



República Federativa do Brasil
Ministério do Desenvolvimento, Indústria
e do Comércio Exterior
Instituto Nacional da Propriedade Industrial.

(21) **PI 1010389-9 A2**

(22) Data de Depósito: 08/12/2010
(43) Data da Publicação: 26/12/2012
(RPI 2190)



(51) *Int.Cl.:*
F16C 33/12
C22C 13/02
C25D 3/60
C25D 5/02
C25D 7/10

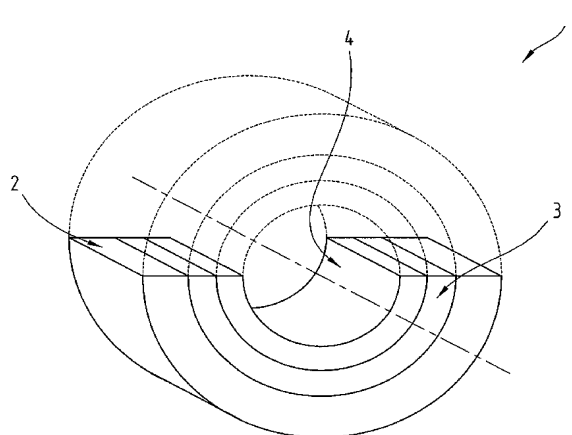
(54) **Título:** REVESTIMENTO ANTI-FRICÇÃO

(30) **Prioridade Unionista:** 10/12/2009 AT A 1957/2009

(73) **Titular(es):** Miba Gleitlager GmbH

(72) **Inventor(es):** Jakob Zidar

(57) **Resumo:** REVESTIMENTO ANTI - FRICÇÃO. A invenção se refere a um revestimento anti-fricção (4) fabricado de uma liga à base de estanho que, além do estanho, contém pelo menos um outro elemento do grupo compreendendo antimônio e cobre, opcionalmente chumbo e/ou bismuto e opcionalmente pelo menos um elemento formando um grupo compreendendo zircônio, silício, zinco, níquel e prata e a proporção de antimônio sendo no máximo de 20% em peso, a proporção de cobre sendo no máximo de 10% em peso, a proporção total do chumbo e do bismuto sendo no máximo de 1,5% em peso, a proporção total de cobre e antimônio sendo de pelo menos 2% em peso e a proporção total de zircônio, silício, zinco, níquel e prata sendo no máximo de 3% em peso e o estanho estando presente ligado na forma de fases intermetálicas e livremente na forma de uma fase de estanho com grãos beta-estanho. Os grãos de estanho com uma estrutura de beta-estanho possuem um tamanho médio em μm que é calculado com base na fórmula $K = A/(S + 3^{\circ} + O)$ e os grãos de estanho com uma estrutura beta-estanho na liga à base de estanho em qualquer caso possuem um tamanho de grão médio de pelo menos 2,5 μm .



REVESTIMENTO ANTI-FRICÇÃO

A invenção se refere a um revestimento anti-fricção para mancal de fricção de múltiplas camadas fabricado de uma liga com uma base de estanho que, além do estanho, contém pelo menos um elemento do grupo consistindo em antimônio e cobre como o elemento de liga principal, opcionalmente chumbo e/ou bismuto e pelo menos um elemento de um grupo compreendendo zircônio, silício, zinco, níquel e prata e impurezas inevitáveis originando-se dos elementos durante o processo de fabricação e a proporção de antimônio sendo no máximo de 20% em peso, a proporção de cobre sendo no máximo de 10% em peso, a proporção total do chumbo e do bismuto sendo no máximo de 1,5% em peso, a proporção total de cobre e antimônio sendo de pelo menos 2% em peso e a proporção total de zircônio, silício, zinco, níquel e prata sendo no máximo de 3% em peso e o estanho estando presente ligado na forma de fases intermetálicas e livremente na forma de uma fase de estanho com grãos beta-estanho, um mancal de fricção de múltiplas camadas compreendendo pelo menos uma camada de base metálica, um revestimento anti-fricção e opcionalmente uma camada de metal patente disposta entre o revestimento anti-fricção e a camada de base de metal, bem como um método para fabricação do revestimento anti-fricção.

O uso de ligas à base de estanho para revestimentos anti-fricção de mancais de fricção de múltiplas camadas já é conhecido da técnica anterior.

Por exemplo, o documento DE 82 06 353 U1 descreve uma carcaça de mancal de anti-fricção compreendendo um revestimento de base de aço, uma camada de metal patente,

opcionalmente uma ou mais camadas de ligação e/ou bloqueio, bem como um revestimento anti-fricção depositado galvanicamente fabricado de uma liga para mancal de metal branco sobre uma base de estanho contendo no máximo 2% em peso de Cu, 2 a 18% em peso de Sb, 0 a no máximo 0,6% em peso de As, 0 a no máximo 0,5% em peso de Ni e 0 a no máximo 1,5% em peso de Cd.

