

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 951 869**

51 Int. Cl.:

C22C 9/01 (2006.01)

C22C 9/02 (2006.01)

C22C 9/04 (2006.01)

C22C 9/05 (2006.01)

C22C 9/06 (2006.01)

C22C 30/02 (2006.01)

C22C 1/10 (2013.01)

C22C 32/00 (2006.01)

F16C 33/06 (2006.01)

F16C 33/12 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **06.05.2020 E 20173232 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **03.05.2023 EP 3736350**

54 Título: **Elemento de cojinete liso multicapa**

30 Prioridad:

07.05.2019 AT 504122019

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

25.10.2023

73 Titular/es:

**MIBA GLEITLAGER AUSTRIA GMBH (100.0%)
Dr. Mitterbauer-Strasse 3
4663 Laakirchen, AT**

72 Inventor/es:

**EBERHARD, ALEXANDER y
SCHINAGL, MATTHIAS**

74 Agente/Representante:

GONZÁLEZ PECES, Gustavo Adolfo

ES 2 951 869 T3

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

Elemento de cojinete liso multicapa

La invención se refiere a un elemento de cojinete de deslizamiento multicapa hecho de un material compuesto que comprende una capa metálica de soporte y una capa adicional, en particular una capa de deslizamiento, así como dado el caso una capa intermedia entre la capa metálica de soporte y la capa adicional, en donde la capa adicional está formada por una aleación fundida de una aleación a base de cobre sin plomo en la que están contenidos precipitados de sulfuro.

Los bronce al plomo se han usado desde hace mucho tiempo para la industria del motor en cojinetes lisos multicapa fabricados con un material compuesto que comprende una capa metálica de soporte y una capa deslizante, ya que presentan un buen comportamiento tribológico debido a los precipitados de plomo. Además, su producción de fundición es muy robusta desde el punto de vista de la ingeniería de procesos, ya que los fenómenos metalúrgicos de microaleación y la formación de rechupes asociada se evitan o compensan con el plomo. Sin embargo, por razones ecológicas, deben evitarse los bronce que contienen plomo. En el estado de la técnica ya existen varios enfoques de aleaciones de capas deslizantes. Por ejemplo, en el caso de las aleaciones de fundición a base de latón o de bronce, se intenta, con ayuda de aditivos de aleación, tales como el cromo, el manganeso, el circonio o el aluminio, mejorar las propiedades de fricción y, en particular, reducir la tendencia al agarrotamiento.

El uso de azufre en aleaciones de cobre ya se ha descrito en varias publicaciones, como por ejemplo los documentos WO 2010/137483 A1, US 2012082588 A1, US 2012/121455 A1, DE 20 2016 101 661 U1 o WO 2007/126006 A1. El azufre se usa principalmente para mejorar las propiedades de mecanizado de las aleaciones de latón rojo (matriz CuSnZn). Además, en estos escritos se señalan propiedades tribológicas mejoradas. Sin embargo, la propiedad fundamental de las aleaciones de latón rojo mencionadas, también en combinación con otros elementos de aleación, de tener un amplio intervalo de solidificación, perjudica su uso en varios aspectos. En particular, la calidad de la fundición es un problema. El intervalo de solidificación prolongado de, por ejemplo, aprox. 150 °C para la aleación CuSn7Zn2 provoca una porosidad de contracción pronunciada, que da lugar a defectos en el material, especialmente cuando se usa como aleación de colada. Con bajos contenidos de estaño, también aumenta la diferencia de densidad entre las fases líquida y sólida, lo que agrava el problema de la porosidad por contracción. Incluso cuando se usa como aleación de forja, la porosidad de la fundición sólo se puede cerrar parcialmente mediante altos grados de deformación. En ambos casos, cabe esperar mayores problemas de calidad, mayores esfuerzos en las pruebas y, en consecuencia, mayores tasas de rechazo. Los resultados de los procesos de revestimiento posteriores, que cada vez van adquiriendo mayor importancia, tales como la galvanoplastia o los revestimientos de polímeros, también se ven afectados. Los revestimientos de este tipo son cada vez más importantes, por ejemplo, cuando se usan como material de cojinetes lisos, especialmente cuando las aleaciones de cobre sin plomo van a sustituir a los bronce de plomo actuales con sus excelentes propiedades tribológicas.

Además, en el caso del uso preferente como aleación de forja debido a la porosidad que se produce, estas aleaciones suelen recrystalizarse recocidas después de la etapa de deformación con el fin de reducir las tensiones internas y las altas durezas del material resultantes o para aumentar de nuevo la baja conformabilidad residual después de la deformación. Se sabe que la mayoría de los elementos de aleación que mejoran la resistencia o los elementos que mejoran la resistencia a la corrosión tienen el inconveniente de elevar la temperatura de recrystalización. La adición de azufre indicada para las propiedades deseadas de la aleación según la invención tiene un efecto comparable. A las elevadas temperaturas de recocido necesarias, las aleaciones de cobre tienden a engrosar el grano, lo que debilita el material de la matriz, especialmente en combinación con tiempos de tratamiento prolongados. Especialmente en el caso de los materiales caracterizados por un elevado endurecimiento por deformación, esto conduce al problema de que o bien se produce un engrosamiento del grano o bien la recrystalización es insuficiente y quedan dendritas residuales, que tienen efectos negativos sobre las propiedades mecánicas de los materiales similares a los de una microestructura excesivamente gruesa. Además, a temperaturas de recocido elevadas, la resistencia de la capa de soporte de acero desciende a valores del estado de recocido normal.

El documento 2019/144173 A1 describe un elemento de cojinete de deslizamiento multicapa hecho de un material compuesto que comprende una capa metálica de soporte y una capa adicional, en particular una capa de deslizamiento, y dado el caso una capa intermedia entre la capa metálica de soporte y la capa adicional, estando formada la capa adicional de una aleación fundida de una aleación a base de cobre sin plomo en la que están contenidos precipitados de sulfuro. La aleación a base de cobre contiene entre el 0,1 % en peso y el 12 % en peso de estaño, entre el 0,1 % en peso y el 10 % en peso de zinc, entre el 0,001 % en peso y el 1,5 % en peso de azufre, entre el 0,001 % en peso y el 1,5 % en peso de boro, entre el 0,001 % en peso y el 0,3 % en peso de fósforo, entre el 0 % en peso y el 3,5 % en peso de hierro, entre el 0 % en peso y el 3,5 % en peso de silicio, entre el 0 % en peso y el 2 % en peso de calcio, entre el 0 % en peso y el 2 % en peso de circonio, entre el 0 % en peso y el 2 % en peso de telurio, entre el 0 % en peso y el 2 % en peso de manganeso, así como al menos un elemento de un primer grupo compuesto por antimonio, bismuto, aluminio, cobalto, titanio, níquel, magnesio, plata, cromo, vanadio, molibdeno, carbono, wolframio en una proporción en cada caso comprendida entre el 0 % en peso y el 2 % en peso, en donde la proporción de la suma de los elementos del primer grupo asciende como máximo al 5 % en peso, y el resto cobre, así como

impurezas procedentes de la producción del elemento, en donde la suma de las proporciones de estaño y zinc en la aleación a base de cobre asciende como mínimo al 1,5 % en peso.

Es objetivo de la invención proporcionar un elemento de cojinete liso que tenga como capa adicional una aleación fundida a base de cobre que no contenga plomo ni azufre, en la que se reduzcan los efectos negativos parciales del azufre sobre la aleación.

El objetivo de la invención se consigue en el caso del elemento de cojinete liso multicapa mencionado anteriormente porque la aleación a base de cobre contiene entre el 0,1 % en peso y el 3 % en peso de azufre, entre el 0,01 % en peso y el 4 % en peso de hierro, entre el 0 % en peso, en particular el 0,001 % en peso, y el 2 % en peso de fósforo, al menos un elemento de un primer grupo que consiste en zinc, estaño, aluminio, manganeso, níquel, silicio, cromo e indio de en total entre el 0,1 % en peso y el 49 % en peso, siendo la proporción de zinc entre el 0 % y el 45 % en peso, siendo la proporción de estaño entre el 0 % y el 40 % en peso, siendo la proporción de aluminio entre 0 % y 15 % en peso, siendo la proporción de manganeso entre el 0 % y el 10 % en peso, la proporción de níquel entre el 0 % y el 10 % en peso, siendo la proporción de silicio entre el 0,01 % y el 7 % en peso, el contenido de cromo entre el 0 % y el 2 % en peso, y la proporción de indio entre el 0 % y el 10 % en peso, y al menos un elemento de un segundo grupo compuesto por plata, magnesio, cobalto, titanio, circonio, arsénico, litio, itrio, calcio, vanadio, molibdeno, wolframio, antimonio, selenio, telurio, bismuto, niobio, paladio en una proporción en cada caso comprendida entre el 0 % en peso y el 1,5 % en peso, estando la proporción total de los elementos del segundo grupo comprendida entre el 0 % y el 2 % en peso, y siendo el resto hasta el 100 % en peso cobre e impurezas resultantes de la producción de los elementos.

Es ventajoso que las aleaciones de baja aleación a base de cobre formadas se caractericen por una buena colabilidad debido a la adición de azufre. Las aleaciones que normalmente sólo son adecuadas hasta cierto punto se pueden usar en cojinetes lisos. Además, los sulfuros de cobre formados con el azufre actúan como núcleos de cristalización durante la solidificación y, por lo tanto, tienen un efecto reductor del grano. También es posible usar estos materiales sin un revestimiento adicional. Además, se puede mejorar la maquinabilidad porque los sulfuros actúan como rompevirutas. Esta maquinabilidad mejorada se traduce en una mejor calidad superficial con valores de rugosidad e imperfecciones más bajos. Como resultado, se puede influir positivamente en la calidad de diversos revestimientos, tales como los galvánicos, los de PVD o los poliméricos. En otras palabras, puede mejorar la capacidad de recubrimiento de la aleación a base de cobre.

