µm]				Relación de alturas de picos salientes			
					Miembro de eje		Miembro de rodamiento						Miembro de eje		Miembro de rodamiento					
		Miembro de eje H_1	Miembro de rodamiento H_2		Ra_{1A} antes de la prueba	Ra_{1B} después de la prueba	Ra_{2A} antes de la prueba	Ra_{2B} después de la prueba	Ra_{1B}/Ra_{1A}	Ra_{2B}/Ra_{2A}	Ra_{2A}/Ra_{1A}	Ra_{2B}/Ra_{1B}	Rpk_{1A} antes de la prueba	Rpk_{1B} después de la prueba	Rpk_{2A} antes de la prueba	Rpk_{2B} después de la prueba	Rpk_{1B}/Rpk_{1A}	Rpk_{2B}/Rpk_{2A}	Rpk_{2A}/Rpk_{1A}	Rpk_{2B}/Rpk_{1B}
43	A	220,5	27,0	8,2	0,32	0,20	0,52	0,30	0,63	0,57	1,65	1,51	0,30	0,21	1,49	0,56	0,68	0,38	4,94	2,74
44	A	220,5	27,0	8,2	0,30	0,33	1,46	0,13	1,10	0,09	4,85	0,40	0,36	033	0,81	0,25	0,91	0,42	1,68	0,77
45	A	220,5	27,0	8,2	0,34	0,32	1,19	0,13	0,93	0,11	3,46	0,41	0,36	022	1,02	0,23	0,62	0,22	2,79	1,01
46	A	220,5	27,0	8,2	0,33	031	1,50	0,17	0,94	0,12	4,53	0,55	0,30	0,25	0,79	0,30	0,84	0,38	2,61	1,20
47	A	220,5	27,0	8,2	0,33	0,30	1,50	0,12	0,91	0,08	4,53	0,40	0,30	0,15	0,79	0,29	0,83	0,36	2,61	1,15
48	A	220,5	27,0	8,2	0,33	0,30	1,50	0,12	0,92	0,08	4,53	0,41	0,30	0,22	0,79	0,28	0,74	0,36	2,61	1,27
49	A	220,5	27,0	8,2	0,33	0,30	1,50	0,16	0,92	0,10	4,53	0,52	0,30	0,29	0,79	0,27	0,95	0,34	2,61	0,94
50	A	220,5	27,0	8,2	0,33	0,32	1,50	0,17	0,96	0,11	4,53	0,64	0,30	0,32	0,79	0,39	1,08	0,50	2,61	1,21
51	A	220,5	27,0	8,2	0,33	0,28	1,50	0,14	0,85	0,10	4,53	0,51	0,30	0,22	0,79	0,27	0,73	0,34	2,61	1,23
52	A	220,5	27,0	8,2	0,33	0,29	1,50	0,16	0,86	0,10	4,53	0,55	0,30	0,23	0,79	0,36	0,78	0,46	2,61	1,55
53	A	220,5	27,0	8,2	0,33	030	1,50	0,18	0,91	0,12	4,53	0,61	0,30	0,26	0,79	036	0,86	0,45	2,61	1,38
54	A	220,5	27,0	8,2	0,33	0,30	1,50	0,13	0,92	0,09	4,53	0,44	0,30	0,25	0,79	0,26	0,82	0,33	2,61	1,05
55	A	220,5	27,0	8,2	0,33	0,30	1,50	0,19	0,89	0,13	4,53	0,65	0,30	0,21	0,79	0,46	0,71	0,59	2,61	2,17
56	A	220,5	27,0	8,2	0,33	0,29	1,50	0,11	0,87	0,08	4,53	0,40	0,30	0,25	0,79	0,19	0,83	0,24	2,61	0,75
57	A	220,5	27,0	8,2	0,33	0,29	1,50	0,13	0,88	0,08	4,53	0,43	0,30	0,22	0,79	0,22	0,74	0,28	2,61	0,99
58	A	220,5	27,0	8,2	0,33	0,28	1,50	0,13	0,86	0,09	4,53	0,45	0,30	0,22	0,79	0,24	0,73	0,31	2,61	1,12
59	A	220,5	27,0	8,2	0,33	0,28	1,50	0,13	0,84	0,09	4,53	0,47	0,30	0,21	0,79	0,23	0,68	0,30	2,61	1,14
60	A	220,5	27,0	8,2	0,33	0,30	1,50	0,12	0,90	0,08	4,53	0,41	0,30	0,26	0,79	0,36	0,86	0,21	2,61	0,64
61	A	220,5	27,0	8,2	0,33	0,28	1,50	0,14	0,83	0,09	4,53	0,50	0,30	0,23	0,79	0,29	0,75	0,36	2,61	1,27
62	A	220,5	27,0	8,2	0,33	0,30	1,50	0,13	0,89	0,09	4,53	0,43	0,30	0,24	0,79	0,18	0,79	0,23	2,61	0,75
63	A	220,5	27,0	8,2	0,33	0,31	1,50	0,16	0,93	0,10	4,53	0,50	0,30	0,32	0,79	0,33	1,06	0,42	2,61	1,03

Tabla 4

N.º	Aparato	Dureza [HV]		Relación de dureza H_1/H_2	Rugosidad media aritmética [µm]				Relación de rugosidad media aritmética				Altura de picos salientes [µm]				Relación de alturas de picos salientes			
					Miembro de eje		Miembro de rodamiento						Miembro de eje		Miembro de rodamiento					
		Miembro de eje H_1	Miembro de rodamiento H_2		Ra_{1A} antes de la prueba	Ra_{1B} después de la prueba	Ra_{2A} antes de la prueba	Ra_{2B} después de la prueba	Ra_{1B}/Ra_{1A}	Ra_{2B}/Ra_{2A}	Ra_{2A}/Ra_{1A}	Ra_{2B}/Ra_{1B}	Rpk_{1A} antes de la prueba	Rpk_{1B} después de la prueba	Rpk_{2A} antes de la prueba	Rpk_{2B} después de la prueba	Rpk_{1B}/Rpk_{1A}	Rpk_{2B}/Rpk_{2A}	Rpk_{2A}/Rpk_{1A}	Rpk_{2B}/Rpk_{1B}
64	A	220,5	27,0	8,2	0,33	0,33	1,50	0,16	0,99	0,11	4,53	0,49	0,30	0,43	0,79	0,35	1,43	0,44	2,61	0,81
65	A	220,5	27,0	8,2	0,07	0,07	1,58	0,19	1,01	0,12	22,61	2,65	0,10	0,09	1,15	0,24	0,90	0,21	11,84	2,70
66	A	220,5	27,0	8,2	0,07	0,08	1,58	0,24	1,11	0,15	22,61	3,12	0,10	0,07	1,15	054	0,72	0,47	11,84	7,64
67	A	220,5	27,0	8,2	0,07	0,08	1,58	0,23	1,12	0,15	22,61	2,95	0,10	0,11	1,15	0,45	1,16	0,40	11,84	4,01
68	A	220,5	27,0	8,2	0,07	0,09	1,58	0,22	1,23	0,14	22,61	2,60	0,10	0,13	1,15	0,41	1,38	0,36	11,84	3,08
69	A	220,5	27,0	8,2	0,07	0,08	1,58	0,22	1,18	0,14	22,61	2,61	0,10	0,11	1,15	0,39	1,16	0,34	11,84	3,47
70	A	220,5	27,0	8,2	0,07	0,08	1,58	0,26	1,09	0,16	22,61	3,35	0,10	0,11	1,15	0,31	1,17	0,27	11,84	2,71
71	A	220,5	27,0	8,2	0,07	0,08	1,58	0,27	1,16	0,17	22,61	3,25	0,10	0,09	1,15	0,35	0,95	0,31	11,84	3,82
72	A	220,5	27,0	8,2	0,07	0,08	1,58	0,23	1,08	0,15	22,61	3,06	0,10	0,07	1,15	0,42	0,75	0,36	11,84	5,70
73	A	220,5	27,0	8,2	0,07	0,07	1,58	0,23	0,99	0,14	22,61	3,27	0,10	0,08	1,15	0,49	0,84	0,42	11,84	5,99
74	A	220,5	27,0	8,2	0,07	0,07	1,58	0,21	1,05	0,13	22,61	2,86	0,10	0,08	1,15	0,27	0,80	0,23	11,84	3,46
75	A	220,5	27,0	8,2	0,07	0,08	1,58	0,23	1,11	0,14	22,61	2,88	0,10	0,08	1,15	0,44	0,77	0,38	11,84	5,84
76	A	220,5	27,0	8,2	0,07	0,09	1,58	0,23	1,23	0,15	22,61	2,71	0,10	0,10	1,15	0,37	1,05	0,32	11,84	3,60
77	A	220,5	27,0	8,2	0,07	0,07	1,58	0,22	1,02	0,14	22,61	3,01	0,10	0,09	1,15	0,35	0,92	0,30	11,84	3,88
78	A	220,5	27,0	8,2	0,07	0,07	1,58	0,18	1,04	0,12	2161	2,49	0,10	0,08	1,15	0,31	0,85	0,27	11,84	3,76
79	A	220,5	27,0	8,2	0,07	0,08	1,58	0,18	1,20	0,12	22,61	2,17	0,10	0,11	1,15	0,43	1,18	0,38	11,84	3,76
80	A	220,5	27,0	8,2	0,07	0,08	1,58	0,23	1,21	0,15	22,61	2,73	0,10	0,10	1,15	0,45	1,02	0,39	11,84	4,57
81	A	220,5	27,0	8,2	0,07	0,08	1,58	0,23	1,08	0,15	22,61	3,09	0,10	0,09	1-15	0,28	0,90	0,25	11,84	325.
82	A	220,5	27,0	8,2	0,07	0,08	1,58	0,29	1,09	0,18	22,61	3,79	0,10	0,08	1,15	0,51	0,86	0,44	11,84	6,11
83	A	220,5	27,0	8,2	0,07	0,08	1,58	0,25	1,11	0,16	22,61	3,24	0,10	0,09	1,15	0,22	0,90	0,19	11,84	2,55
84	A	220,5	27,0	8,2	0,07	0,08	1,58	0,22	1,15	0,14	22,61	2,78	0,10	0,10	1,15	0,58	1,06	0,50	11,84	5,64