O documento DE 20 2007 018 616 U1 descreve um elemento anti-fricção que também possui um revestimento anti-fricção depositado galvanicamente sobre uma camada de base fabricada de uma liga à base de estanho contendo 5-20% em peso de Sb, 0,5-25% em peso de Cu e no máximo 0,7% em peso de Pb. O teor total de todos os outros elementos é inferior a 0,5% em peso. O aspecto chave neste exemplo é que os cristais de estanho estão predominantemente na forma globular.

No caso do primeiro dos documentos citados acima, DE 82 06 353 U1, uma proporção mais alta de cobre representa uma desvantagem em termos de propriedades tribológicas do revestimento anti-fricção, porém o ensinamento revelado neste documento, DE 20 2007 018 616 U1 é explicitamente o oposto disto.

De modo a evitar a redução da proporção de cobre no revestimento anti-fricção, o documento GB 2 375 801 A descreve um mancal de múltiplas camadas possuindo um revestimento anti-fricção em camada dupla, e a camada parcial externa é fabricada de uma liga à base de estanho contendo 0,5-10% em peso de Cu e opcionalmente até 5% em peso de Zn, In, Sb ou Ag e a segunda camada parcial repousando abaixo é fabricada de uma liga à base de estanho

contendo 5-20% em peso de Cu.

O documento DE 10 2007 030 017 B4 revela um revestimento anti-fricção contendo uma liga à base de estanho para um assim denominado mancal ranhurado e essa
5 liga à base de estanho é incorporada às ranhuras do revestimento anti-fricção e contém até 20% em peso de Cu e opcionalmente até 10% em peso de Ag e até 15% em peso de Sb.

O documento DE 100 54 461 A1 também descreve um
10 mancal de fricção de múltiplas camadas com um revestimento anti-fricção em três camadas com uma base de estanho projetada para aumentar a resistência ao desgaste corrosivo. Esta liga à base de estanho contém pelo menos um metal de um grupo compreendendo Cu, Sb, Ag, In, Zn, Ni, Co
15 e Fe em uma proporção de até 30% em peso. Partículas rígidas na forma de nitretos ou carbonetos podem também ser incorporadas em uma proporção de até 25% em volume. A camada mediana do revestimento anti-fricção contém uma proporção maior destes aditivos que as camadas parciais
20 superior e inferior.

O documento DE 197 28 777 revela um revestimento anti-fricção para um mancal de fricção de múltiplas camadas que, além do estanho, contém entre 3 e 20% em peso de Cu e
25 opcionalmente até 20% em peso de Bi, Ag ou Ni respectivamente.

No passado, os revestimentos de chumbo foram usados frequentemente como camadas anti-fricção uma vez que o chumbo apresenta vantagens significativas em relação ao estanho. Contudo, o chumbo é problemático, uma vez que é um
30 elemento perigoso para o meio ambiente.

O objetivo da invenção é propor um revestimento anti-fricção que apresente um teor baixo de chumbo ou seja isento de chumbo.

Este objetivo é encontrado, independentemente em
5 cada caso, por um revestimento anti-fricção do tipo
ressaltado acima, onde grãos de estanho têm como base uma
estrutura de beta-estanho com um tamanho médio, com pelo
menos um valor em μm calculado usando a fórmula $K = A / (S +$
 $3 \cdot C + O)$ onde K representa um tamanho de grão médio em μm ,
10 A representa um fator, S representa a proporção de liga do
antimônio em % em peso, C representa a proporção de liga
total do cobre, prata, níquel, e O representa a proporção
de liga total do chumbo, bismuto, zinco, outros elementos
de liga e partículas não metálicas tais como uma
15 porcentagem em peso. O fator A apresenta o valor 50,
especificamente 70, preferivelmente 100 e os grãos de
estanho com uma estrutura beta-estanho na liga com base em
estanho em qualquer evento apresentam um tamanho de grão
médio de pelo menos 2,5 μm devido ao mancal de fricção de
20 múltiplas camadas descrito acima, que é provido com um
revestimento anti-fricção proposto pela invenção e devido
ao método de produção do revestimento anti-fricção, pelo
que, é empregado um eletrólito que apresenta uma
concentração de estanho entre 0,1 mol/L e 1 mol/L, uma
25 concentração de antimônio e/ou cobre de até no máximo 0,3
mol/L respectivamente e que contém, opcionalmente, uma
concentração de chumbo e/ou bismuto de no máximo 0,1 mol/L
respectivamente e que contém, opcionalmente, uma
concentração de pelo menos um elemento do grupo
30 compreendendo zircônio, silício, zinco, níquel e prata de

0,3 mol/L respectivamente e o processo de deposição é realizado em uma densidade corrente de pelo menos 1,2 A/dm².