La aleación a base de cobre comprende una combinación de azufre y pequeñas cantidades de hierro y fósforo. El fósforo se usa principalmente como agente desoxidante, como en la fundición metalúrgica de materiales de cobre. Con un exceso de fósforo en la aleación a base de cobre, en combinación con la adición de hierro, se puede conseguir un efecto de refinado del grano. De este modo, puede conseguirse una distribución uniforme y fina de las fases intermetálicas (predominantemente fases de sulfuro) con el cobre y los demás elementos de aleación. Debido a la combinación de hierro y fósforo, ya pueden formarse fosfuros de hierro en la masa fundida. De este modo, no sólo se puede ligar parte del fósforo perjudicial para la unión a un cuerpo base de acero, sino que con estas fases intermetálicas se puede reducir la tendencia al engrosamiento del grano durante los procesos de recocido recrystalizante, con lo que se pueden mejorar las propiedades mecánicas de la aleación a base de cobre. Además, la heterogeneidad de las aleaciones con base de cobre descritas puede incrementarse con estas fases de fosfuro de hierro debido a su elevada dureza, lo que a su vez puede influir positivamente en las propiedades tribológicas.

Las fases intermetálicas FeS formadas junto a los sulfuros de cobre pueden reducir la tendencia al agarrotamiento de las aleaciones de cobre sin plomo para cojinetes. El efecto tribológico de la aleación a base de cobre que puede conseguirse de este modo se observa en la combinación de sulfuros de cobre (predominantemente Cu_2S) y sulfuros de hierro (FeS).

Mediante la adición de azufre a la aleación a base de cobre, puede aumentarse la temperatura de recrystalización del cobre, puede reducirse la susceptibilidad del cobre a la denominada enfermedad del hidrógeno, puede mejorarse la mecanizabilidad mecánica mediante la mejora de la rotura de virutas con la formación de virutas de rotura corta, el efecto inhibitor del desgaste en las herramientas de mecanizado y, por lo tanto, su mayor vida útil y la calidad superficial resultante.

La adición de hierro puede mejorar la distribución de los precipitados de azufre mediante un efecto de refinado del grano. Mediante la distribución fina y la formación de sulfuros de hierro se pueden aumentar las propiedades tribológicas. Una adición de hierro superior al 5 % en peso provoca un fuerte aumento de la dureza, así como un deterioro de la conformabilidad, además del aumento de la temperatura de liquidus. Junto con una adición de pequeñas cantidades de fósforo, se forma fosfuro de hierro (Fe_2P) directamente en la masa fundida, lo que es deseable en este caso, a diferencia de lo que ocurre en la zona de unión al acero. Por un lado, la fase mencionada puede limitar el crecimiento del grano durante los tratamientos de recocido sin influir negativamente en la capacidad de recrystalización per se, lo que sobre todo simplifica considerablemente el control del proceso durante este tratamiento térmico, por otro lado, la incorporación del fosfuro de hierro en la matriz de cobre influye favorablemente en la resistencia al desgaste de estas aleaciones.

- El litio se puede usar como agente desoxidante y para eliminar el hidrógeno en las aleaciones de cobre debido a su afinidad por el oxígeno y el hidrógeno. Por lo tanto, el litio puede sustituir la cantidad de fósforo, al menos en gran medida, lo cual significa que se pueden evitar los problemas antes mencionados en los procesos de fundición compuestos, que, por ejemplo, combinan aleaciones de cojinetes con un cuerpo base de acero, debido al contenido excesivo de fósforo y la fase frágil resultante. La citada fase quebradiza se forma precisamente en la zona de unión del material adherido y, dependiendo del grado, merma la resistencia adhesiva hasta desprenderse por completo. El litio como agente desoxidante no forma fases intermetálicas con el hierro del cuerpo base del acero, ni siquiera con adiciones más elevadas. Mediante el uso de litio, la adición de fósforo puede reducirse al mínimo o incluso omitirse por completo, lo que también elimina la formación de fases quebradizas, o se pueden ajustar específicamente pequeños contenidos de fósforo. El litio gastado puede formar una escoria líquida de baja densidad y, por lo tanto, flotar. De este modo, la masa fundida puede protegerse frente a la entrada de oxígeno y a la quemadura resultante de los elementos de aleación.
- Cabe señalar en este punto que las cantidades de litio consumidas para la desoxidación de la masa fundida dependen naturalmente de la proporción de oxígeno en la masa fundida. Por lo tanto, la persona experta también puede añadir un exceso correspondiente de litio si es necesario para adaptarse al contenido real de oxígeno.
- En el caso de producir una composición correspondiente a una aleación de latón rojo que contenga azufre, se puede usar litio como refinador de grano en lugar de circonio o calcio (ambos presentan un efecto desulfurante). El circonio también actúa como refinador de granos, pero reacciona con el azufre, reduciendo su efecto.
- La adición de itrio puede mejorar la resistencia a la corrosión de las aleaciones sin plomo a base de cobre. Cantidades en torno al 0,1 % en peso reducen el aumento de peso debido a la oxidación en casi un 50 %. Una tendencia reducida a la oxidación puede estabilizar la unión de los recubrimientos poliméricos al material del cojinete durante el funcionamiento de un cojinete liso y, por tanto, aumentar la seguridad operativa.
- Se pueden añadir selenio y/o telurio para aumentar las fases tribológicamente eficaces.
- El indio tiene una alta solubilidad en el cobre (>10 % en peso). Forma fases intermetálicas y se puede usar para el endurecimiento por precipitación. La ventaja del indio es que, tras el enfriamiento, el material del cojinete tiene una conformabilidad mejorada hasta que la aleación a base de cobre alcanza su dureza final mediante efectos de envejecimiento a largo plazo a temperatura elevada (por ejemplo, durante el funcionamiento del cojinete liso).
- Debido al bajo contenido de estaño preferente, puede evitarse un elevado aumento de la dureza de la aleación a base de cobre. En el intervalo de cantidades especificado, es más fácil influir en la distribución de los sulfuros en la aleación; a medida que disminuye el contenido de estaño, la estructura granular de la microestructura pasa a un segundo plano y se forma una aleación cuyos granos surgen con estructuras grandes.
- Debido al contenido de zinc, se puede conseguir una forma esférica mejor definida de los sulfuros precipitados.
- El silicio en la proporción especificada puede ser ventajoso con respecto a la colabilidad de la aleación y a la desoxidación.
- Los aditivos de aluminio en las aleaciones a base de cobre reducen su tendencia a la corrosión a altas temperaturas. En la fracción de volumen dispensada, se evita con un alto grado de certeza la formación de solución β -sólida.
- Mediante el manganeso se puede aumentar la resistencia al calor. Además, con las aleaciones que contienen manganeso se puede conseguirse una mejor cicatrización de las capas de protección contra la corrosión.
- El níquel forma sulfuros de níquel con el azufre, lo que puede aumentar el índice de fase general. Además, el níquel se puede usar para mejorar la estabilidad frente a la corrosión de la aleación a base de cobre. El módulo de elasticidad de una aleación Cu-Ni aumenta linealmente con la adición de níquel.
- El cromo se puede usar para mejorar la temperatura de recristalización y la resistencia a altas temperaturas de la aleación a base de cobre.
- Según una variante de realización preferente del elemento de cojinete liso multicapa, puede estar previsto que la aleación a base de cobre de la capa adicional contenga zinc o estaño. Al evitar la combinación de ambos elementos en la aleación a base de cobre, se puede conseguir una mejora significativa de las propiedades de fundición de la aleación gracias a la reducción del intervalo de solidificación de la aleación a base de cobre que se puede conseguir de este modo.
- Para mejorar aún más las propiedades antes mencionadas de la aleación a base de cobre, se puede prever al menos una de las siguientes variantes de realización de la invención:

- la proporción de la suma de los elementos del primer grupo consistente en cinc, estaño, aluminio, manganeso, níquel, silicio, cromo está comprendida entre el 0,5 % y el 15 % en peso, y/o
 - la aleación a base de cobre de la capa adicional contiene entre el 0,01 % y el 5 % en peso de zinc, y/o
 - la aleación a base de cobre de la capa adicional contiene entre el 0,01 % en peso y el 10 % en peso de estaño, y/o
 - la aleación de base cobre de la capa adicional contiene entre el 0,01 % en peso y el 7,5 % en peso de aluminio, y/o
 - la aleación de base cobre de la capa adicional contiene entre el 0,01 % en peso y el 5 % en peso de manganeso, y/o
 - la aleación de base cobre de la capa adicional contiene entre el 0,01 % y el 5 % en peso, en particular entre el 0,01 % y el 2 % en peso, de níquel, y/o
 - la aleación a base de cobre de la capa adicional contiene entre el 0,01 % en peso y el 3 % en peso de silicio, y/o
 - la aleación a base de cobre de la capa adicional contiene entre el 0,01 % y el 1,5 % en peso, en particular entre el 0,01 % y el 1 % en peso, de cromo, y/o
 - la aleación a base de cobre de la capa adicional contiene entre el 0,3 % y el 0,8 % en peso de azufre, y/o
 - la aleación a base de cobre de la capa adicional contiene entre el 0,01 % y el 0,1 % en peso de fósforo, y/o
 - la aleación a base de cobre de la capa adicional contiene entre el 0,3 % en peso y el 1,5 % en peso de hierro.
- Según otra variante de realización puede estar previsto que los precipitados sulfídicos estén distribuidos homogéneamente en toda la capa adicional, de tal modo que ésta presente prácticamente las mismas propiedades en toda la sección transversal.
- Sin embargo, según otra variante de realización del elemento de cojinete liso multicapa, también puede estar previsto que los precipitados sulfídicos sólo se formen dentro de una capa parcial de la aleación a base de cobre de la capa adicional. De este modo, se puede dotar a la propia capa adicional de una gama más amplia de propiedades para que, en caso necesario, el elemento de cojinete liso multicapa pueda construirse de forma más sencilla reduciendo el número de capas.
- Según una variante de realización, puede estar previsto que la capa parcial tenga un espesor de capa comprendido entre el 5 % y el 85 % del espesor de capa total de la capa adicional. Si la proporción de la capa parcial en el grosor de la capa es inferior al 5 % del grosor total de la capa, la capa adicional ya no puede cumplir en la medida deseada su función como capa adicional del elemento de cojinete de deslizamiento multicapa, en particular como capa deslizante. Sin embargo, puede seguir teniendo las propiedades de una capa de rodaje. Por otra parte, con un grosor de capa superior al 85 % del grosor total de la capa, el esfuerzo necesario para formar las capas parciales es superior a la ganancia que puede obtenerse reduciendo el número de capas individuales.
- El azufre añadido reacciona con otros componentes de la aleación a base de cobre para formar sulfuros. Según otra realización de la invención, al menos el 50 % del área de los precipitados sulfídicos puede consistir en una mezcla de sulfuros de cobre y sulfuros de hierro. De esta manera se puede mejorar el comportamiento autolubrificante de la aleación con base de cobre.
- Para mejorar aún más este efecto, según otra variante de realización del elemento de cojinete liso multicapa, puede estar previsto que la proporción de sulfuros de cobre en la mezcla de sulfuros de cobre y sulfuros de hierro sea al menos del 60 % por área.
- Para una mejor comprensión de la invención, ésta se explica más detalladamente con referencia a las figuras siguientes.
- En cada una de ellas se muestra, en una representación esquemática simplificada:
- Fig. 1 vista lateral de un elemento de cojinete liso multicapa;
- Fig. 2 una sección de la capa de deslizamiento de una variante de realización del elemento de cojinete de deslizamiento multicapa en vista lateral;
- Fig. 3 una sección de la capa deslizante de otra variante de realización del elemento de cojinete liso multicapa en vista lateral;
- Fig. 4 una sección de la capa de deslizamiento de otra variante de realización del elemento de cojinete liso multicapa en vista lateral;
- Fig. 5 una sección de la capa de deslizamiento de una variante de realización del elemento de cojinete de deslizamiento multicapa en vista lateral.