Tabla 5

N.º	Aparato	Dureza [HV]		Relación de dureza H_1/H_2	Rugosidad media aritmética [µm]				Relación de rugosidad media aritmética				Altura de picos salientes [µm]				Relación de alturas de picos salientes			
					Miembro de eje		Miembro de rodamiento						Miembro de eje		Miembro de rodamiento					
		Miembro de eje H_1	Miembro de rodamiento H_2		Ra_{1A} antes de la prueba	Ra_{1B} después de la prueba	Ra_{2A} antes de la prueba	Ra_{2B} después de la prueba	Ra_{1B}/Ra_{1A}	Ra_{2B}/Ra_{2A}	Ra_{1A}/Ra_{2A}	Ra_{1B}/Ra_{2B}	Rpk_{1A} antes de la prueba	Rpk_{1B} después de la prueba	Rpk_{2A} antes de la prueba	Rpk_{2B} después de la prueba	Rpk_{1B}/Rpk_{1A}	Rpk_{2B}/Rpk_{2A}	Rpk_{1A}/Rpk_{2A}	Rpk_{2B}/Rpk_{1B}
85	A	220,5	39,7	5,6	0,33	0,33	0,58	0,24	1,02	0,41	1,77	0,72	0,33	0,28	1,24	0,98	0,87	0,79	3,78	3,45
86	A	220,5	39,7	5,6	0,33	0,33	0,58	0,24	1,02	0,41	1,77	0,72	0,33	0,28	1,24	0,98	0,87	0,79	3,78	3,45
87	A	220,5	39,7	5,6	0,33	0,33	0,58	0,24	1,02	0,41	1,77	0,72	0,33	0,28	1,24	0,98	0,87	0,79	3,78	3,45
88	A	220,5	39,7	5,6	0,07	0,07	0,83	0,50	1,11	0,60	12,43	6,68	0,10	0,12	1,55	1,41	1,23	0,91	16,28	12,12
89	A	220,5	39,7	5,6	0,06	0,06	0,57	0,25	0,95	0,44	8,99	4,13	0,07	0,06	0,98	0,35	0,79	0,36	13,47	6,09
90	A	220,5	39,7	5,6	0,06	0,06	0,57	0,25	0,95	0,44	8,99	4,13	0,07	0,06	0,98	0,35	0,79	0,36	13,47	6,09
91	A	220,5	39,7	5,6	0,06	0,06	0,57	0,25	0,95	0,44	8,99	4,13	0,07	0,06	0,98	0,35	0,79	0,36	13,47	6,09
92	A	220,5	39,7	5,6	0,31	0,29	0,74	1,02	0,94	1,38	2,42	3,56	0,28	0,32	1,66	2,73	1,14	1,64	5,97	8,58
93	A	220,5	39,7	5,6	0,31	0,30	0,74	0,59	0,98	0,79	2,42	1,95	0,28	0,32	1,66	2,02	1,16	1,21	5,97	6,26
94	A	220,5	39,7	5,6	0,31	0,29	0,74	0,27	0,94	0,36	2,42	0,93	0,28	0,30	1,66	0,18	1,07	0,11	5,97	0,60
95	A	220,5	39,7	5,6	0,31	0,29	0,74	0,25	0,95	0,34	2,42	0,85	0,28	0,27	1,66	0,18	0,98	0,11	5,97	0,66
96	A	220,5	39,7	5,6	0,31	0,29	0,74	0,21	0,94	0,29	2,42	0,75	0,28	0,29	1,66	0,22	1,04	0,13	5,97	0,74
97	A	220,5	39,7	5,6	0,31	0,28	0,74	027	0,93	0,37	2,42	0,96	0,28	0,26	1,66	0,29	0,92	0,17	5,97	1,12
98	A	220,5	39,7	5,6	0,31	0,29	0,74	0,33	0,95	0,45	2,42	1,14	0,28	0,24	1,66	0,61	0,85	0,36	5,97	156
99	A	220,5	39,7	5,6	0,31	0,29	0,74	0,22	0,93	0,30	2,42	0,78	0,28	0,27	1,66	0,18	0,97	0,11	5,97	0,67
100	A	220,5	39,7	5,6	0,06	0,06	0,54	0,41	0,94	0,77	8,41	6,87	0,08	0,07	1,13	0,66	0,94	0,59	15,08	9,41
101	A	220,5	39,7	5,6	0,06	0,06	0,54	0,37	0,88	0,68	8,41	6,49	0,08	0,07	1,13	0,48	0,91	0,42	15,08	7,02
102	A	220,5	39,7	5,6	0,06	0,06	0,54	0,41	0,98	0,77	8,41	6,55	0,08	0,08	1,13	0,76	1,01	0,67	15,08	9,99
103	A	220,5	39,7	5,6	0,06	0,07	0,54	0,27	1,04	0,5]	8,41	4,11	0,08	0,06	1,13	0,16	0,79	0,14	15,08	2,64
104	A	220,5	39,7	5,6	0,06	0,06	0,54	0,38	0,85	0,71	8,41	7,05	0,08	0,06	1,13	0,75	0,71	0,66	15,08	14,04
105	A	220,5	39,7	5,6	0,06	0,06	0,54	0,50	0,89	0,92	8,41	8,73	0,08	0,06	1,13	1,90	0,77	1,68	15,08	32,83
106	A	220,5	39,7	5,6	0,06	0,06	0,54	0,50	0,99	0,93	8,41	7,90	0,08	0,07	1,13	1,59	0,92	1,40	15,08	23,01

Agarrotamiento

En las condiciones de n.º 1 a n.º 106, no se observó transferencia del miembro de eje al miembro de rodamiento o del miembro de rodamiento al miembro de eje que afectara la medición de rugosidad superficial después de la prueba de deslizamiento. Es decir, después de la prueba de deslizamiento, la adherencia no se confirmó visualmente en la cara periférica externa del miembro de eje o la cara periférica interna del miembro de rodamiento.