Conforme proposto pela invenção, os grãos de estanho com uma estrutura beta-estanho são tão grandes quanto possível, porém não superiores aqueles em uma liga de estanho da mesma composição que não é fabricada pelo método conforme proposto pela invenção. Devido aos grãos de estanho maiores, os processos de difusão ao longo das vizinhanças dos grãos são reduzidos e, conseqüentemente, também os mecanismos associados que fazem com que os mancais anti-fricção falhem, tais como, deslizamento nas vizinhanças dos grãos, por exemplo, ou uma redução no teor de cobre, apresentando como resultado o fato do mancal anti-fricção ser capaz de permanecer em operação por mais tempo.

A fim de aperfeiçoar ainda mais a resistência ao cisalhamento, isto é, a fim de fornecer maior rigidez ao revestimento anti-fricção, será vantajoso se a liga à base de estanho for ligada com pelo menos um elemento de um grupo compreendendo zircônio, silício, zinco, níquel e prata em uma proporção no total de no máximo 3% em peso. Com relação a isto, a proporção de zircônio pode também ser de no máximo 1,5% em peso e aquela do silício de no máximo 1,2% em peso.

As concentrações especificadas acima se referem aos íons metálicos ou opcionalmente aos metais como tal, contanto que eles estejam presentes como elementos ou na forma de partículas de liga.

Neste estágio, seria ressaltado que os grãos

geralmente possuem um hábito irregular. Por exemplo, os grãos de estanho podem ser mais ou menos globulares por um lado e conformados em bastão por outro lado, em outras palavras, se estenderem em uma direção. Neste contexto, 5 todas as transições entre estes dois extremos são também possíveis. A expressão "maior dimensão" dentro do significado da invenção se refere a aquela dimensão que é a maior em termos de seu valor, em outras palavras, no caso da variante conformada em bastão, a dimensão na extensão 10 longitudinal. Em outras palavras, esta expressão define o diâmetro do círculo invólucro ou a esfera invólucro pela qual um grão de estanho é envolvido.

A fórmula levou em consideração o fato de que os elementos de liga adicionados à liga à base de estanho, em 15 outras palavras, cobre, antimônio, chumbo ou bismuto, por exemplo, possuem um efeito de refino de grão nos grãos de beta-estanho, como resultado de que quanto maior o teor da liga destes outros elementos de liga, mais difícil se torna depositar os grãos grossos ou os grãos se tornam mais 20 grossos, por exemplo, sujeitando o revestimento anti-fricção aos tratamentos de aquecimento.

No contexto da invenção, o tamanho de grão médio se refere à média aritmética calculada dos valores da dimensão maior e menor deste grão se o grão for considerado como uma 25 média geométrica, tornando-se visível em uma seção transversal através do padrão do grão e o valor médio é calculado com base no maior grão visível no padrão de grão para os grãos menores até a soma das superfícies em seção transversal dos grãos usados para calcular o valor médio 30 representar 80% da superfície em seção transversal total de

todos os grãos beta-estanho.

Este método leva em consideração o fato de que na produção de uma amostra em seção transversal dos grãos, os grãos nas vizinhanças dos pontos de quina são também cortados, pelo que, reduzindo sua influência no resultado de medição.

O tamanho do grão determinado desta maneira geralmente combina muito proximamente ao tamanho do grão típico medido nos últimos grãos representativos.

Os processos de gravação galvânica físicos ou químicos ou métodos de feixe de elétrons (EBSD) podem ser usados como um meio de distinguir grãos beta-estanho dos grãos dos compostos intermetálicos.

Os grãos de estanho com uma estrutura beta-estanho na liga de base estanho possuem preferivelmente um tamanho de grão médio de pelo menos 5 μm , especificamente de pelo menos 7 μm , mais específica e preferivelmente de pelo menos 9 μm .

No caso de uma variação, os grãos beta-estanho possuem um tamanho de grão médio dentro de uma faixa de 2,5 μm a 40 μm . Abaixo de um tamanho de grão de 2,5 μm , o efeito específico não foi observado a um grau suficiente. De modo interessante, contudo, uma deterioração da resistência ao desgaste foi observada se o tamanho médio do grão dos grãos de beta-estanho exceder 40 μm . Presume-se que uma deterioração adicional da estrutura existente conduza a abrasão excessiva.

As concretizações preferidas do revestimento anti-fricção são aquelas onde os grãos de beta-estanho apresentam um tamanho médio de grão dentro de uma faixa de

5 µm a 40 µm, especificamente de 10 µm a 40 µm, dentro do contexto da invenção.

Se a espessura de revestimento do revestimento anti-fricção for inferior a 41 µm, seria verificado que a resistênci
5 a resistênci
seria aperfeiçoada se os grãos de beta-estanho apresentassem um tamanho médio de grão de um oitavo, preferivelmente um quarto da espessura de revestimento do revestimento anti-fricção. Neste caso, o efeito é
10 preservado, mesmo no caso do revestimento anti-fricção sofrer abrasão parcial devido ao desgaste por um período de tempo mais longo.

No contexto da invenção, é preferível que a proporção de antimônio esteja entre 5% em peso e 15% em
15 peso e que o teor de cobre esteja entre 0,5% em peso e 5% em peso. Isto permite a produção de revestimentos anti-fricção que além de exibirem boas propriedades de embutimento também ofereçam melhor resistênci
a ao desgaste, mesmo que os grãos de beta-estanho tenham o tamanho
20 vantajoso desejado.