- A modo de introducción, cabe señalar que en las diversas formas de realización descritas, las mismas partes o piezas se dotan de los mismos símbolos de referencia o las mismas designaciones de componentes, por lo que las divulgaciones contenidas en toda la descripción se pueden aplicar mutatis mutandis a las mismas partes o piezas con los mismos signos de referencia o las mismas designaciones de componentes. Asimismo, las indicaciones de posición elegidas en la descripción, por ejemplo, superior, inferior, lateral, etc., se refieren a la figura directamente descrita y representada y, en caso de cambio de posición, estas indicaciones de posición deben transferirse mutatis mutandis a la nueva posición.
- En la fig. 1 se muestra en una vista lateral de un elemento de cojinete liso multicapa 1, en particular un elemento de cojinete liso radial, hecho de un material compuesto.
- El elemento de cojinete liso multicapa 1 está destinado en particular a su uso en un motor de combustión interna o para soportar un eje. Sin embargo, también se puede usar para otras aplicaciones, como por ejemplo en turbinas eólicas, especialmente en cajas de engranajes de turbinas eólicas, por ejemplo sobre o como revestimiento de un bulón de engranaje planetario en la zona del cojinete de un engranaje planetario, como revestimiento interior de una rueda dentada (también para el cojinete de la rueda dentada), como cojinete liso industrial en compresores, turbinas de vapor y de gas, o como parte de un cojinete liso para un vehículo ferroviario, etc.
- El elemento de cojinete liso multicapa 1 tiene un cuerpo de elemento de cojinete liso 2. El cuerpo del elemento de cojinete liso 2 comprende una capa metálica de soporte 3 y una capa adicional 4 dispuesta sobre ella o está formado por la capa metálica de soporte 3 y la capa adicional 4 unida a ella.
- Tal como se indica mediante líneas discontinuas en la Fig. 1, el cuerpo del elemento de cojinete deslizante 2 también puede comprender una o más capa(s) adicional(es), por ejemplo una capa metálica de cojinete 5 dispuesta entre la capa adicional 4 y la capa metálica de soporte 3, y/o una capa de rodaje 6 sobre la capa adicional 4. Entre al menos dos de las capas del elemento de cojinete liso multicapa 1 también puede disponerse al menos una capa de barrera de difusión y/o al menos una capa de adherencia.
- Dado que la estructura básica de los elementos de cojinete liso multicapa 1 de este tipo es conocida en el estado de la técnica, se hace referencia a la bibliografía pertinente para obtener detalles de la estructura de capas.
- Asimismo, los materiales usados, de los que pueden constar la capa metálica de soporte 3, la capa metálica de apoyo 5, la capa de rodaje 6, la al menos una capa de barrera de difusión y la al menos una capa de unión, son conocidos en el estado de la técnica, por lo que se hace referencia a la bibliografía pertinente con respecto a los mismos. A modo de ejemplo, la capa metálica de soporte 3 puede ser de acero, la capa metálica de apoyo 5 puede ser de una aleación de cobre con un 5 % en peso de estaño y el resto de cobre, la capa de rodaje puede ser de estaño, de plomo o de bismuto o de un polímero sintético que contenga al menos un aditivo o de un revestimiento PVD, y la capa de barrera de difusión puede ser de cobre o de níquel, por ejemplo.
- El elemento de cojinete liso de varias capas con forma de media concha 1 forma un cojinete liso 8 junto con al menos otro elemento de cojinete liso 7 - dependiendo del diseño, también puede haber más de un elemento de cojinete liso 7 adicional. Preferentemente, el elemento de cojinete liso inferior en el estado instalado está formado por el elemento de cojinete liso multicapa 1 según la invención. Sin embargo, también es posible que al menos uno de los al menos otro elemento de cojinete liso 7 esté formado por el elemento de cojinete liso multicapa 1 o que todo el cojinete liso 8 esté formado por al menos dos elementos de cojinete liso multicapa 1 según la invención.
- También es posible que el elemento de cojinete liso 1 esté realizado como un casquillo de cojinete liso, tal como se indica mediante las líneas discontinuas en la Fig. 1. En este caso, el elemento de cojinete liso multicapa 1 es también el cojinete liso 8.
- Es posible además que la capa adicional 4 forme un revestimiento directo, por ejemplo un revestimiento radialmente interior de un ojo de biela, en cuyo caso el componente que hay que revestir, por ejemplo la biela, forma la capa metálica de soporte 3.
- Además, el elemento de cojinete liso multicapa 1 o el cojinete liso 8 también pueden estar realizados en forma de una arandela de entrada, un cojinete de collarín, etc.
- La capa adicional 4 está realizada en particular como una capa deslizante 9. A tal efecto, la Fig. 2 muestra una primera realización de esta capa deslizante 9.
- La capa deslizante 9 consiste en una aleación fundida de una aleación a base de cobre.
- La aleación a base de cobre comprende, además de cobre, azufre, hierro, fósforo, al menos un elemento de un primer grupo formado por zinc, estaño, aluminio, manganeso, níquel, silicio, cromo e indio, en total entre el 0,1 % en peso y el 49 % en peso %, y al menos un elemento de un segundo grupo compuesto por plata, magnesio, cobalto, titanio,

circonio, arsénico, litio, itrio, calcio, vanadio, molibdeno, wolframio, antimonio, selenio, telurio, bismuto, niobio, paladio, estando la proporción de la suma de los elementos del segundo grupo comprendida entre el 0 % en peso y el 2 % en peso.

- 5 La aleación a base de cobre no contiene plomo, entendiéndose por sin plomo que el plomo puede estar presente en una proporción máxima del 0,1 % en peso.

10 Dado que los efectos primarios de los elementos individuales en las aleaciones a base de cobre son conocidos en la técnica anterior, se hace referencia a ella a este respecto. Además, se remite a las explicaciones anteriores sobre los efectos de los elementos de aleación.

15 Las posibles proporciones de los elementos individuales en la aleación a base de cobre se resumen en la Tabla 1. Los porcentajes de las proporciones de la Tabla 1 deben entenderse como % en peso, lo mismo que en toda la descripción, a menos que se indique explícitamente lo contrario.

En cualquier aleación a base de cobre, aparte de las impurezas inevitables, el cobre constituye el resto hasta el 100 % en peso.

Cuadro 1: Intervalos de cantidades de los elementos de aleación de la aleación a base de cobre

Elemento	Intervalo [% en peso]	intervalo preferente [% en peso]	intervalo particularmente preferente [% en peso]
S	0,1 - 3	0,2 - 1,5	0,3 - 0,8
Fe	0,01 - 4	0,2-2	0,3 - 1,5
P	0,001 - 2	0,01-0,5	0,02 - 0,1
Sn	0 - 40	0,001 - 25	0,01 - 10
Zn	0 - 45	0,001 - 9	0,01 - 5
Al	0 - 15	0,001 - 10	0,01 - 7,5
Mn	0 - 10	0,001 -7,5	0,01 - 5
Ni	0 - 10	0,01 - 5	0,01 - 2
Si	0,01 - 7		0,01 - 3
Cr	0 - 2	0,01 - 1,5	0,01 - 1
In	0 - 10	0,01 - 7	0,01 - 3
Ag	0 - 1,5	0,001 - 1	0,001 - 0,1
Mg	0 - 1,5	0,001 - 1	0,001 - 0,1
Co	0 - 1,5	0,001 - 1	0,001 - 0,1
Ti	0 - 1,5	0,001 - 1	0,001 - 0,1
Zr	0 - 1,5	0,001 - 1	0,001 - 0,1
As	0 - 1,5	0,001 - 1	0,001 - 0,1
Li	0 - 1,5	0,001 - 1	0,001 - 0,1
Y	0 - 1,5	0,001 - 1	0,001 - 0,1
Ca	0 - 1,5	0,001 - 1	0,001 - 0,1
V	0 - 1,5	0,001 - 1	0,001 - 0,1
Mo	0 - 1,5	0,001 - 1	0,001 - 0,1
W	0 - 1,5	0,001 - 1	0,001 - 0,1
Sb	0 - 1,5	0,001 - 1	0,001 - 0,1
Se	0 - 1,5	0,001 - 1	0,001 - 0,1
Te	0 - 1,5	0,001 - 1	0,001 - 0,1
Bi	0 - 1,5	0,001 - 1	0,001 - 0,1
Niobio	0 - 1,5	0,001 - 1	0,001 - 0,1
Paladio	0 - 1,5	0,001 - 1	0,001 - 0,1

Los datos acerca de los intervalos de cantidades de la Tabla 1 debe entenderse referidos también a los respectivos intervalos marginales e intermedios. Por ejemplo, la proporción de S puede ser de 0,1 - 3, de 0,2 - 1,5, de 0,3 - 0,8, de 0,1 - 0,2, de 0,1 - 1,5, de 0,1 - 0,3, de 0,1 - 0,8, de 0,2 - 0,3, de 0,2 - 0,8, de 0,3 - 3, de 0,3 - 1,5, de 0,8 - 3, y de 0,8 - 1,5, cada una de ellas en peso. Lo mismo ocurre con los demás elementos del Cuadro 1.