Dureza

Con respecto a n.º 1 a n.º 106, la FIG. 5 muestra un gráfico en el que el eje horizontal representa la relación (H_1/H_2) entre la dureza H_1 del miembro de eje y la dureza H_2 del miembro de rodamiento, y el eje vertical representa las relaciones Ra_{1B}/ Ra_{1A} y Ra_{2B}/ Ra_{2A} de las rugosidades medias aritméticas. Además, la FIG. 6 muestra, con respecto a n.º 1 a n.º 12, n.º 27, n.º 28 y n.º 39 a n.º 106, un gráfico en el que el eje horizontal representa H_1/H_2 y el eje vertical representa una relación Rpk_{1B}/Rpk_{1A} de las alturas de picos salientes, y con respecto a n.º 1 a n.º 28 y n.º 39 a n.º 106, un gráfico en el que el eje horizontal representa H_1/H_2 y el eje vertical representa una relación Rpk_{2B}/Rpk_{2A} de las alturas de picos salientes. Se debe observar que los valores de H_1/H_2 de n.º 13 a n.º 19 en los ejes horizontales de las FIG. 5 y 6 son valores promedio de valores de H_1/H_2 de n.º 13 a n.º 19. Además, cada punto en las FIG. 5 y 6 representa un valor promedio, y una barra de error correspondiente representa un intervalo de error con respecto al valor promedio.

Como se muestra en las FIG. 5 y 6, la rugosidad media aritmética y la altura de picos salientes de la cara periférica externa del miembro de eje no cambian significativamente antes y después de la prueba de deslizamiento. Por otra parte, la rugosidad media aritmética Ra_2 de la cara periférica interna del miembro de rodamiento tiende a reducirse después de la prueba de deslizamiento ($Rpk_{2B}/Rpk_{2A} < 1$). Además, la altura de picos salientes del miembro de rodamiento tiende a reducirse después de la prueba de deslizamiento ($Rpk_{2B}/Rpk_{2A} < 1$) en un caso en el que la relación de dureza H_1/H_2 es mayor o igual que 4,1. Esto indica que al ajustar la relación de dureza H_1/H_2 para que sea mayor o igual que 4,1, la cara periférica interna del miembro de rodamiento se pule fácilmente debido al deslizamiento con el miembro de eje.

Relación de rugosidades medias aritméticas

Según las Tablas 1 a 4, en el caso en el que el metal blanco se use como el miembro de rodamiento, la rugosidad media aritmética Ra_{2A} de la cara periférica interna del miembro de rodamiento antes de la prueba de deslizamiento es mayor o igual que 0,34 µm y menor o igual que 1,85 µm, y la rugosidad media aritmética Ra_{2B} de la cara periférica interna del miembro de rodamiento después de la prueba de deslizamiento es mayor o igual que 0,08 µm y menor o igual que 1,24 µm. Por lo tanto, se considera que antes y después de la prueba de deslizamiento, la rugosidad media aritmética Ra_2 de la cara periférica interna del miembro de rodamiento entra dentro de un intervalo mayor o igual que 0,08 µm y menor o igual que 1,85 µm. Por otra parte, como se ha descrito anteriormente, en el caso en que la rugosidad superficial del miembro de eje se reduzca hasta cerca del límite, se considera que la rugosidad media aritmética Ra_1 de la cara periférica externa del miembro de eje se puede controlar para ser mayor o igual que 0,05 µm y menor o igual que 0,30 um. En vista de estas cuestiones, se considera que la relación (Ra_2/Ra_1) entre la rugosidad media aritmética Ra_2 de la cara periférica interna del miembro de rodamiento y la rugosidad media aritmética Ra_1 de la cara periférica externa del miembro de eje se pueden controlar para entrar dentro de un intervalo en el que el valor límite inferior es 0,27, obtenido dividiendo 0,08 por 0,30, y el valor límite superior es 37,0, obtenido dividiendo 1,85 por 0,05.

Según la Tabla 5, en el caso en el que la aleación de aluminio se use como el miembro de rodamiento, la rugosidad media aritmética Ra_{2A} de la cara periférica interna del miembro de rodamiento antes de la prueba de deslizamiento es mayor o igual que 0,54 µm y menor o igual que 0,83 µm, y la rugosidad media aritmética Ra_{2B} de la cara periférica interna del miembro de rodamiento después de la prueba de deslizamiento es mayor o igual que 0,21 µm y menor o igual que 1,02 µm. Por lo tanto, se considera que antes y después de la prueba de deslizamiento, la rugosidad media aritmética Ra_2 de la cara periférica interna del miembro de rodamiento entra dentro de un intervalo mayor o igual que 0,21 µm y menor o igual que 1,02 µm. Por otra parte, como se ha descrito anteriormente, en el caso en que la rugosidad superficial del miembro de eje se reduzca hasta casi el límite, se considera que la rugosidad media aritmética Ra_1 de la cara periférica externa del miembro de eje se puede controlar para ser mayor o igual que 0,05 µm y menor o igual que 0,30 µm. En vista de estas cuestiones, se considera que la relación (Ra_2/Ra_1) entre la rugosidad media aritmética Ra_2 de la cara periférica interna del miembro de rodamiento y la rugosidad media aritmética Ra_1 de la cara periférica externa del miembro de eje se puede controlar para entrar dentro de un intervalo en el que el valor límite inferior es 0,70, obtenido dividiendo 0,21 por 0,30, y el valor límite superior es 20,4, obtenido dividiendo 1,02 por 0,05.

Por consiguiente, se considera que la relación (Ra_2/Ra_1) entre la rugosidad media aritmética Ra_2 de la cara periférica interna del miembro de rodamiento y la rugosidad media aritmética Ra_1 de la cara periférica externa del miembro de eje se pueden controlar para entrar dentro del intervalo de mayor o igual que 0,27 y menor o igual que 37,0.

Relación de alturas de picos salientes

Según las Tablas 1 a 4, en el caso en el que el metal blanco se use como el miembro de rodamiento, la altura de picos

salientes Rpk_{2A} de la cara periférica interna del miembro de rodamiento antes de la prueba de deslizamiento es mayor o igual que 0,40 µm y menor o igual que 2,29 µm, y la altura de picos salientes Rpk_{2B} de la cara periférica interna del miembro de rodamiento después de la prueba de deslizamiento es mayor o igual que 0,11 µm y menor o igual que 0,99 µm. Por lo tanto, se considera que antes y después de la prueba de deslizamiento, la altura de picos salientes Rpk_2 de la cara periférica interna del miembro de rodamiento entra dentro de un intervalo de mayor o igual que 0,11 µm y menor o igual que 2,29 µm. Por otra parte, como se ha descrito anteriormente, en el caso en que la rugosidad superficial del miembro de eje se reduzca a casi el límite, se considera que la altura de picos salientes Rpk_1 de la cara periférica externa del miembro de eje se puede controlar para ser mayor o igual que 0,04 µm y menor o igual que 0,34 µm. En vista de estas cuestiones, se considera que la relación (Rpk_2/Rpk_1) entre la altura de picos salientes Rpk_2 de la cara periférica interna del miembro de rodamiento y la altura de picos salientes Rpk_1 de la cara periférica externa del miembro de eje se puede controlar para entrar dentro de un intervalo en el que el valor límite inferior es 0,32, obtenido dividiendo 0,11 por 0,34, y el límite superior valor es 57,3, obtenido dividiendo 2,29 por 0,04.