Especificamente, a proporção de antimônio pode estar entre 7% em peso e 12% em peso e o teor de cobre pode estar entre 1% em peso e 3,75% em peso.

Embora a intenção tivesse sido a princípio a de se
25 obter revestimentos anti-fricção isentos de chumbo, foi verificado ser possível, dentro do contexto da invenção, optar por um teor de carga de no máximo 0,1% em peso, especificamente no máximo 0,05% em peso, o que ainda seria permissível, e estas concretizações da invenção podem ainda
30 ser consideradas como isentas de chumbo dentro do

significado do EU's End-of-Life Vehicles Directive (Directive 2000/53/EC "ELV Directive").

Para algumas aplicações, contudo, foi provado como sendo vantajoso se as ligas à base de estanho tivessem um teor de chumbo e/ou bismuto maior, embora em tais situações, o teor de chumbo e/ou bismuto seja limitado a um valor entre 0,2% em peso e 0,5% em peso, especificamente a um valor entre 0,2% em peso e 0,35% em peso. Presume-se que o chumbo se acumule nas vizinhanças dos grãos e aumente a sua resistência. O bismuto obviamente preenche a mesma função e pode substituir o chumbo nas ligas isentas de chumbo.

Um aumento no teor de chumbo e/ou bismuto além de 1,5% em peso conduz a uma diminuição acentuada na resistência ao calor do revestimento de liga e, portanto, não oferece quaisquer vantagens.

Uma concretização oferece uma opção na qual o zircônio e o silício não estão presentes como elementos ou como fases intermetálicas e ao invés disto, a liga à base de estanho também contém oxigênio e/ou carbono, o que significa que existem partículas rígidas de ZrO_2 e SiC dispersas através da liga à base de estanho, o que da mesma forma permite que a resistência do revestimento anti-fricção seja aperfeiçoada.

Com relação a isto, seria vantajoso se estas partículas de ZrO_2 e SiC tivessem um tamanho de grão entre 0,01 μm e 1 μm a fim de se obter o tamanho de grão desejado dos grãos de beta-estanho.

No caso de uma concretização do mancal de fricção de múltiplas camadas, um revestimento intermediário é

disposto entre a camada de metal patente e o revestimento anti-fricção, que compreende um ou mais revestimentos parciais que são depositados galvanicamente ou aplicados por difusão e cada um dos revestimentos parciais ou o
5 revestimento intermediário propriamente contém um ou mais elementos do grupo compreendendo cromo, níquel, ferro, cobalto e estanho. Com base nisto, foi possível obter rigidez estrutural melhor do mancal de fricção de múltiplas camadas, particularmente considerando-se a liga à base de
10 estanho relativamente macia do revestimento anti-fricção.

Com relação a isto, será vantajoso se o revestimento apresentar uma rigidez que seja pelo menos três vezes maior que a rigidez do revestimento anti-fricção e for também maior que a rigidez do material de base ao
15 qual o revestimento intermediário for aplicado, pelo que, resultando em melhor suporte para o revestimento anti-fricção sobre a base, tal que o revestimento anti-fricção apresenta propriedades tribológicas melhores e seja mais macio.

20 Será também vantajoso se a rigidez do revestimento intermediário for pelo menos cinco vezes maior que a rigidez do revestimento anti-fricção.

Com base em uma variante do método para aumento do tamanho dos grãos de beta-estanho, o revestimento anti-
25 fricção aplicado por deposição galvânica é tratado com aquecimento em uma temperatura selecionada de uma faixa entre 130°C e 220°C por um período selecionado de uma faixa entre 0,5 e 100 horas.

De modo a prover um entendimento mais claro, a
30 invenção será explicada em mais detalhes com referência aos

desenhos apensos.

Apenso encontra-se um desenho esquematicamente simplificado ilustrando:

Figura 1 - um mancal de fricção de múltiplas camadas na forma de uma meia carcaça de mancal de fricção.

A figura 1 mostra uma seção transversal através de um mancal de fricção de múltiplas camadas 1 na forma de uma meia carcaça de mancal de fricção. A variante ilustrada é uma variante de três camadas do mancal de fricção de múltiplas camadas 1, compreendendo uma camada de base de metal 2, uma camada de metal patente 3 e um revestimento anti-fricção 4. A camada de metal patente 3 está disposta entre o revestimento anti-fricção 4 e a camada de base de metal 2.

A estrutura principal de tal mancal de três camadas, tal como usado nos veículos automotivos, por exemplo, é conhecida da técnica anterior e, portanto, não requer explicação adicional. Contudo, deve ser ressaltado que outros revestimentos podem ser empregados, por exemplo, um revestimento para fornecer adesão pode ser aplicado entre o revestimento de anti-fricção 4 e a camada de metal patente 3 e/ou um revestimento de barreira de difusão e um revestimento adesivo podem ser providos da mesma forma entre a camada de metal patente 3 e a camada de base de metal 2.