La proporción de la suma de los elementos del primer grupo que comprenden o consisten en zinc, estaño, aluminio, manganeso, níquel, silicio, cromo es preferentemente como máximo del 7 % en peso, en particular como máximo del 5 % en peso. Por ejemplo, la proporción total de elementos del primer grupo también puede estar comprendida entre el 0,5 % en peso y el 15 % en peso.

Se prefiere además que el estaño y el zinc no estén contenidos juntos en la aleación a base de cobre, es decir, que esta última contenga o bien estaño o zinc.

Tal como se puede ver en la Fig. 2, los precipitados sulfídicos 10 están contenidos en la capa deslizante 9. Estos precipitados sulfídicos 10 se forman por reacción de al menos un componente metálico de la aleación a base de cobre con el azufre. También son posibles los sulfuros mixtos.

Tal como se desprende del procedimiento explicado a continuación, los precipitados sulfídicos 10 no se añaden como tales a la aleación a base de cobre, aunque esto es posible dentro del ámbito de la invención, sino que estos precipitados 10 se producen a partir de al menos un constituyente de la aleación como resultado de una reacción redox en la masa fundida durante la producción de la aleación.

La proporción de precipitados sulfídicos 10 en la aleación a base de cobre está comprendida preferentemente entre el 1 % por unidad de superficie y el 20 % por unidad de superficie, en particular entre el 2 % por unidad de superficie y el 15 % por unidad de superficie. Con un contenido superior al 24 % por unidad de superficie, existe el riesgo de que el azufre contenido afecte negativamente a los límites del grano. Con una cuota inferior al 1 % por unidad de superficie, se siguen observando efectos, pero sólo en una medida insatisfactoria. El dato en % por unidad de superficie se refiere al área total de una micrografía longitudinal de la capa deslizante 9.

La capa deslizante 9 tiene un espesor total de capa 11. El espesor total de capa 11 asciende en particular a entre 100 μm y 2500 μm , preferentemente a entre 150 μm y 700 μm .

Como se puede ver en la Fig. 2, en esta variante de realización los precipitados sulfídicos 10 se disponen preferentemente distribuidos homogéneamente por todo el espesor total de capa 11 de la capa deslizante 9 y, por lo tanto, en toda la capa deslizante 9, es decir, en todo su volumen.

Con la expresión "homogéneo" se entiende en este contexto que la diferencia en el número de precipitados sulfídicos 10 de cada una de las dos regiones de volumen diferentes de la capa de deslizamiento 9 no se desvía entre sí en más del 12 %, en particular en no más del 9 %, siendo el valor de referencia con 100 % un número de precipitados sulfídicos 10 en una región de volumen de la capa de deslizamiento 9 que se calcula a partir del número total de precipitados 10 en el volumen total de la capa de deslizamiento 9 dividido por el número de regiones de volumen que comprende el volumen total.

Sin embargo, también es posible que la disposición o la formación de los precipitados sulfídicos 10 se limite únicamente a una zona dentro de una capa parcial 12 de la capa deslizante 9, tal como se puede ver en la Fig. 3. Los precipitados sulfídicos 10 se disponen en el interior, en particular exclusivamente en el interior, de esta capa parcial 12. Dentro de esta capa parcial 12, los precipitados sulfídicos 10 se distribuyen de nuevo preferentemente de forma homogénea, entendiéndose el término "homogéneo" en el sentido de la definición anterior, en la que "capa deslizante" se sustituye por "capa parcial".

Según una variante de realización, puede estar previsto que la capa parcial 12 presente un grosor de capa 13 comprendido entre el 5 % y el 85 %, en particular entre el 10 % y el 50 %, del grosor total de capa 11 de la capa adicional 4, es decir, en este ejemplo de realización, de la capa deslizante 9.

La capa parcial 12 está formada preferentemente en un lado de la capa deslizante 9 y, por lo tanto, forma preferentemente una superficie 14, en particular una superficie deslizante, del elemento de cojinete liso multicapa 1.

Sin embargo, también es posible que el número de precipitados sulfídicos 10 disminuya gradualmente en la dirección desde la superficie 14 de la aleación a base de cobre de la capa deslizante 9 hacia la capa metálica de soporte 3, tal como se muestra en la Fig. 4 para la capa parcial 12. Un gradiente de este tipo también puede formarse en la capa deslizante 9 en su conjunto, es decir, no sólo en la capa parcial 12. Los precipitados sulfídicos 10 están presentes en todo el volumen de la capa deslizante 9, tal como se muestra en la Fig. 2.

Cabe señalar que en cada una de las figuras se muestran formas de realización independientes del elemento de cojinete liso multicapa 1, en donde para las mismas partes o piezas se usan los mismos símbolos de referencia o

designaciones de componentes. Para evitar repeticiones innecesarias, se remite a la descripción detallada de todas las figuras.

Reduciendo el número de precipitados sulfídicos 10 en la capa de deslizamiento 9 o en la capa parcial 12 de la capa de deslizamiento 9 hacia la capa metálica de soporte 3, se puede establecer un gradiente de dureza en la capa de deslizamiento 9.

También es posible que el número de precipitados sulfídicos 10 en la capa de deslizamiento 9 o en la capa parcial 12 de la capa de deslizamiento 9 aumente gradualmente o varíe en general en la dirección desde la superficie 14 de la aleación a base de cobre de la capa de deslizamiento 9 hasta la capa metálica de soporte 3.

En general, los precipitados sulfídicos 10 pueden tener un diámetro máximo de partícula 15 (Figs. 2 y 3) de 60 μm como máximo, en particular de entre 0,1 μm y 30 μm . Preferentemente, el diámetro máximo de las partículas 15 asciende a entre 10 μm y 25 μm . Se entiende por diámetro máximo de partícula 15 la mayor dimensión que tiene una partícula.

El tamaño de grano de la microestructura restante puede estar comprendido entre 2 μm y 500 μm , en particular entre 2 μm y 40 μm . Los tamaños de grano más grandes se producen preferentemente sólo en la zona de unión de la capa de deslizamiento 9 con la capa del elemento de cojinete de deslizamiento multicapa 1 dispuesta directamente por debajo. En el caso especial de una estructura de colada dendrítica, el tamaño de grano también puede corresponder al espesor total de la capa.

De este modo, es posible que el diámetro de partícula 15 de los precipitados sulfídicos 10 permanezca sustancialmente constante en todo el volumen de la capa de deslizamiento 9, es decir, que los diámetros de partícula máximos 15 de los precipitados 10 no difieran en más de un 20 %, en particular en no más de un 15 %.

Por otra parte, según otra variante de realización del elemento de cojinete liso multicapa 1, es posible, tal como se muestra en la Fig. 5, que los precipitados sulfídicos 10 tengan un diámetro máximo de partícula 15 que disminuye gradualmente en la dirección desde la superficie 14 de la aleación a base de cobre hasta la capa metálica de soporte 3. De este modo, el diámetro de partícula 15 de los precipitados sulfídicos 10 puede disminuir en un valor seleccionado de un intervalo del 0,1 % al 80 %, en particular de un intervalo del 0,1 % al 70 %, en relación con el diámetro de partícula 15 de los precipitados 10 en la región de la superficie 14.

Sin embargo, también es posible que los precipitados sulfídicos 10 tengan un diámetro máximo de partícula 15 que aumente gradualmente o varíe en general en la dirección desde la superficie 14 de la aleación a base de cobre hasta la capa metálica de soporte 3. De este modo, el diámetro de partícula 15 de los precipitados sulfídicos 10 puede aumentar en un valor seleccionado de un intervalo del 0,1 % al 80 %, en particular de un intervalo del 0,1 % al 70 %, en relación con el diámetro de partícula 15 de los precipitados sulfídicos 10 en la región de la superficie 14.

El aspecto de los precipitados sulfídicos 10 puede ser al menos aproximadamente esférico, al menos aproximadamente elipsoidal u ovoide, bulboso, en forma de tallo (es decir, alargado), al menos aproximadamente cúbico, etc., o completamente irregular. Preferentemente, los precipitados sulfídicos 10 tienen una forma al menos aproximadamente redonda o al menos aproximadamente esférica o al menos aproximadamente elipsoidal.

Tal como ya se ha mencionado, los precipitados 10 son de naturaleza sulfídica. Los precipitados sulfídicos 10 pueden consistir principalmente en sulfuros de cobre y/o en sulfuros de hierro. La proporción de esta mezcla en la proporción total de sulfuros es de al menos el 50 % por unidad de superficie, en particular de al menos el 70 % por unidad de superficie, preferentemente de al menos el 80 % por unidad de superficie. Además de estos sulfuros, también existen otros sulfuros en la aleación a base de cobre, tal como ya se ha mencionado anteriormente, por ejemplo los sulfuros de cinc.

El sulfuro de zinc puede formarse dentro de al menos una región discreta en la partícula de sulfuro de cobre. Puede haber entre una y cinco de estas regiones discretas formadas dentro de las partículas de sulfuro de cobre. En otras palabras, el sulfuro de zinc puede estar distribuido de forma no homogénea en las partículas de sulfuro de cobre.

La aleación también puede contener una mezcla de sulfuros de cobre y sulfuros de hierro. Dentro de esta mezcla de sulfuros de cobre y sulfuros de hierro, la proporción de sulfuros de cobre puede ser de al menos el 60 % por unidad de superficie, en particular de al menos el 75 % por unidad de superficie.

[0078] Para lograr la distribución más fina posible de las fases de sulfuro (precipitados sulfídicos 10) en la capa adicional 4, que aprovecha mejor el efecto de la adición de azufre, debe formarse una estructura de matriz fina. Esto puede lograrse, por un lado, mediante altas velocidades de enfriamiento y, por otro, mediante el refinamiento metalúrgico del grano.

En el caso de las aleaciones que contienen azufre, se ha demostrado que muchos de los elementos de aleación que reducen el grano también tienen una alta afinidad por el azufre y tienden a formar compuestos indeseables con este

elemento, que después se transforman en escoria. En el caso de las aleaciones de cobre, hay que mencionar especialmente el circonio, que puede actuar como un refinador del grano muy bueno, pero que también posee un fuerte efecto desulfurante. Otro elemento para el refinamiento del grano en el cobre es, por ejemplo: calcio, pero su efecto desulfurante es conocido por la industria siderúrgica. En principio, esto puede contrarrestarse mediante el contenido de azufre, el control de la temperatura y el momento de adición de la desulfuración.