Según la Tabla 5, en el caso en el que la aleación de aluminio se use como el miembro de rodamiento, la altura de picos salientes Rpk_{2A} de la cara periférica interna del miembro de rodamiento antes de la prueba de deslizamiento es mayor o igual que 0,98 µm y menor o igual que 1,66 µm, y la altura de picos salientes Rpk_{2B} de la cara periférica interna del miembro de rodamiento después de la prueba de deslizamiento es mayor o igual que 0,16 µm y menor o igual que 2,73 µm. Por lo tanto, se considera que antes y después de la prueba de deslizamiento, la altura de picos salientes Rpk_2 de la cara periférica interna del miembro de rodamiento entra dentro de un intervalo mayor o igual que 0,16 µm y menor o igual que 2,73 mm. Por otra parte, como se ha descrito anteriormente, en el caso en el que la rugosidad superficial del miembro de eje se reduzca a casi el límite, se considera que la altura de picos salientes Rpk_1 de la cara periférica externa del miembro de eje se puede controlar para ser mayor o igual que 0,04 µm y menor o igual que 0,34 µm. En vista de estas cuestiones, se considera que la relación (Rpk_2/Rpk_1) entre la altura de picos salientes Rpk_2 de la cara periférica interna del miembro de rodamiento y la altura de picos salientes Rpk_1 de la cara periférica externa del miembro de eje se puede controlar para entrar dentro de un intervalo en el que el valor límite inferior es 0,47, obtenido dividiendo 0,16 por 0,34, y el valor límite superior es 68,3, obtenido dividiendo 2,73 por 0,04.

Por consiguiente, se considera que la relación (Rpk_2/Rpk_1) entre la altura de picos salientes Rpk_2 de la cara periférica interna del miembro de rodamiento y la altura de picos salientes Rpk_1 de la cara periférica externa del miembro de eje se puede controlar para entrar dentro de un intervalo mayor o igual que 0,32 y menor o igual que 68,3.

Estado de lubricación fluida

Con respecto a n.º 29 a n.º 38 y n.º 85 a n.º 91, se representaron valores para condiciones de carga respectivas, en donde el eje horizontal representa un número característico del rodamiento [m^{-1}] calculado a partir de la temperatura del aceite lubricante, y el eje vertical representa el coeficiente de fricción. Las FIG. 7 a 9 muestran los resultados. Se debe observar que el número característico del rodamiento es un valor calculado del siguiente modo: viscosidad η [Pa·s] × velocidad periférica u [m/s] / P(carga [N] × 10^{-6}). Además, la viscosidad η se calculó según la fórmula 8 usando una densidad ρ conocida del aceite lubricante a 15 °C.

Como se muestra en las FIG. 7 y 8, en n.º 31 y n.º 32, se observan puntos de inflexión en una región en la que el número característico del rodamiento es pequeño. En otras palabras, en n.º 31 y n.º 32, se considera que en un caso en el que el número característico del rodamiento es pequeño, ocurre la transición del estado de lubricación fluida a un estado de lubricación mixta. Por otra parte, se considera que n.º 29, n.º 30, y n.º 33 a n.º 38 están en el estado de lubricación fluida.

Como se muestra en la FIG. 9, se observa un punto de inflexión en n.º 85; por lo tanto, se considera que ha ocurrido la transición del estado de lubricación fluida al estado de lubricación mixta. Por otra parte, se considera que n.º 86 a n.º 91 están en el estado de lubricación fluida debido a que el coeficiente de fricción sigue a un bajo nivel independientemente del número característico del rodamiento.

Espesor de película de aceite

Con respecto a n.º 29 a n.º 38 y n.º 85 a n.º 91, el espesor de película de aceite h [µm] se calculó usando la fórmula anterior 1. Aquí, se determinó el coeficiente de viscosidad-presión α usando la fórmula anterior 12. Además, u se obtiene convirtiendo la frecuencia de rotación del miembro de eje en la unidad de m/s, y w se obtiene dividiendo la carga [N] aplicada al miembro de eje al presionar el miembro de rodamiento por la anchura de la cara periférica interna del miembro de rodamiento. La Tabla 6 muestra los resultados del cálculo. Se debe observar que cada espesor de película de aceite h mostrado en la Tabla 6 es un valor en un momento cuando el número característico del rodamiento está en un mínimo.

Espesor de película de aceite límite

Con respecto a n.º 29 a n.º 38 y n.º 85 a n.º 91, el espesor de película de aceite límite $h_{límA}$ [µm] antes de la prueba de deslizamiento y el espesor de película de aceite límite $h_{límB}$ [µm] después de la prueba de deslizamiento se calcularon

usando la fórmula anterior 2, en donde el parámetro de la película de aceite $\Lambda_{lím}$ se ajustó a 3. La Tabla 6 muestra los resultados del cálculo.

Viscosidad límite

Con respecto a n.º 29 a n.º 38 y n.º 85 a n.º 91, según la fórmula anterior 3, la viscosidad límite $\eta_{límA}$ antes de la prueba de deslizamiento se calculó usando el espesor de película de aceite límite $h_{límA}$, y la viscosidad límite $\eta_{límB}$ después de la prueba de deslizamiento se calculó usando el espesor de película de aceite límite $h_{límB}$. La Tabla 6 muestra los resultados del cálculo. Se debe observar que cada viscosidad límite mostrada en la Tabla 6 es un valor en el momento cuando el número característico del rodamiento está en un mínimo.

Relación entre viscosidad y viscosidad límite

Con respecto a n.º 29 a n.º 38 y n.º 85 a n.º 91, se determinó una relación entre la viscosidad η y la viscosidad límite. La Tabla 6 muestra los resultados. Se debe observar que la viscosidad η del aceite lubricante de n.º 29 a n.º 38 y n.º 85 a n.º 91 se determinó como un producto de una viscosidad cinemática conocida del aceite lubricante a 40 °C y una densidad conocida del mismo a 15 °C, con un estado en el que la temperatura del aceite lubricante es 40 °C como una referencia. Además, cada “relación entre viscosidad y viscosidad límite” mostrada en la Tabla 6 es un valor calculado con 4 cifras significativas.

Tabla 6

N.º	Rugosidad media aritmética [µm]				Espesor de película de aceite límite [µm]		Espesor límite [mPa·s]		Viscosidad [mPa·s]	Película de aceite		Relación entre viscosidad y viscosidad límite	
	Miembro de eje		Miembro de rodamiento										
	Ra_{1A} antes de la prueba	Ra_{1B} después de la prueba	Ra_{2A} antes de la prueba	Ra_{1B} después de la prueba	$h_{lim A}$ antes de la prueba	$h_{lim B}$ después de la prueba	$h_{lim A}$ antes de la prueba	$h_{lim B}$ después de la prueba	η	Espesor h [µm]	Estado de lubricación fluida	$\eta/\eta_{lim A}$ antes de la prueba	$\eta/\eta_{lim B}$ después de la prueba
N.º 29	0,30	0,27	0,34	0,18	1,36	0,32	92,6	12,5	90,1	1,83	Sí	0,97	7,19
N.º 30	0,30	0,27	0,34	0,18	1,36	0,32	24,3	3,3	90,1	3,77	Sí	3,70	27,34
N.º 31	0,43	0,25	0,34	0,57	1,64	1,16	288,1	179,1	28,0	0,34	No	0,10	0,16
N.º 32	0,43	0,25	0,34	0,57	1,64	1,16	146,2	90,9	28,0	0,55	No	0,19	0,31
N.º 33	0,43	0,25	0,34	0,57	1,64	1,16	36,7	22,8	28,0	1,46	Sí	0,76	1,22
N.º 34	0,08	0,10	0,34	0,27	1,05	0,25	65,8	9,2	90,1	1,63	Sí	1,37	9,81
N.º 35	0,08	0,10	0,34	0,27	1,05	0,25	17,4	2,4	90,1	3,37	Sí	5,19	37,20
N.º 36	0,07	0,10	0,34	0,29	1,04	0,28	148,1	24,8	28,0	0,42	Sí	0,19	1,13
N.º 37	0,07	0,10	0,34	0,29	1,04	0,28	74,9	12,5	28,0	0,65	Sí	0,37	2,23
N.º 38	0,07	0,10	0,34	0,29	1,04	0,28	19,5	3,3	28,0	1,51	Sí	1,43	8,57
N.º 85	0,33	0,33	0,58	0,24	2,00	0,51	1490,0	227,7	90,1	0,28	No	0,06	0,40
N.º 86	0,33	0,33	0,58	0,24	2,00	0,51	703,3	107,5	90,1	0,63	Sí	0,13	0,84
N.º 87	0,33	0,33	0,58	0,24	2,00	0,51	190,5	29,1	90,1	1,10	Sí	0,47	3,09
N.º 88	0,07	0,07	0,83	0,50	2,51	0,76	292,6	57,0	90,1	0,59	Sí	0,31	1,58
N.º 89	0,06	0,06	0,57	0,25	1,71	0,20	1132,7	68,0	90,1	0,37	Sí	0,08	1,55
N.º 90	0,06	0,06	0,57	0,25	1,71	0,20	575,5	29,5	90,1	0,57	Sí	0,16	3,06
N.º 91	0,06	0,06	0,57	0,25	1,71	0,20	172,0	8,8	90,1	0,82	Sí	0,52	10,23