Dentro do contexto da invenção, o mancal de fricção de múltiplas camadas 1 pode também ser de um projeto diferente, por exemplo, uma bucha de mancal conforme indicado pelas linhas pontilhadas na figura 1. Outras concretizações possíveis incluem anéis sincronizadores,

blocos de deslizamento estendendo-se axialmente ou semelhantes.

Outra possibilidade oferecida dentro do contexto da invenção é dispensar a camada de metal patente 3, no qual
5 caso o revestimento anti-fricção 4 é aplicado à camada de base de metal 2 tanto diretamente quanto com um adesivo aplicado entre e/ou um revestimento de barreira de difusão à camada de base de metal 2. Também dentro do escopo da invenção, os revestimentos podem ser aplicados diretamente,
10 por exemplo, para conectar olhais de barra, no qual caso a camada de base de metal 2 não é necessariamente de um projeto em camadas.

A camada de base de metal 2 é geralmente fabricada de aço ou um material que fornece a resistência estrutural
15 necessária ao mancal de fricção em múltiplas camadas 1. Tais materiais são conhecidos na técnica anterior.

Várias ligas diferentes podem ser usadas para a camada de metal patente 3, tais como aquelas usadas como padrão para elementos de mancal de anti-fricção. Exemplos
20 são os metais patente com uma base de alumínio, por exemplo, AlSn6CuNi, AlSn20Cu, AlSi4Cd, AlCd3CuNi, AlSi11Cu, AlSn6Cu, AlSn40, AlSn25CuMn, AlSi11CuMgNi, AlZn4Si, ou metais patente com uma base de cobre, por exemplo, CuSn10, CuAl10Fe5Ni5, CuZn31Si, CuPb24Sn2, CuSn8Bi10, CuSn4Zn.

25 Naturalmente, os metais patente que não aqueles listados acima podem também ser usados.

Conforme proposto pela invenção, o revestimento anti-fricção 4 é fabricado de uma liga à base de estanho, contendo pelo menos um elemento de um grupo compreendendo
30 antimônio e cobre e opcionalmente chumbo e/ou bismuto. A

proporção do antimônio é de no máximo 20% em peso, especificamente entre 5% em peso e 15% em peso que aquela do cobre no máximo 10% em peso, especificamente entre 0,5% em peso e 5% em peso. A proporção total do chumbo e/ou bismuto é no máximo de 1,5% em peso, especificamente entre 0,2% em peso e 0,5% em peso. Se ambos o antimônio e o cobre forem usados, a proporção total destes elementos será de pelo menos 2% em peso, especificamente entre 2% em peso e 22% em peso. A fim de se obter ligas à base de estanho isentas de chumbo, conforme proposto pela invenção, o teor de chumbo é restrito a no máximo 0,1% em peso, preferivelmente no máximo 0,05% em peso.

A fim de reforçar a matriz de estanho, outra opção é que as ligas à base de estanho contenham pelo menos um elemento de um grupo consistindo em zircônio, silício, zinco, níquel e prata, no qual caso sua proporção é limitada a no máximo 3% em peso. Com relação a isto, o zircônio e o silício podem não estar necessariamente presentes como fases intermetálicas e ao invés disto podem estar na forma de partículas de ZrO_2 ou SiC. Neste caso, será vantajoso se o diâmetro médio destas partículas for limitado a 0,01 μm até 1 μm , especificamente 0,05 μm a 0,75 μm .

A espessura de revestimento do revestimento anti-fricção 4 pode estar entre 10 μm e 2.000 μm . Com relação a isto, as espessuras de revestimento entre 500 μm e 2.000 μm são usadas se um revestimento for aplicado diretamente à camada de base de metal 1, considerando-se que as espessuras de revestimento entre 100 μm e 400 μm são preferivelmente usadas se o revestimento anti-fricção 4 for

empregado como uma substituição para os metais brancos fundidos sobre bronze, por exemplo, e quando do emprego do revestimento anti-fricção 4 como uma camada operacional nos mancais fabricados dos três materiais, sendo preferível
5 optar pelas espessuras de revestimento entre 15 μm e 40 μm .

Conforme mencionado acima, um revestimento intermediário pode também ser aplicado ao mancal de fricção de múltiplas camadas 1. Estes revestimentos intermediários podem compreender tanto uma camada simples ou serem
10 fabricados de vários revestimentos parciais. Especificamente, estes revestimentos intermediários são fabricados de um elemento do grupo consistindo em cromo, níquel, ferro, cobre ou estanho e variantes mistas são também possíveis, por exemplo, é possível utilizar
15 revestimentos intermediários contendo pelo menos dois destes elementos, por exemplo, cromo e níquel ou ferro e estanho. No caso de revestimentos intermediários fabricados de vários revestimentos parciais, as proporções nos revestimentos parciais individuais podem ser diferentes,
20 por exemplo, o teor de enrijecimento dos elementos de liga, a saber, cromo, níquel, ferro, cobre pode ser aplicado começando do revestimento parcial mais externo debaixo do revestimento anti-fricção 4 na direção da camada de metal patente 3 ou a camada de base de metal 2 pode ter um
25 revestimento parcial que aumenta na direção do (respectivo) próximo revestimento parcial, por exemplo, na forma de um gradiente.