La mayoría de los agente de refinamiento de grano conocidos para las aleaciones de cobre tienen una gran afinidad por el oxígeno, por lo que reaccionarían con el oxígeno presente en la masa fundida no desoxidada y perderían su efecto.

Se conoce la adición de fósforo como agente desoxidante en forma de cobre fosforado para la desoxidación de las aleaciones de cobre. La desoxidación mejora, entre otras cosas, las propiedades de flujo de la masa fundida y también protege el azufre que se va a alear para que no se queme con el oxígeno de la masa fundida. Tal como ya se ha mencionado, un contenido de fósforo residual demasiado elevado aumenta el riesgo de formación de fases frágiles (fosfuro de hierro) en la zona de unión durante la colada del material compuesto. La cantidad correcta que hay que añadir puede calcularse en función de la actividad de oxígeno de la masa fundida actual usando las relaciones estequiométricas. Sin embargo, la medición de la actividad en las aleaciones aplicadas sólo es posible con cabezales de medición de un solo uso y siempre está sujeta a una incertidumbre de medición. Con las bajas cantidades de fusión, de unos 100 kg, una medición de este tipo no resulta económica. Además, la entrada de oxígeno e hidrógeno a través de la propia medición es una desventaja considerable.

El uso de litio en las aleaciones de cobre mencionadas tiene varias ventajas. El litio tiene excelentes propiedades desoxidantes. El bajo contenido de oxígeno residual así alcanzado protege de la combustión al elemento de aleación azufre y a otros elementos con afinidad por el oxígeno. Además de eliminar el oxígeno, el litio también tiene la propiedad de formar compuestos con el hidrógeno (LiH, LiOH). De este modo, la adición de litio también reduce el contenido de hidrógeno en la masa fundida. El litio es capaz de formar una escoria líquida por encima de la masa fundida con sus reactivos e impide así la entrada de más oxígeno e hidrógeno en la masa fundida. Además, el litio en sí mismo tiene un efecto refinador del grano y, por tanto, también garantiza la distribución fina de los sulfuros en el material.

Para la fabricación del elemento de cojinete liso multicapa 1, se puede preparar en un primer paso un material previo consistente en al menos dos capas. En el caso más sencillo, la aleación a base de cobre puede fundirse en una tira o en una lámina metálica, especialmente plana.

La tira o la lámina metálicas forman la capa metálica de soporte 3. En el caso de que se usen tiras o láminas de metal planas, se las conforma en el elemento de cojinete liso multicapa1 correspondiente en un paso posterior del procedimiento, tal y como se conoce por se de la técnica anterior.

Tal como se ha mencionado anteriormente, el elemento de cojinete liso multicapa 1 también puede tener más de dos capas. En este caso, la aleación a base de cobre puede fundirse sobre la capa superior correspondiente del material compuesto con la capa metálica de soporte 3, o bien se fabrica primero otro material compuesto, en particular de dos capas, que se une a continuación a la capa metálica de soporte 3 o a un material compuesto que comprende la capa metálica de soporte 3, por ejemplo mediante revestimiento por rodillos, si es necesario con la interposición de una lámina de unión.

La colada de la aleación a base de cobre sobre la banda o la lámina metálicas o sobre una capa de un material compuesto se puede realizar, por ejemplo, mediante colada horizontal en banda.

Sin embargo, también es posible producir una aleación a base de cobre en un primer paso, por ejemplo mediante colada continua o colada en lingotera, y la aleación a base de cobre solidificada sólo se adhiere posteriormente a al menos una de las capas adicionales del elemento de cojinete liso multicapa 1, en particular la capa metálica de soporte 3, como por ejemplo mediante revestimiento por rodillos.

Según otra variante de realización, existe la posibilidad de que el elemento de cojinete liso multicapa 1 se fabrique mediante un proceso de fundición centrífuga o según un proceso de fundición estacionario.

También es posible el recubrimiento directo de componentes, como por ejemplo los ojos de biela. También son aplicables los procesos de recubrimiento en polvo.

La aleación a base de cobre también puede aplicarse a la respectiva capa subyacente del elemento de cojinete liso multicapa 1 o del componente mediante un proceso de sinterización.

Las proporciones de los componentes en la mezcla de partida usada para la producción de la capa deslizante 9 se seleccionan de acuerdo con los datos de la Tabla 1.

La colada de aleaciones a partir de la masa fundida es conocida en principio por el experto en cojinetes lisos, de tal

modo que en lo que respecta a parámetros tales como la temperatura, etc., se hace referencia al estado de la técnica pertinente. La aleación se funde preferentemente en una atmósfera de gas inerte.

5 Preferentemente, la masa fundida solidificada se enfría con aceite hasta una temperatura de aproximadamente 300 °C y, a continuación, con agua y/o aire hasta al menos aproximadamente la temperatura ambiente. Sin embargo, también puede enfriarse de otras formas. Preferentemente, el material aleado o compuesto se enfría después de la colada.

10 Después de cualquier conformación que pueda tener lugar, por ejemplo en forma de media concha, así como cualquier mecanizado final, tales como taladrado fino, revestimiento, etc., el elemento de cojinete liso multicapa 1 está acabado. El experto en cojinetes lisos conoce estos pasos finales de procesamiento, por lo que se recomienda consultar la bibliografía pertinente.

15 Según una variante de realización del procedimiento, la aleación a base de cobre se forma, en particular se lamina, después de la colada, aplicándose un grado de conformación de como máximo el 80 %, en particular de entre el 20 % y el 80 %.

20 Tras el conformado, en particular el laminado, la aleación a base de cobre puede someterse a un tratamiento térmico. Esto puede hacerse generalmente a una temperatura de entre 200 °C y 700 °C. El tratamiento térmico puede llevarse a cabo en una atmósfera reductora, por ejemplo bajo un gas formador. Además, el tratamiento térmico puede llevarse a cabo durante un período de 2 a 20 horas. Debido a las finas partículas de fosforo de hierro presentes en la capa 4, no se produce un fuerte engrosamiento del grano durante el tratamiento térmico.

25 Además de la capa adicional 4 formada como capa deslizante 9, también se puede formar otra capa en el elemento de cojinete liso multicapa 1, por ejemplo, una capa metálica de cojinete dispuesta entre una capa deslizante y una capa metálica de soporte, o una capa de rodaje dispuesta sobre una capa deslizante.

A continuación se reproducen algunos de los ensayos realizados.

30 En general, las composiciones para las aleaciones a base de cobre dadas en la Tabla 2 se prepararon de acuerdo con el siguiente procedimiento.

35 La aleación a base de cobre se fundió sobre una capa metálica de soporte 3 de un acero con unas dimensiones de 220 mm de ancho y 4 mm de grosor mediante fundición en banda. El acero precalentado tenía una temperatura de 1070 °C y una velocidad de 2,5 m/min. Sobre ella se vierte la aleación de colada a una temperatura aproximada de 1130 °C. El acero se enfría desde abajo a unos 350 °C mediante refrigeración por aceite y, a continuación, se sigue enfriando con agua para que la aleación fundida se solidifique en el compuesto. Este compuesto se sometió a una reducción de espesor del 40 % mediante laminado. A continuación, este material se trató térmicamente durante 7 horas a 525 °C en una atmósfera de gas inerte y se moldeó en el molde de media concha.

40 Dependiendo de la composición de la aleación, el tratamiento térmico del material también puede llevarse a cabo, por ejemplo, a 450 °C, en particular a 500 °C, durante diez horas a 630 °C, en particular a 610 °C, durante seis horas.

45 De este modo se obtuvieron elementos de cojinete lisos de dos capas en forma de media concha con un espesor de la capa deslizante 9 inferior a 1 mm.

50 Con respecto a la Tabla 2 que figura a continuación, cabe señalar que todos los datos de composición deben entenderse de nuevo en el % en peso, y que el cobre constituye el resto hasta el 100 % en peso en cada caso. Las impurezas habituales de los metales debidas a la fabricación no se indican por separado. Estos son sólo ejemplos de realizaciones dentro del ámbito de los intervalos de cantidades anteriores para los componentes de aleación individuales mostrados en la Tabla 1. En caso de que toda la gama de componentes o de elementos individuales de la aleación a base de cobre no esté cubierta por los ejemplos de la Tabla 1, esto no significa una restricción a las proporciones puntuales mostradas en la Tabla 2 para este elemento. Las cantidades de elementos que figuran en el cuadro 2 son las usadas en la producción de la aleación a base de cobre.

55 En cuanto a la aleación con elementos de aleación del segundo grupo, sólo se han usado dos "aleaciones base". Sin embargo, esto no significa que la adición de estos elementos se limite a la composición declarada de estas "aleaciones base".

60 Además, sólo se aleó a la vez uno de los elementos de aleación del segundo grupo de la "aleación a base". Sin embargo, huelga decir que las composiciones con más de uno de estos elementos de aleación del segundo grupo también son posibles dentro del ámbito de la invención.

ES 2 951 869 T3

Tabla 2: Ejemplos de composiciones para aleaciones a base de cobre.