Evaluación de viscosidad

Como se muestra en la Tabla 6, en el caso en el que el metal blanco se use como el miembro de rodamiento, n.º 29, n.º 30, n.º 33 a n.º 35, n.º 37 y n.º 38, en los que la relación (η/η_{limA}) entre la viscosidad η y la viscosidad límite η_{limA} antes la prueba de deslizamiento cumple $0{,}19 < \eta/\eta_{limA} < 5{,}20$, están en el estado de lubricación fluida. Por otra parte, n.º 31 y n.º 32, en los que se cumple $\eta/\eta_{limA} \leq 0{,}19$, no puede mantener el estado de lubricación fluida. En el caso en el que la aleación de aluminio se use como el miembro de rodamiento, n.º 86 a n.º 91, en los que la relación (η/η_{limA}) entre la viscosidad η y la viscosidad límite η_{limA} antes de la prueba de deslizamiento cumple $0{,}08 \leq \eta/\eta_{limA} < 5{,}20$, están en el estado de lubricación fluida. Por otra parte, n.º 85, en el que $\eta/\eta_{limA} < 0{,}08$ se cumple, no puede mantener el estado de lubricación fluida.

Aplicabilidad industrial

El dispositivo de rodamiento según un aspecto de la presente invención permite la inhibición de la resistencia a la fricción y el agarrotamiento entre el miembro de eje y el miembro de rodamiento, mientras que la mezcla de impurezas y un aumento en el coste son suprimidos, y así se puede aplicar a un dispositivo de rodamiento para un barco.

Explicación de los símbolos de referencia

1 Miembro de eje
11 Cara periférica externa
2 Miembro de rodamiento
21 Cara periférica interna
3 Aceite lubricante
31 Película de aceite
P Eje central
R_1 Radio de la cara periférica externa
R_2 Radio de la cara periférica interna

REIVINDICACIONES

1. Un dispositivo de rodamiento que comprende:

un miembro de eje que tiene un diámetro de eje mayor o igual que 180 mm,
un miembro de rodamiento que soporta de forma deslizable una cara periférica externa del miembro de eje; y
un aceite lubricante que se suministra a un hueco entre la cara periférica externa del miembro de eje y una cara periférica interna del miembro de rodamiento y forma una película de aceite en el hueco, en donde
el miembro de eje es un eje del cigüeñal, un eje intermedio o un eje de propulsión para un barco,
una rugosidad media aritmética Ra_1 de la cara periférica externa del miembro de eje es mayor o igual que 0,05 µm y menor o igual que 0,30 µm, y una altura de picos salientes Rpk_1 de la cara periférica externa es mayor o igual que 0,04 µm y menor o igual que 0,34 µm.

2. El dispositivo de rodamiento según la reivindicación 1, en donde en un caso en el que una dureza del miembro de eje se indica por H_1 [HV] y una dureza del miembro de rodamiento se indica por H_2 [HV], H_1/H_2 es mayor o igual que 4,1.

3. El dispositivo de rodamiento según la reivindicación 1 o 2, en donde en un caso en el que una rugosidad media aritmética de la cara periférica interna del miembro de rodamiento se indica por Ra_2 [µm] y una altura de picos salientes de la cara periférica interna del miembro de rodamiento se indica por Rpk_2 [µm], Ra_2/Ra_1 es mayor o igual que 0,26 y menor o igual que 38,0, y Rpk_2/Rpk_1 es mayor o igual que 0,32 y menor o igual que 69,0.

4. Un método para accionar un dispositivo de rodamiento que comprende:

un miembro de eje que tiene un diámetro de eje mayor o igual que 180 mm,
un miembro de rodamiento que soporta de forma deslizable una cara periférica externa del miembro de eje, y
un aceite lubricante que se suministra a un hueco entre la cara periférica externa del miembro de eje y una cara periférica interna del miembro de rodamiento y forma una película de aceite en el hueco,
comprendiendo el método:

accionar usando el dispositivo de rodamiento para girar el miembro de eje, en donde
el miembro de eje es un eje del cigüeñal, un eje intermedio o un eje de propulsión para un barco,
una rugosidad media aritmética Ra_1 de la cara periférica externa del miembro de eje es mayor o igual que 0,05 µm y menor o igual que 0,30 µm, y una altura de picos salientes Rpk_1 de la cara periférica externa es mayor o igual que 0,04 µm y menor o igual que 0,34 µm.

5. El método según la reivindicación 4, en donde un espesor de película de aceite h [µm] calculado según la fórmula 1 es mayor o igual que un espesor de película de aceite límite $h_{lím}$ [µm] calculado según la fórmula 2:

$$h = 1{,}95R\left(\frac{\alpha\eta u}{R}\right)^{0{,}73}\left(\frac{w}{ER}\right)^{-0{,}09} \quad \cdots 1$$

$$h_{lím} = \Lambda_{lím}\sqrt{Ra_1{}^2 + Ra_2{}^2} \quad \cdots 2$$

en donde, en la fórmula 1, R representa un radio equivalente [m] del miembro de eje y el miembro de rodamiento, α representa un coeficiente de viscosidad-presión [1/GPa] del aceite lubricante, η representa una viscosidad [Pa·s] del aceite lubricante, u representa una velocidad periférica [m/s] del miembro de eje, E representa un módulo elástico longitudinal equivalente [GPa] del miembro de eje y el miembro de rodamiento, y w representa una carga [N/m] por unidad longitud en una dirección axial del miembro de eje, siendo la carga aplicada al miembro de rodamiento, y en la fórmula 2, $\Lambda_{lím}$ representa un valor de un parámetro mínimo de la película de aceite al que la película de aceite mantiene un estado de lubricación fluida, y Ra_2 representa una rugosidad media aritmética [µm] de la cara periférica interna del miembro de rodamiento,
el parámetro mínimo de la película de aceite $\Lambda_{lím}$ es 3,
después un parámetro b se calcula según la fórmula 11 usando: un número característico de viscosidad-temperatura m calculado según la fórmula 10 mostrada en JIS-K2283 (2000) usando una viscosidad cinemática μ_1 conocida del aceite lubricante a una temperatura T_1 [K] y una viscosidad cinemática μ_2 conocida del aceite lubricante a una temperatura T_2 [K] ($T_1 < T_2$); y una viscosidad cinemática μ_3 conocida del aceite lubricante a una temperatura T_3 [K], el coeficiente de viscosidad-presión α se determina según la fórmula 12 usando una viscosidad cinemática $\mu(T)$ calculada según la fórmula 9 usando una temperatura T [K] del aceite lubricante,

$$m = \{\log\log(\mu_1 + 0{,}7) - \log\log(\mu_2 + 0{,}7)\} / (\log T_2 - \log T_1) \qquad 10$$

$$b = \log\log(\mu_3 + 0{,}7) + m\log T_3 \qquad 11$$

$$\mu(T) = 10^{10^{(-m\log T + b)}} - 0{,}7 \qquad \cdots 9$$

$$\alpha = m\{0{,}1657 + 0{,}2332\log\mu(T)\} \times 10 \qquad 12.$$

6. El método según la reivindicación 5, en donde la viscosidad η del aceite lubricante es mayor o igual que una viscosidad límite η_{lim} [Pa·s] del aceite lubricante, calculada según la fórmula 3:

$$\eta_{lím} = \frac{R}{\alpha u}\left(\frac{\Lambda_{lim}\sqrt{Ra_1^2 + Ra_2^2}}{1{,}95R}\right)^{\frac{1}{0{,}73}}\left(\frac{w}{ER}\right)^{\frac{0{,}09}{0{,}73}} \qquad \cdots 3$$