De modo a fornecer adesão, foi provado como sendo vantajoso se um revestimento de estanho ou um revestimento
30 de uma liga à base de estanho fosse usado como o

revestimento intermediário do mancal de fricção de múltiplas camadas 1 proposto pela invenção.

Ao invés dos revestimentos especificados, preferivelmente intermediários, seria também possível usar
5 outros revestimentos conhecidos na técnica.

O revestimento intermediário ou o total dos revestimentos parciais pode ter uma espessura de revestimento entre 0,5 μm e 10 μm , preferivelmente 1 μm respectivamente 4 μm . Será especificamente vantajoso se
10 este revestimento intermediário como um todo ou pelo menos um dos revestimentos parciais for três vezes mais rígido que o revestimento anti-fricção 4 e preferivelmente mais rígido que o material de base. O revestimento anti-fricção 4 pode ter uma rigidez com base em Vickers de 10 a 50 por
15 exemplo, de modo que o revestimento intermediário ou pelo menos um dos revestimentos parciais possa ter uma rigidez de HV 80 a HV 300. O nível da força de teste dependerá da espessura de revestimento do revestimento a ser medida em um modo propriamente conhecido. Até uma espessura de
20 revestimento de 40 μm , uma força de teste entre 9,81 mN e 29,42 mN é empregada e entre 80 μm e 300 μm uma força de teste de até 98,1 mN é empregada.

O revestimento anti-fricção 4 é produzido preferivelmente de forma galvânica. Para este fim, uma tira
25 bimetálica fabricada de uma camada de proteção de aço e uma camada de metal patente 3 é produzida primeiro e opcionalmente reconformada e/ou processada por remoção do material. O revestimento anti-fricção 4 proposto pela invenção é depositado na camada de metal patente 3, por
30 exemplo, sob as seguintes condições:

Eletrólito e parâmetros de deposição para SnSb6Cu

Sn ... 60 g/L (como tetrafluorborato de estanho II)

Sb ... 3 g/L (como trifluoreto de antimônio)

Cu ... 0,5 g/L (como tetrafluorborato de cobre II)

5 Estabilizador(es) e eletrólito(s) de base, sal(is)
condutor(es) ou agentes complexantes

Inibidor(es) de oxidação

Aditivos 1 e/ou 2

Densidade de corrente ... 3 A/dm²

10 Temperatura 30°C

Eletrólito e parâmetros de deposição para
SnSb11Cu4Pb

Sn ... 50 g/L (como tetrafluorborato de estanho II)

Sb ... 6 g/L (como trifluoreto de antimônio)

15 Cu ... 4 g/L (como tetrafluorborato de cobre II)

Bi ..0,2 g/L (como tetrafluorborato de chumbo (III))

Estabilizador(es) e eletrólito(s) de base, sal(is)
condutor(es) ou agentes complexantes

Inibidor(es) de oxidação

20 Aditivos 1 e/ou 2

Densidade de corrente ... 5 A/dm²

Temperatura 15°C

Eletrólito e parâmetros de deposição para
SnSb4Cu4Bi

25 Sn ... 50 g/L (como metanossulfonato de estanho II)

Sb ... 5 g/L (como trifluoreto de antimônio)

Cu ... 4 g/L (como metanossulfonato de cobre II)

Bi ..0,2 g/L (como metanossulfonato de bismuto

(III))

30 Estabilizador(es) e eletrólito(s) de base, sal(is)

condutor(es) ou agentes complexantes

Inibidor(es) de oxidação

Aditivos 1 e/ou 2

Densidade de corrente ... 1,5 A/dm²

5 Temperatura 22°C

O estanho pode ser usado na forma de tetrafluorborato de estanho (II), metanossulfonato de estanho (II), sulfato de estanho (II), pirofosfato de estanho (II). De modo geral, a concentração de estanho no eletrólito pode estar entre 0,1 mol/L e 1 mol/L.

O antimônio pode ser empregado na forma de tetrafluorborato de antimônio (III), trifloreto de antimônio, óxido de antimônio (III) e tartrato de potássio antimônio. De modo geral, a concentração de antimônio no eletrólito pode ser de até 0,3 mol/L.

O cobre pode ser usado na forma de tetrafluorborato de cobre (II), metanossulfonato de cobre (II), sulfato de cobre (II) e pirofosfato de cobre (II). De modo geral, a concentração de cobre no eletrólito pode ser de até 0,3 mol/L.

O chumbo pode ser empregado na forma de tetrafluorborato de chumbo (II), metanossulfonato de chumbo (II), pirofosfato de chumbo (II) e acetato de chumbo. De modo geral, a concentração de chumbo no eletrólito pode ser de até 0,01 mol/L.