Nº	S	Fe	P	Zn	Sn	Al	Mn	Ni	Si	Cr	In	Otros
1	0,1	0,2	0,01	45		7,5	0,01	1,9				
2	3	3,8	2	9	15	0,001	7,5		2,76	0,001		
3	0,3	1,5	0,5		40	4,5	0,75			1,5	0,01	
4	1,5	2	0,45	5					4,9	2	9,8	
5	0,8	1,1	0,1	3,5		10	1,25	4,5		0,45		
6	0,1	0,01	0,001		25						0,01	
7	3	4	2			15					10	
8	0,3	0,35	0,5		10		9,1				0,001	
9	1,5	1,8	0,45		12,1			10			7	
10	0,8	1,5	0,01	0,35	0,5				7	0,2	3	
11	0,21	1	0,01	12		3,2	2,5	1,5				
12	2,8	0,25	0,1			15	5		3,8	0,65		
13	0,3	0,54	0,25				7,4	2			10	
14	1,2	1,2	0,55			8,7		1,8	0,05	1,2	6,5	
15	0,6	1,8	0,76								0,01	
16	0,4	0,7	0,02	1,2	2	5,5	2,3	0,03	0,03	0,03		
17	2,7	3,1	1,9	45								
18	2,7	1,6	0,6		40							
19	1,5	0,05	0,45								8,8	
20	0,75	0,45	0,09			7,7						
21	0,1	0,2	0,005				10					
22	2	2,9	2					5				
23	1,11	2,7	0,8						4,4			
24	0,7	0,9	0,44							1		
25	0,8	0,3	0,1	12,1		4,1		9,8			7,5	
26	0,7	0,25	0,01	30					1			
27	1,33	1	0,45		5							
28	0,8	0,54	0,1	11,5					1,1			
29	0,1	1,2	0,001	8	3,3							
30	1,2	1,5	0,2		5,8				6,2			
31	0,6	0,35	0,01					1,9	2			
32	1,21	1,8	0,01	35		1	2,2		0,9			
33	1,6	0,1	0,1		4			2,2				
34	0,7	1,5	0,1	5		1,8	5	0,01	0,2	0,01	7	Ag 1,5
35	0,8	1,5	0,1		10	4,35	7		2,8	1,2	3	Ag 1,5
36	0,8	1,5	0,1	5		1,8	5	0,01	0,2	0,01	7	Ag 1
37	0,8	1,5	0,1		10	4,35	7		2,8	1,2	3	Ag 1
38	0,8	1,5	0,1	5		1,8	5	0,01	0,2	0,01	7	Ag 0,1
39	0,8	1,5	0,1		10	4,35	7		2,8	1,2	3	Ag 0,1
40	0,8	1,5	0,1	5		1,8	5	0,01	0,2	0,01	7	Ag 0,001
41	0,8	1,5	0,1		10	4,35	7		2,8	1,2	3	Ag 0,001
42	0,8	1,5	0,1	5		1,8	5	0,01	0,2	0,01	7	Mg 1,5
43	0,8	1,5	0,1		10	4,35	7		2,8	1,2	3	Mg 1,5

ES 2 951 869 T3

Nº	S	Fe	P	Zn	Sn	Al	Mn	Ni	Si	Cr	In	Otros
44	0,8	1,5	0,1	5		1,8	5	0,01	0,2	0,01	7	Mg 1
45	0,8	1,5	0,1		10	4,35	7		2,8	1,2	3	Mg 1
46	0,8	1,5	0,1	5		1,8	5	0,01	0,2	0,01	7	Mg 0,1
47	0,8	1,5	0,1		10	4,35	7		2,8	1,2	3	Mg 0,1
48	0,8	1,5	0,1	5		1,8	5	0,01	0,2	0,01	7	Mg 0,001
49	0,8	1,5	0,1		10	4,35	7		2,8	1,2	3	Mg 0,001
50	0,8	1,5	0,1	5		1,8	5	0,01	0,2	0,01	7	Co 1,5
51	0,8	1,5	0,1		10	4,35	7		2,8	1,2	3	Co 1,5
52	0,8	1,5	0,1	5		1,8	5	0,01	0,2	0,01	7	Co 1
53	0,8	1,5	0,1		10	4,35	7		2,8	1,2	3	Co 1
54	0,8	1,5	0,1	5		1,8	5	0,01	0,2	0,01	7	Co 0,1
55	0,8	1,5	0,1		10	4,35	7		2,8	1,2	3	Co 0,1
56	0,8	1,5	0,1	5		1,8	5	0,01	0,2	0,01	7	Co 0,001
57	0,8	1,5	0,1		10	4,35	7		2,8	1,2	3	Co 0,001
58	0,8	1,5	0,1	5		1,8	5	0,01	0,2	0,01	7	Ti 1,5
59	0,8	1,5	0,1		10	4,35	7		2,8	1,2	3	Ti 1,5
60	0,8	1,5	0,1	5		1,8	5	0,01	0,2	0,01	7	Ti 1
61	0,8	1,5	0,1		10	4,35	7		2,8	1,2	3	Ti 1
62	0,8	1,5	0,1	5		1,8	5	0,01	0,2	0,01	7	Ti 0,1
63	0,8	1,5	0,1		10	4,35	7		2,8	1,2	3	Ti 0,1
64	0,8	1,5	0,1	5		1,8	5	0,01	0,2	0,01	7	Ti 0,001
65	0,8	1,5	0,1		10	4,35	7		2,8	1,2	3	Ti 0,001
66	0,8	1,5	0,1	5		1,8	5	0,01	0,2	0,01	7	Zr 1,5
67	0,8	1,5	0,1		10	4,35	7		2,8	1,2	3	Zr 1,5
68	0,8	1,5	0,1	5		1,8	5	0,01	0,2	0,01	7	Zr 1
69	0,8	1,5	0,1		10	4,35	7		2,8	1,2	3	Zr 1
70	0,8	1,5	0,1	5		1,8	5	0,01	0,2	0,01	7	Zr 0,1
71	0,8	1,5	0,1		10	4,35	7		2,8	1,2	3	Zr 0,1
72	0,8	1,5	0,1	5		1,8	5	0,01	0,2	0,01	7	Zr 0,001
73	0,8	1,5	0,1		10	4,35	7		2,8	1,2	3	Zr 0,001
74	0,8	1,5	0,1	5		1,8	5	0,01	0,2	0,01	7	En 1,5
75	0,8	1,5	0,1		10	4,35	7		2,8	1,2	3	En 1,5
76	0,8	1,5	0,1	5		1,8	5	0,01	0,2	0,01	7	En 1
77	0,8	1,5	0,1		10	4,35	7		2,8	1,2	3	En 1
78	0,8	1,5	0,1	5		1,8	5	0,01	0,2	0,01	7	En 0,1
79	0,8	1,5	0,1		10	4,35	7		2,8	1,2	3	En 0,1
80	0,8	1,5	0,1	5		1,8	5	0,01	0,2	0,01	7	En 0,001
81	0,8	1,5	0,1		10	4,35	7		2,8	1,2	3	En 0,001
82	0,8	1,5	0,1	5		1,8	5	0,01	0,2	0,01	7	Li 1,5
83	0,8	1,5	0,1		10	4,35	7		2,8	1,2	3	Li 1,5
84	0,8	1,5	0,1	5		1,8	5	0,01	0,2	0,01	7	Li 1
85	0,8	1,5	0,1		10	4,35	7		2,8	1,2	3	Li 1
86	0,8	1,5	0,1	5		1,8	5	0,01	0,2	0,01	7	Li 0,1

ES 2 951 869 T3

Nº	S	Fe	P	Zn	Sn	Al	Mn	Ni	Si	Cr	In	Otros	
87	0,8	1,5	0,1		10	4,35	7		2,8	1,2	3	Li	0,1
88	0,8	1,5	0,1	5		1,8	5	0,01	0,2	0,01	7	Li	0,001
89	0,8	1,5	0,1		10	4,35	7		2,8	1,2	3	Li	0,001
90	0,8	1,5	0,1	5		1,8	5	0,01	0,2	0,01	7	Y	1,5
91	0,8	1,5	0,1		10	4,35	7		2,8	1,2	3	Y	1,5
92	0,8	1,5	0,1	5		1,8	5	0,01	0,2	0,01	7	Y	1
93	0,8	1,5	0,1		10	4,35	7		2,8	1,2	3	Y	1
94	0,8	1,5	0,1	5		1,8	5	0,01	0,2	0,01	7	Y	0,1
95	0,8	1,5	0,1		10	4,35	7		2,8	1,2	3	Y	0,1
96	0,8	1,5	0,1	5		1,8	5	0,01	0,2	0,01	7	Y	0,001
97	0,8	1,5	0,1		10	4,35	7		2,8	1,2	3	Y	0,001
98	0,8	1,5	0,1	5		1,8	5	0,01	0,2	0,01	7	Ca	1,5
99	0,8	1,5	0,1		10	4,35	7		2,8	1,2	3	Ca	1,5
100	0,8	1,5	0,1	5		1,8	5	0,01	0,2	0,01	7	Ca	1
101	0,8	1,5	0,1		10	4,35	7		2,8	1,2	3	Ca	1
102	0,8	1,5	0,1	5		1,8	5	0,01	0,2	0,01	7	Ca	0,1
103	0,8	1,5	0,1		10	4,35	7		2,8	1,2	3	Ca	0,1
104	0,8	1,5	0,1	5		1,8	5	0,01	0,2	0,01	7	Ca	0,001
105	0,8	1,5	0,1		10	4,35	7		2,8	1,2	3	Ca	0,001
106	0,8	1,5	0,1	5		1,8	5	0,01	0,2	0,01	7	V	1,5
107	0,8	1,5	0,1		10	4,35	7		2,8	1,2	3	V	1,5
108	0,8	1,5	0,1	5		1,8	5	0,01	0,2	0,01	7	V	1
109	0,8	1,5	0,1		10	4,35	7		2,8	1,2	3	V	1
110	0,8	1,5	0,1	5		1,8	5	0,01	0,2	0,01	7	V	0,1
111	0,8	1,5	0,1		10	4,35	7		2,8	1,2	3	V	0,1
112	0,8	1,5	0,1	5		1,8	5	0,01	0,2	0,01	7	V	0,001
113	0,8	1,5	0,1		10	4,35	7		2,8	1,2	3	V	0,001
114	0,8	1,5	0,1	5		1,8	5	0,01	0,2	0,01	7	Mo	1,5
115	0,8	1,5	0,1		10	4,35	7		2,8	1,2	3	Mo	1,5
116	0,8	1,5	0,1	5		1,8	5	0,01	0,2	0,01	7	Mo	1
117	0,8	1,5	0,1		10	4,35	7		2,8	1,2	3	Mo	1
118	0,8	1,5	0,1	5		1,8	5	0,01	0,2	0,01	7	Mo	0,1
119	0,8	1,5	0,1		10	4,35	7		2,8	1,2	3	Mo	0,1
120	0,8	1,5	0,1	5		1,8	5	0,01	0,2	0,01	7	Mo	0,001
121	0,8	1,5	0,1		10	4,35	7		2,8	1,2	3	Mo	0,001
122	0,8	1,5	0,1	5		1,8	5	0,01	0,2	0,01	7	W	1,5
123	0,8	1,5	0,1		10	4,35	7		2,8	1,2	3	W	1,5
124	0,8	1,5	0,1	5		1,8	5	0,01	0,2	0,01	7	W	1
125	0,8	1,5	0,1		10	4,35	7		2,8	1,2	3	W	1
126	0,8	1,5	0,1	5		1,8	5	0,01	0,2	0,01	7	W	0,1
127	0,8	1,5	0,1		10	4,35	7		2,8	1,2	3	W	0,1
128	0,8	1,5	0,1	5		1,8	5	0,01	0,2	0,01	7	W	0,001
129	0,8	1,5	0,1		10	4,35	7		2,8	1,2	3	W	0,001