7. El método según la reivindicación 5, en donde la velocidad periférica u del miembro de eje es mayor o igual que una velocidad periférica límite u_{lim} [m/s] del miembro de eje, calculado según la fórmula 4:

$$u_{lim} = \frac{R}{\eta\alpha}\left(\frac{w}{ER}\right)^{\frac{0{,}09}{0{,}73}}\left(\frac{\Lambda_{lim}\sqrt{Ra_1^2 + Ra_2^2}}{1{,}95R}\right)^{\frac{1}{0{,}73}} \qquad \cdots 4$$

8. El método según la reivindicación 5, en donde el radio equivalente R del miembro de eje y el miembro de rodamiento es mayor o igual que un radio equivalente límite R_{lim} [m] del miembro de eje y el miembro de rodamiento, calculado según la fórmula 5:

$$R_{lím} = \left(\frac{1}{\eta\alpha u}\right)^{\frac{0{,}73}{0{,}36}}\left(\frac{w}{E}\right)^{\frac{0{,}09}{0{,}36}}\left(\frac{\Lambda_{lim}\sqrt{Ra_1^2 + Ra_2^2}}{1{,}95}\right)^{\frac{1}{0{,}36}} \qquad \cdots 5$$

9. El método según la reivindicación 4, en donde una viscosidad η del aceite lubricante cumple fórmula 6:

$$0{,}08 \times \eta_{lim} \leq \eta < 5{,}20 \times \eta_{lim} \qquad 6$$

en donde, en la fórmula 6, η_{lim} representa una viscosidad límite [Pa·s] del aceite lubricante, calculada según la fórmula 3, en un caso en el que un radio equivalente del miembro de eje y el miembro de rodamiento se indica por R [m], un coeficiente de viscosidad-presión del aceite lubricante se indica por α [1/GPa], la viscosidad del aceite lubricante se indica por η [Pa·s], una velocidad periférica del miembro de eje se indica por u [m/s], un módulo elástico longitudinal equivalente del miembro de eje y el miembro de rodamiento se indica por E [GPa], una carga por unidad de longitud en una dirección axial del miembro de eje, siendo la carga aplicada al miembro de rodamiento, se indica por w [N/m], un valor de un parámetro mínimo de la película de aceite al que la película de aceite mantiene un estado de lubricación fluida se indica por Λ_{lim} y una rugosidad media aritmética de la cara periférica interna del miembro de rodamiento se indica por Ra_2,

$$\eta_{lím} = \frac{R}{\alpha u}\left(\frac{\Lambda_{lim}\sqrt{Ra_1^2 + Ra_2^2}}{1{,}95R}\right)^{\frac{1}{0{,}73}}\left(\frac{w}{ER}\right)^{\frac{0{,}09}{0{,}73}} \qquad \cdots 3$$

el parámetro mínimo de la película de aceite Λ_{lim} es 3, después un parámetro b se calcula según la fórmula **11** usando: un número característico de viscosidad-temperatura m calculado según la fórmula **10** mostrada en JIS-K2283 (2000) usando una viscosidad cinemática μ_1 conocida del aceite lubricante a una temperatura T_1 [K] y una viscosidad cinemática μ_2 conocida del aceite lubricante a una temperatura T_2 [K] ($T_1 < T_2$); y una viscosidad cinemática μ_3 conocida del aceite lubricante a una temperatura T_3 [K], el coeficiente de viscosidad-presión α se determina según la fórmula **12** usando una viscosidad cinemática $\mu(T)$ calculada según la fórmula **9** usando una temperatura T [K] del aceite

lubricante,

$$m = \{\log\log(\mu_1 + 0{,}7) - \log\log(\mu_2 + 0{,}7)\} / (\log T_2 - \log T_1) \quad 10$$