O bismuto pode ser empregado na forma de trifluoreto de bismuto, metanossulfonato de bismuto (III), sulfato de bismuto (III), pirofosfato de bismuto (III). De modo geral, a concentração do bismuto no eletrólito pode ser de até 0,01 mol/L.

A prata pode ser usada na forma de tetrafluorborato de prata, metanossulfonato de prata, pirofosfato de prata, sulfato de prata. De modo geral, a concentração da prata no eletrólito pode ser de até 0,3 mol/L.

5 Zinco pode ser usado na forma de tetrafluorborato de zinco (II), metanossulfonato de zinco (II), sulfato de zinco (II), pirofosfato de zinco (II). De modo geral, a concentração de zinco no eletrólito pode ser de até 0,3 mol/L.

10 Níquel pode ser usado na forma de tetrafluorborato de níquel (II), metanossulfonato de níquel (II), sulfato de níquel (II), pirofosfato de níquel (II). De modo geral, a concentração de níquel no eletrólito pode ser de até 0,3 mol/L.

15 Os estabilizadores e eletrólitos de base, sais condutores ou agentes complexantes possíveis são: ácido tetraflúor-bórico, ácido à base de fluoreto, ácido metano sulfônico, ácido tartárico e seus sais alcalino e amônio, ácido cítrico e seus sais alcalino e amônio,
20 de amônio e alcalino, ácido fosfônico e seus sais alcalino e amônio, 2,2-etileno ditiol dietanol, ácidos fenol e cresol sulfônicos, em uma concentração total entre 0,2 mol/L e 2 mol/L.

Inibidores de oxidação possíveis são: resorcinol,
25 hidroquinona, pirocatecol, pirogalol, aldeído fórmico, metanol, em uma concentração entre 0,03 mol/L e 0,3 mol/L.

Aditivos 1 possíveis são: fenol ftaleína, tiouréia e seus derivados, alfa ou beta naftol e seus etoxilatos, ácido alfa e beta naftol sulfônico e seus etoxilados, o-
30 toluidina, hidroxiquinolina, sulfonato de lignina, butien

diol, em uma concentração total entre 0,0005 mol/L e 0,05 mol/L, preferivelmente 0,002 mol/L e 0,02 mol/L.

Aditivos 2 possíveis são: gelatinas, leite de cal, agentes tensoativos não iônicos, polietileno glicol e seus derivados funcionalizados, peptona, glicina, em uma
5 concentração total entre 0 g/L a 20 g/L.

Também seria possível utilizar misturas dos elementos dos eletrólitos listados acima, por exemplo, pelo menos dois sais de ou o respectivo metal e/ou pelo menos
10 dois estabilizadores e/ou pelo menos dois inibidores de oxidação e/ou pelo menos dois aditivos 1 e/ou pelo menos dois aditivos 2.

Zircônio e silício podem ser usados na forma de partículas de ZrO_2 ou SiC com o tamanho de grão
15 especificado disperso no banho.

Zinco, níquel, chumbo, bismuto, prata e outros elementos de liga podem ser adicionados a um eletrólito apropriado na forma dos compostos solúveis ou complexos listados acima e depositados a partir destes. Outro modo de
20 se formar uma liga é por difusão dos elementos no revestimento ou deposição dos mesmos a partir das partículas suspensas no eletrólito.

Se um tamanho de grão adequado não puder ser obtido no estado depositado, outra possibilidade é submeter o
25 revestimento anti-fricção 4 a pelo menos um tratamento térmico, especificamente a uma temperatura entre 130°C e 220°C, especificamente entre 150°C e 215°C, preferivelmente entre 165°C e 190°C, em outras palavras abaixo do primeiro ponto de fusão para a liga, por um período entre meia hora
30 e 100 horas, especificamente entre 1 hora e 10 horas,

preferivelmente entre uma hora e meia e 4 horas, a fim de tornar os grãos de estanho depositados primeiramente mais grossos.

O objetivo deste tratamento térmico atipicamente alto a uma temperatura entre 80% e 98%, preferivelmente 87% e 92% da temperatura de fusão absoluta do estanho (505 K) é obter um desenvolvimento constante dos grãos enquanto reduzindo simultaneamente o número de grãos.

A temperatura do tratamento térmico também está acima da temperatura usual que pode ser antecipada durante a operação normal quando o mancal é ajustado na posição.

No caso dos revestimentos contendo uma proporção total de cobre, níquel, zinco e prata de mais de 3,3% em peso ou uma proporção total de bismuto e chumbo de mais de 0,9% em peso, é vantajoso evitar ultrapassar a temperatura de 200°C, preferivelmente 180°C, durante o tratamento térmico. Isto impede a formação de eutéticos nos elementos de liga concentrados nas vizinhanças dos grãos e fusão.