ES 2 951 869 T3

Nº	S	Fe	P	Zn	Sn	Al	Mn	Ni	Si	Cr	In	Otros
130	0,8	1,5	0,1	5		1,8	5	0,01	0,2	0,01	7	Sb 1,5
131	0,8	1,5	0,1		10	4,35	7		2,8	1,2	3	Sb 1,5
132	0,8	1,5	0,1	5		1,8	5	0,01	0,2	0,01	7	Sb 1
133	0,8	1,5	0,1		10	4,35	7		2,8	1,2	3	Sb 1
134	0,8	1,5	0,1	5		1,8	5	0,01	0,2	0,01	7	Sb 0,1
135	0,8	1,5	0,1		10	4,35	7		2,8	1,2	3	Sb 0,1
136	0,8	1,5	0,1	5		1,8	5	0,01	0,2	0,01	7	Sb 0,001
137	0,8	1,5	0,1		10	4,35	7		2,8	1,2	3	Sb 0,001
138	0,8	1,5	0,1	5		1,8	5	0,01	0,2	0,01	7	Se 1,5
139	0,8	1,5	0,1		10	4,35	7		2,8	1,2	3	Se 1,5
140	0,8	1,5	0,1	5		1,8	5	0,01	0,2	0,01	7	Se 1
141	0,8	1,5	0,1		10	4,35	7		2,8	1,2	3	Se 1
142	0,8	1,5	0,1	5		1,8	5	0,01	0,2	0,01	7	Se 0,1
143	0,8	1,5	0,1		10	4,35	7		2,8	1,2	3	Se 0,1
144	0,8	1,5	0,1	5		1,8	5	0,01	0,2	0,01	7	Se 0,001
145	0,8	1,5	0,1		10	4,35	7		2,8	1,2	3	Se 0,001
146	0,8	1,5	0,1	5		1,8	5	0,01	0,2	0,01	7	Te 1,5
147	0,8	1,5	0,1		10	4,35	7		2,8	1,2	3	Te 1,5
148	0,8	1,5	0,1	5		1,8	5	0,01	0,2	0,01	7	Te 1
149	0,8	1,5	0,1		10	4,35	7		2,8	1,2	3	Te 1
150	0,8	1,5	0,1	5		1,8	5	0,01	0,2	0,01	7	Te 0,1
151	0,8	1,5	0,1		10	4,35	7		2,8	1,2	3	Te 0,1
152	0,8	1,5	0,1	5		1,8	5	0,01	0,2	0,01	7	Te 0,001
153	0,8	1,5	0,1		10	4,35	7		2,8	1,2	3	Te 0,001
154	0,8	1,5	0,1	5		1,8	5	0,01	0,2	0,01	7	Bi 1,5
155	0,8	1,5	0,1		10	4,35	7		2,8	1,2	3	Bi 1,5
156	0,8	1,5	0,1	5		1,8	5	0,01	0,2	0,01	7	Bi 1
157	0,8	1,5	0,1		10	4,35	7		2,8	1,2	3	Bi 1
158	0,8	1,5	0,1	5		1,8	5	0,01	0,2	0,01	7	Bi 0,1
159	0,8	1,5	0,1		10	4,35	7		2,8	1,2	3	Bi 0,1
160	0,8	1,5	0,1	5		1,8	5	0,01	0,2	0,01	7	Bi 0,001
161	0,8	1,5	0,1		10	4,35	7		2,8	1,2	3	Bi 0,001
168	0,8	1,5	0,1	5		1,8	5	0,01	0,2	0,01	7	Nb 1,5
169	0,8	1,5	0,1		10	4,35	7		2,8	1,2	3	Nb 1,5
170	0,8	1,5	0,1	5		1,8	5	0,01	0,2	0,01	7	Nb 1
171	0,8	1,5	0,1		10	4,35	7		2,8	1,2	3	Nb 1
172	0,8	1,5	0,1	5		1,8	5	0,01	0,2	0,01	7	Nb 0,1
173	0,8	1,5	0,1		10	4,35	7		2,8	1,2	3	Nb 0,1
174	0,8	1,5	0,1	5		1,8	5	0,01	0,2	0,01	7	Nb 0,001
175	0,8	1,5	0,1		10	4,35	7		2,8	1,2	3	Nb 0,001
176	0,8	1,5	0,1	5		1,8	5	0,01	0,2	0,01	7	Pd 1,5
177	0,8	1,5	0,1		10	4,35	7		2,8	1,2	3	Pd 1,5
178	0,8	1,5	0,1	5		1,8	5	0,01	0,2	0,01	7	Pd 1

Nº	S	Fe	P	Zn	Sn	Al	Mn	Ni	Si	Cr	In	Otros
179	0,8	1,5	0,1		10	4,35	7		2,8	1,2	3	Pd 1
180	0,8	1,5	0,1	5		1,8	5	0,01	0,2	0,01	7	Pd 0,1
181	0,8	1,5	0,1		10	4,35	7		2,8	1,2	3	Pd 0,1
182	0,8	1,5	0,1	5		1,8	5	0,01	0,2	0,01	7	Pd 0,001
183	0,8	1,5	0,1		10	4,35	7		2,8	1,2	3	Pd 0,001

La determinación de la tendencia al agarrotamiento de esta aleación a base de cobre se llevó a cabo tras un ensayo de tendencia al agarrotamiento al que se sometieron todos los elementos de cojinete liso multicapa 1 de acuerdo con los ejemplos de la Tabla 2. Los valores medidos se normalizaron con respecto a un elemento de cojinete liso multicapa de una aleación conocida de CuPb22Sn. Esta aleación se definió con una carga de rozamiento del 100 %. En comparación, las aleaciones según la Tabla 2 mostraron valores entre el 70 % y el 105 %, que no sólo son valores muy buenos con respecto a la ausencia de plomo, sino que incluso superan a la aleación que contiene plomo.

Es posible ampliar aún más las capas tribológicamente favorables en el caso del elemento de cojinete liso multicapa 1. Por ejemplo, los depósitos de sulfuro pueden incorporarse a la capa superior.

La invención se refiere además a un procedimiento para fabricar un elemento de cojinete liso multicapa 1, para lo cual se produce un material compuesto que comprende una capa metálica de soporte 3 y otra capa adicional 4, en particular una capa deslizante 9, y dado el caso una capa intermedia entre la capa metálica de soporte 3 y la capa adicional 4. La capa adicional 4 está formada por una aleación fundida de una aleación a base de cobre sin plomo en la que se encuentran precipitados de sulfuro 10. Para la preparación de la aleación de colada se usan entre el 0,1 % en peso y el 3 % en peso de azufre, entre el 0,01 % en peso y el 4 % en peso de hierro, entre el 0 % en peso, en particular el 0,001 % en peso, y el 2 % en peso de fósforo, al menos un elemento de un primer grupo compuesto por cinc, estaño, aluminio, manganeso, níquel, silicio, cromo, indio, de en total entre el 0,1 % en peso y el 49 % en peso, en donde la proporción de cinc asciende a entre el 0 % y el 45 % en peso, la proporción de estaño a entre el 0 % y el 40 % en peso, la proporción de aluminio a entre el 0 % y el 15 % en peso, la proporción de manganeso a entre el 0 % y el 10 % en peso, la proporción de níquel a entre el 0 % y el 10 % en peso, la proporción de silicio a entre el 0,01 % y el 7 % en peso, la proporción de cromo asciende a entre el 0 % y el 2 % en peso y la proporción de indio asciende a entre el 0 % y el 10 % en peso, y al menos un elemento de un segundo grupo compuesto por plata, magnesio, cobalto, titanio, circonio, arsénico, litio, itrio, calcio, vanadio, molibdeno, wolframio, antimonio, selenio, telurio, bismuto, niobio, paladio en una proporción comprendida entre el 0 % y el 1,5 % en peso en cada caso, estando la proporción de la suma de los elementos del segundo grupo comprendida entre el 0 % y el 2 % en peso. El resto, hasta el 100 % en peso, es cobre e impurezas procedentes de la producción de los elementos.

Las otras cantidades enumeradas anteriormente en la Tabla 1 también se pueden usar para producir la aleación de colada.

Los ejemplos de realización muestran o describen posibles variantes de realización, por lo que cabe señalar en este punto que también son posibles diversas combinaciones de las variantes de realización individuales.

Por último, en aras del orden, cabe señalar que para una mejor comprensión de la estructura del elemento de cojinete liso multicapa 1 o de la capa adicional 4, éstos no se han representado necesariamente a escala.