$$b = \log\log(\mu_3 + 0{,}7) + m\log T_3 \quad 11$$

$$\mu(T) = 10^{10^{(-m\log T + b)}} - 0{,}7 \quad \cdots 9$$

$$\alpha = m\{0{,}1657 + 0{,}2332\log\mu(T)\} \times 10 \quad \mathbf{12}.$$

FIG. 1

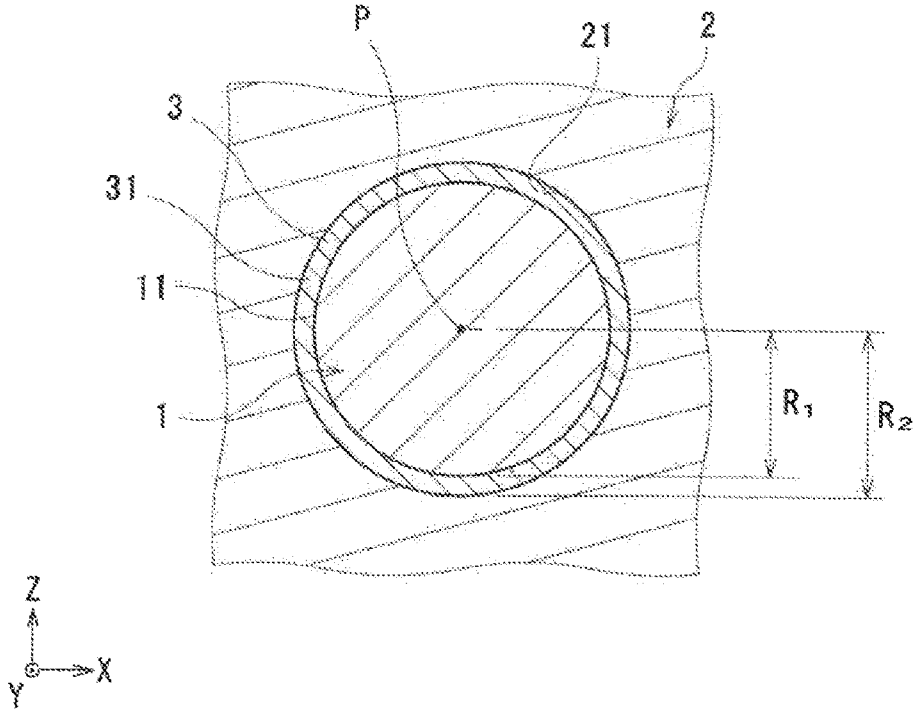


FIG. 2

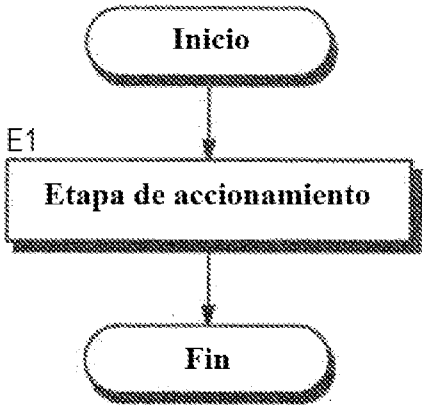


FIG. 3

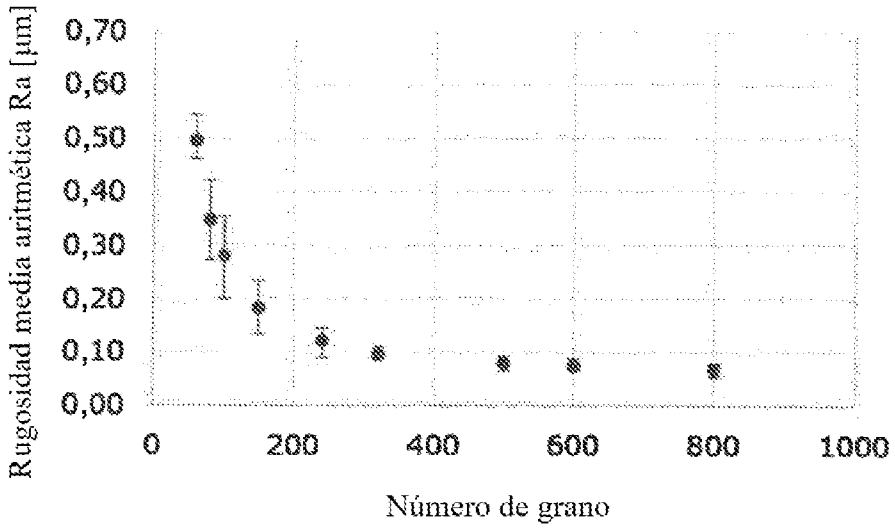

Rugosidad media aritmética Ra [µm]
0,70
0,60
0,50
0,40
0,30
0,20
0,10
0,00
0
200
400
600
800
1000
Número de grano

FIG. 4

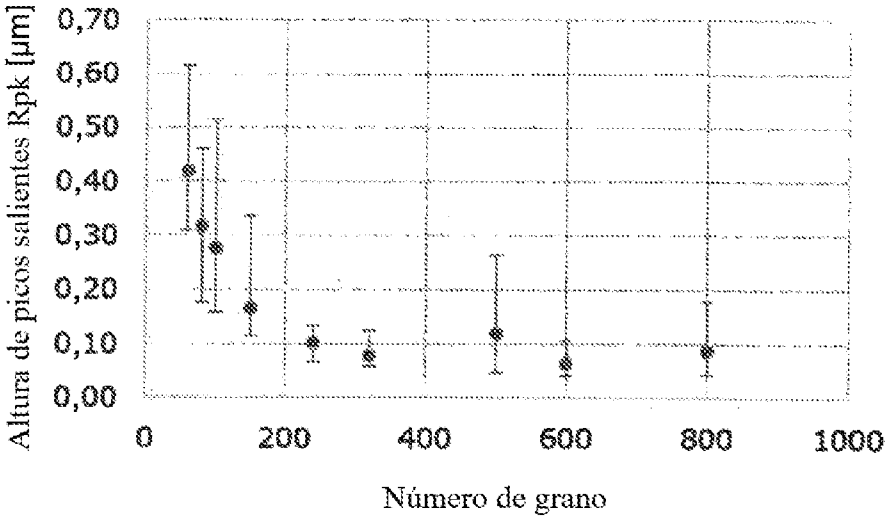

Altura de picos salientes Rpk [µm]
0,70
0,60
0,50
0,40
0,30
0,20
0,10
0,00
0
200
400
600
800
1000
Número de grano

FIG. 5

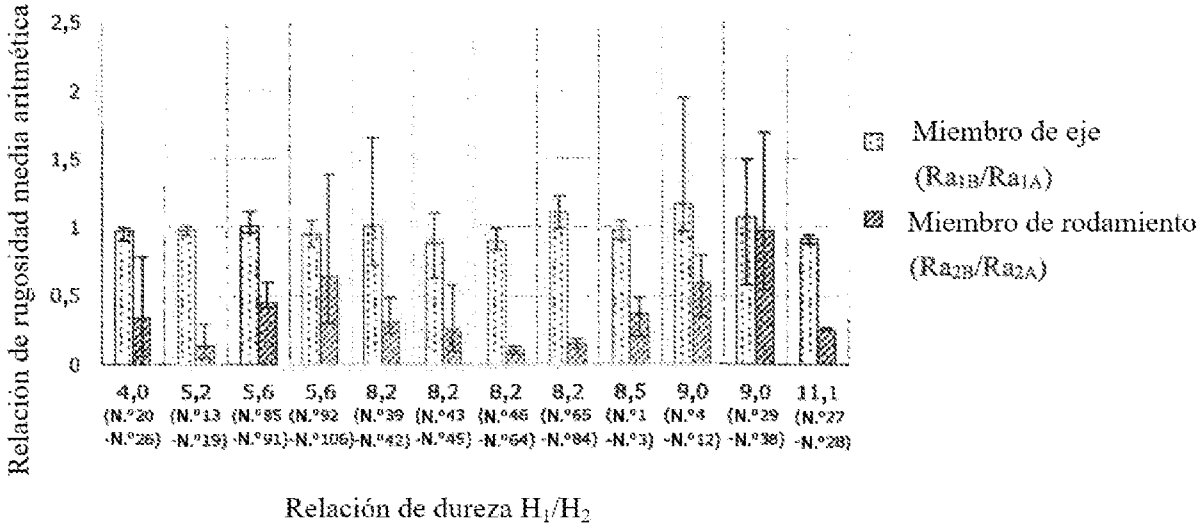

Relación de rugosidad media aritmética
2,5
2
1,5
1
0,5
0
4,0 (N.°20 -N.°26)
5,2 (N.°13 -N.°19)
5,6 (N.°85 -N.°91)
5,6 (N.°92 -N.°106)
8,2 (N.°39 -N.°42)
8,2 (N.°43 -N.°45)
8,2 (N.°46 -N.°64)
8,2 (N.°65 -N.°84)
8,5 (N.°1 -N.°3)
9,0 (N.°4 -N.°12)
9,0 (N.°29 -N.°38)
11,1 (N.°27 -N.°28)
Relación de dureza H1/H2
Miembro de eje (Ra1B/Ra1A)
Miembro de rodamiento (Ra2B/Ra2A)

FIG. 6

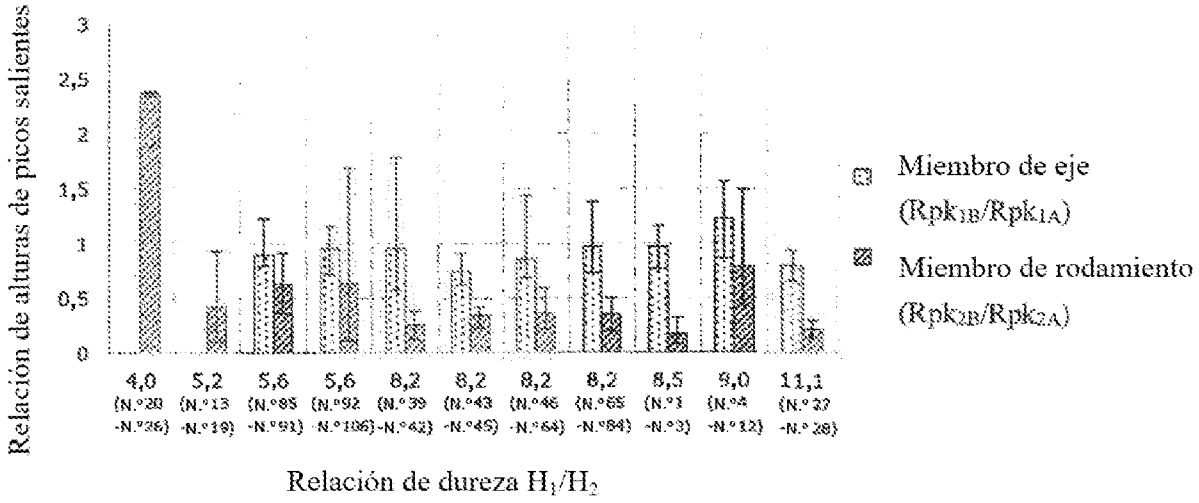

Relación de alturas de picos salientes
3
2,5
2
1,5
1
0,5
0
4,0 (N.°20 -N.°36)
5,2 (N.°13 -N.°19)
5,6 (N.°85 -N.°91)
5,6 (N.°92 -N.°106)
8,2 (N.°39 -N.°42)
8,2 (N.°43 -N.°45)
8,2 (N.°46 -N.°64)
8,2 (N.°65 -N.°84)
8,5 (N.°1 -N.°3)
9,0 (N.°4 -N.°12)
11,1 (N.°27 -N.°28)
Relación de dureza H1/H2
Miembro de eje (Rpk1B/Rpk1A)
Miembro de rodamiento (Rpk2B/Rpk2A)