REIVINDICACIONES

1. Elemento de cojinete liso multicapa (1) hecho de un material compuesto que comprende una capa metálica de soporte (3) y una capa adicional (4), en particular una capa deslizante (9), así como, dado el caso, una capa intermedia entre la capa metálica de soporte (3) y la capa adicional (4), estando formada la capa adicional (4) de una aleación fundida de una aleación a base de cobre sin plomo en la que están contenidos precipitados sulfídicos (10), **caracterizado porque** la aleación a base de cobre contiene entre el 0,1 % en peso y el 3 % en peso de azufre, entre el 0,01 % en peso y el 4 % en peso de hierro, entre el 0 % en peso, en particular el 0,001 % en peso, y el 2 % en peso de fósforo, al menos un elemento de un primer grupo compuesto por zinc, estaño, aluminio, manganeso, níquel, silicio, cromo e indio de entre el 0,1 % y el 49 % en peso en total, en donde la proporción de zinc asciende a entre el 0 % y el 45 % en peso, la proporción de estaño asciende a entre el 0 % y el 40 % en peso, la proporción de aluminio asciende a entre el 0 % y el 15 % en peso, la proporción de manganeso asciende a entre el 0 % y el 10 % en peso, la proporción de níquel asciende a entre el 0 % y el 10 % en peso, la proporción de silicio asciende a entre el 0,01 % y el 7 % en peso, la proporción de cromo asciende a entre el 0 % y el 2 % en peso y la proporción de indio asciende a entre el 0 % y el 10 % en peso, y al menos un elemento de un segundo grupo compuesto por plata, magnesio, cobalto, titanio, circonio, arsénico, litio, itrio, calcio, vanadio, molibdeno, wolframio, antimonio, selenio, telurio, bismuto, niobio y paladio en una proporción en cada caso comprendida entre el 0 % en peso y el 1,5 % en peso, en donde la proporción total de los elementos del segundo grupo asciende a entre el 0 % y el 2 % en peso, y siendo el resto hasta el 100 % en peso de cobre e impurezas resultantes de la producción de los elementos.
2. Elemento de cojinete liso multicapa (1) según la reivindicación 1, **caracterizado porque** la aleación a base de cobre de la capa adicional (4) contiene zinc o estaño.
3. Elemento de cojinete liso multicapa (1) según las reivindicaciones 1 o 2, **caracterizado porque** la proporción de la suma de los elementos del primer grupo consistente en cinc, estaño, aluminio, manganeso, níquel, silicio, cromo asciende a entre el 0,5 % en peso y el 15 % en peso.
4. Elemento de cojinete liso multicapa (1) según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizado porque** la aleación a base de cobre de la capa adicional (4) contiene entre el 0,01 % en peso y el 5 % en peso de zinc.
5. Elemento de cojinete liso multicapa (1) según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, **caracterizado porque** la aleación a base de cobre de la capa adicional (4) contiene entre el 0,01 % en peso y el 10 % en peso de estaño.
6. Elemento de cojinete liso multicapa (1) según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, **caracterizado porque** la aleación a base de cobre de la capa adicional (4) contiene entre el 0,01 % en peso y el 7,5 % en peso de aluminio.
7. Elemento de cojinete liso multicapa (1) según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, **caracterizado porque** la aleación a base de cobre de la capa adicional (4) contiene entre el 0,01 % en peso y el 5 % en peso de manganeso.
8. Elemento de cojinete liso multicapa (1) según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, **caracterizado porque** la aleación a base de cobre de la capa adicional (4) contiene entre el 0,01 % y el 5 % en peso, en particular entre el 0,01 % y el 2 % en peso, de níquel.
9. Elemento de cojinete liso multicapa (1) según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, **caracterizado porque** la aleación a base de cobre de la capa adicional (4) contiene entre el 0,01 % en peso y el 3 % en peso de silicio.
10. Elemento de cojinete liso multicapa (1) según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, **caracterizado porque** la aleación a base de cobre de la capa adicional (4) contiene entre el 0,01 % y el 1,5 % en peso, en particular entre el 0,01 % y el 1 % en peso, de cromo.
11. Elemento de cojinete liso multicapa (1) según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10, **caracterizado porque** la aleación a base de cobre de la capa adicional (4) contiene entre el 0,3 % y el 0,8 % en peso de azufre.
12. Elemento de cojinete liso multicapa (1) según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11, **caracterizado porque** la aleación a base de cobre de la capa adicional (4) contiene entre el 0,01 % en peso y el 0,1 % en peso de fósforo.
13. Elemento de cojinete liso multicapa (1) según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 12, **caracterizado porque** la aleación a base de cobre de la capa adicional (4) contiene entre el 0,3 % y el 1,5 % en peso de hierro.
14. Elemento de cojinete liso multicapa (1) según una de las reivindicaciones 1 a 13, **caracterizado porque** los precipitados sulfídicos (10) están distribuidos homogéneamente en toda la capa adicional (4).
15. Elemento de cojinete liso multicapa (1) según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 13, **caracterizado**

porque los precipitados sulfídicos (10) se forman sólo dentro de una capa parcial (12) de la aleación a base de cobre de la capa adicional (4).

5 16. Elemento de cojinete liso multicapa (1) según la reivindicación 15, **caracterizado porque** la capa parcial (12) presenta un espesor de capa (13) que está comprendido entre el 5 % y el 85 % del espesor total de capa (11) de la capa adicional (4).

10 17. Elemento de cojinete liso multicapa (1) según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 16, **caracterizado porque** los precipitados sulfídicos consisten en al menos el 50 % por unidad de superficie en una mezcla de sulfuros de cobre y sulfuros de hierro.

18. Elemento de cojinete liso multicapa (1) según la reivindicación 17, **caracterizado porque** la proporción de sulfuros de cobre en la mezcla de sulfuros de cobre y sulfuros de hierro es de al menos el 60 % por unidad de superficie.

Fig.1

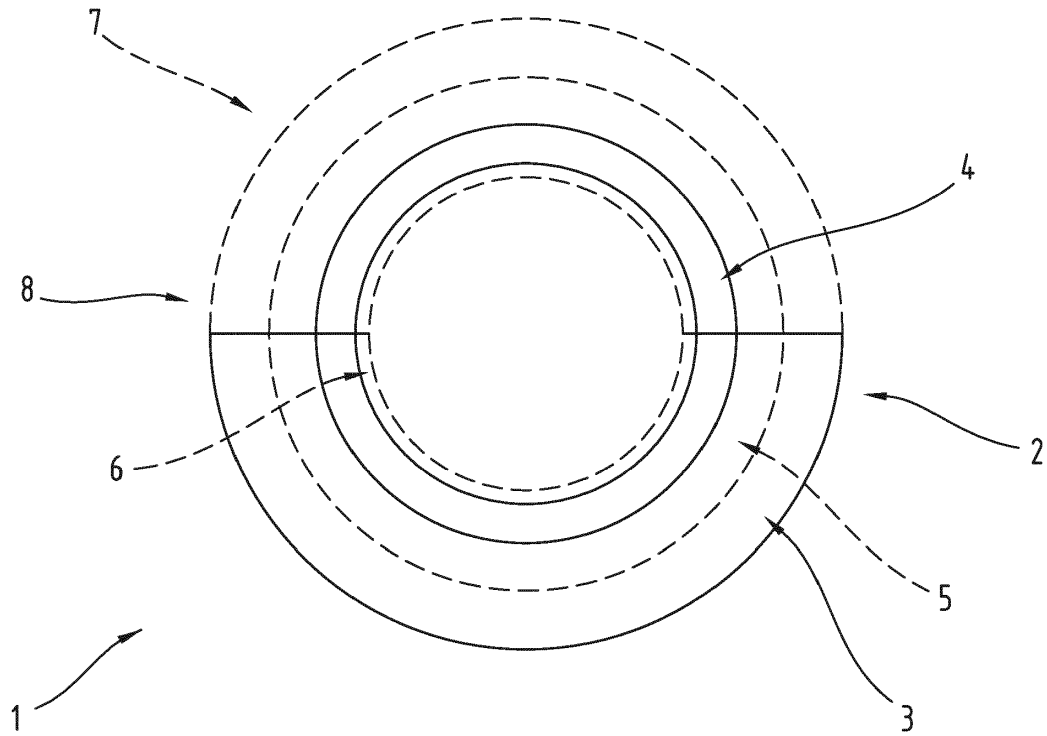


Fig.2

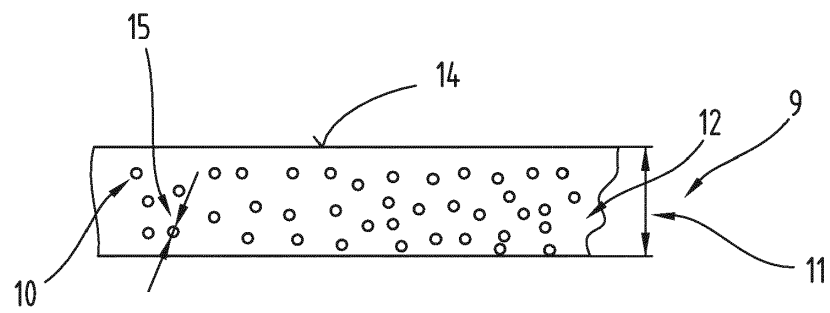


Fig.3

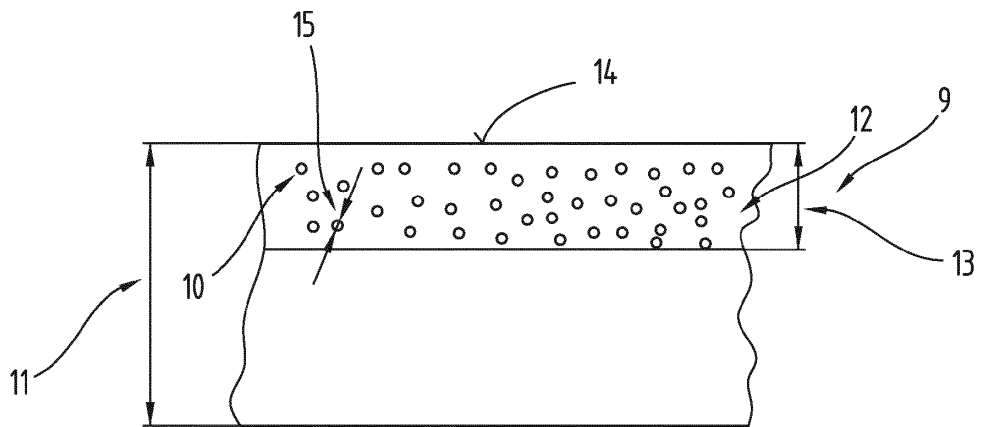


Fig.4

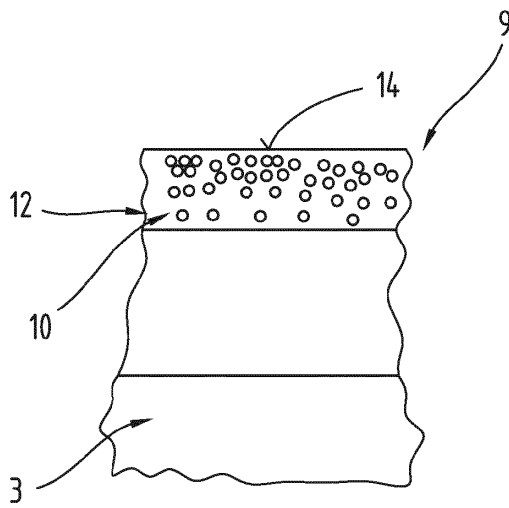


Fig.5