FIG. 7

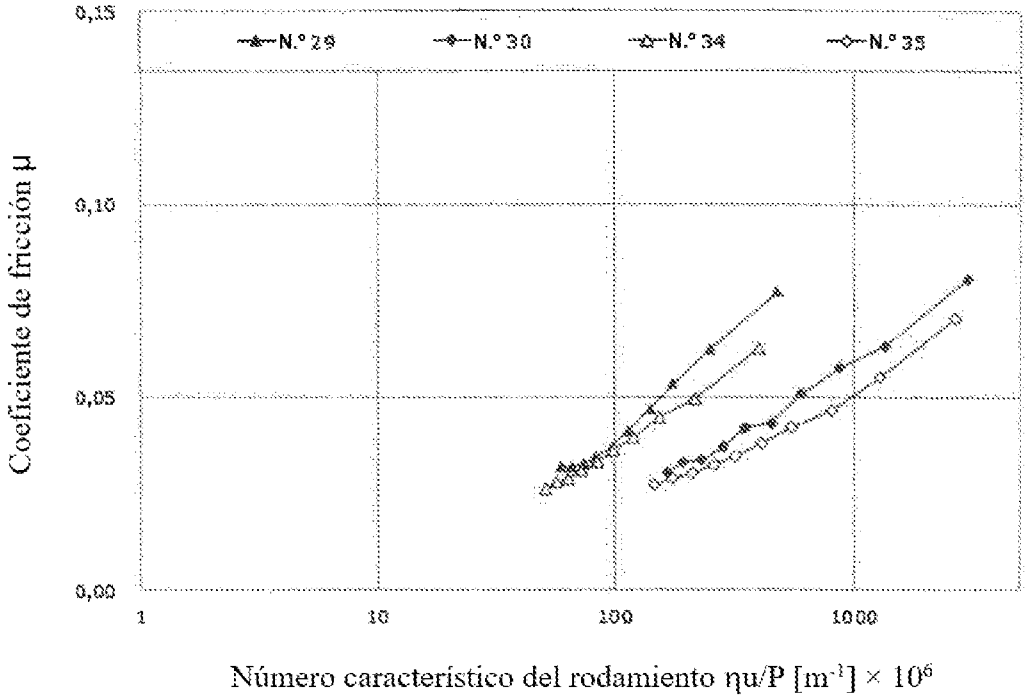

0,15
0,10
0,05
0,00
N.° 29
N.° 30
N.° 34
N.° 35
Coeficiente de fricción μ
1
10
100
1000
Número característico del rodamiento ηu/P [m⁻¹] × 10⁶

FIG. 8

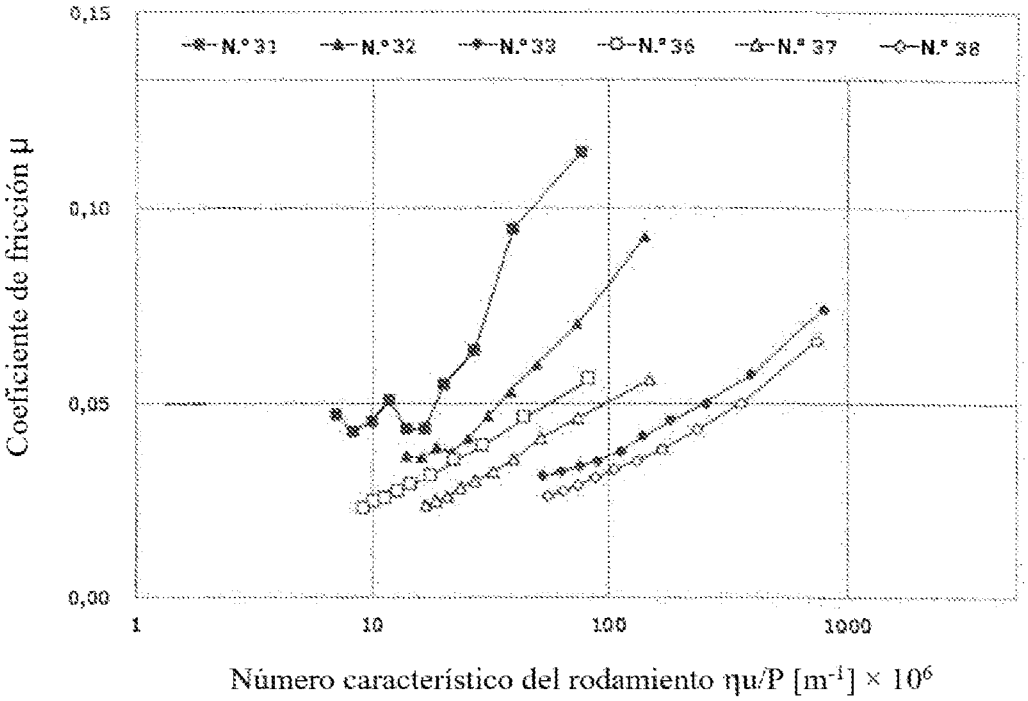
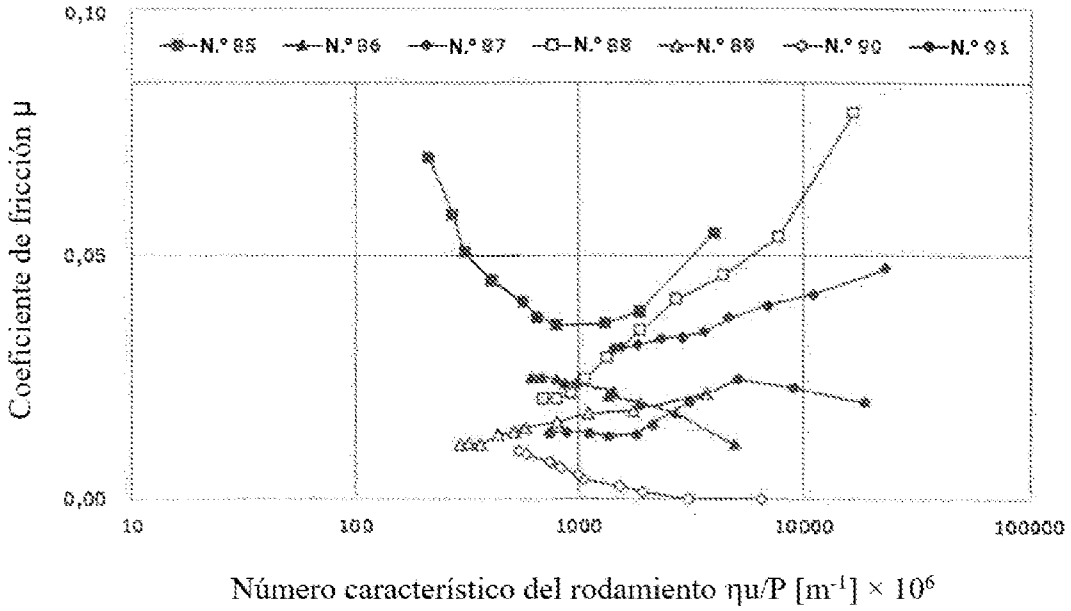

0,15
0,10
0,05
0,00
Coeficiente de fricción μ
N.° 31
N.° 32
N.° 33
N.° 36
N.° 37
N.° 38
1
10
100
1000
Número característico del rodamiento ηu/P [m-1] × 10^6

FIG. 9


0,10
0,05
0,00
N.° 85
N.° 86
N.° 87
N.° 88
N.° 89
N.° 90
N.° 91
10
100
1000
10000
100000
Coeficiente de fricción μ
Número característico del rodamiento ηu/P [m-1] × 10^6