Os revestimentos anti-fricção produzidos desta maneira possuem uma fase beta-estanho pronunciada, na qual as fases intermetálicas estão presentes com as individuais e/ou entre o(s) outro(s) elemento(s) de liga.

Conforme proposto pela invenção, os grãos de estanho com uma estrutura beta-estanho na liga com base em estanho em qualquer caso possuem um tamanho de grão médio de pelo menos 2,5 μm ou um tamanho de grão médio calculado com base na fórmula especificada acima.

Os grãos de estanho com estrutura beta-estanho contidos na liga com base em estanho são geralmente de tamanhos de grão diferentes. A frequência da ocorrência de

tamanhos de grãos específicos se conforma mais ou menos a uma distribuição normal uma vez que a variação do valor médio (mediano) de inúmeras das variáveis coincidentes mutuamente independentes é suficiente.

5 A vantagem da liga à base de estanho proposta pela invenção é que ela possua um tamanho de partícula médio possível mais alto em comparação às ligas conhecidas na técnica anterior. Especificamente, uma proporção de pelo menos 70% com referência à proporção da superfície transversal visível no padrão transversal, preferivelmente 10 de pelo menos 90%, dos grãos de estanho possui um diâmetro médio de pelo menos 5 μm . A vantagem disto é que se o tamanho de grão máximo das partículas se conformar a uma distribuição normal estreita, a variação dos grãos de tamanho individual da média será no máximo mais ou menos 15 1,5 μm .

Uma vez que os elementos de liga adicionados ao estanho possuem o efeito de refinar os grãos de estanho com uma estrutura beta-estanho, uma concretização da invenção é 20 tal, em termos de tamanho de grão, que os grãos de estanho com uma estrutura beta-estanho possuem um tamanho de grão médio calculado com base na fórmula $K = A / (S + 3^{\circ}\text{C} + O)$ onde K representa um tamanho de grão médio em μm , A representa um fator, S representa a proporção de liga do antimônio em % em peso, C representa a proporção de liga 25 total do cobre, prata, níquel, e O representa a proporção de liga total do chumbo, bismuto, zinco, outros elementos de liga e partículas não metálicas tais como uma % em peso e o fator A apresenta o valor 50, especificamente 70, 30 preferivelmente 100. Por exemplo, uma liga de SnSb_6Cu_1

resultará em um tamanho de grão médio de pelo menos 5,56 μm (= 50/9) respectivamente 7,8 μm (= 70/9) respectivamente 11,1 μm (=100/9), no caso de uma liga de SnSb11Cu4, em um tamanho de grão médio de pelo menos 3,0 μm (= 70/23) respectivamente 4,3 μm (= 100/23). No caso da última das ligas mencionadas acima, o valor 50 para o fator A não é sustentável porque resulta em um tamanho de grão médio que é menor que o valor mínimo da dimensão maior dos grãos de estanho de 2,5 μm .

10 Durante os testes conduzidos no revestimento anti-fricção 4, as composições de liga que se seguem com base na invenção foram produzidas como exemplo. Todas as figuras relacionadas às composições estabelecidas nas Tabelas 1 e 2 a seguir poderiam ser lidas com base na porcentagem em peso. A quantidade remanescente para fabricar até 100% em peso é de estanho em cada caso. A figura fornecida para dimensionar o grão deve ser vista como significando o tamanho médio do grão.

Tabela 1

Exem- plo	Sb	Cu	Pb	Outros	Trata- mento Térmico	Tamanho do grão beta- estanho [μm]	Desgas- te [μm]	Avali- ação visual
1	11	3	0,2		180°C, 5 horas	4,0	3	2,5
2	6	0,5	0,4		215°C, 3 horas	11,0	3	2,0
3	6	0,3	0,3	Zn: 0,1	190°C, 10 horas	10,0	3	2,0
4		2	0,3	Bi: 0,8	135°C, 80 horas	12,0	5	2,5

5		4	<0,05	Ni: 0,2	200°C, 2 horas	8,0	4	1,5
6		3	<0,05	Bi: 0,25	Nenhum	6,0	2	2,0
7	1	5	0,4		150°C, 2 horas	5,0	2	2,5
8		10	0,9	ZrO ₂ : 1,5	178°C, 3 horas	7,0	2	3,0
9	4		1	SiC: 0,3	200°C, 5 horas	9,0	3	2,5
10	5	0,6	0,3	ZrO ₂ : 0,5	150°C, 3 horas	8,0	3	2,0
11	8	3,5	<0,05		Nenhum	4,0	4	3,0
12	9	0,8	<0,05	Bi: 0,3 Zn: 0,3	175°C, 20 horas	6,0	4	2,5
13	10	3		Bi: 0,7	175°C, 10 horas	5,5	3	3,0
14	12	1,3	0,3	Ag: 1,0	150°C, 6 horas	5,0	5	3,0
15	12	5	0,4		115°C, 2 horas	3,5	4	3,0
16	15	4	<0,05		185°C, 4 horas	5,0	2	1,5
17	19	2	0,8	SiC: 1,9	168°C, 1 hora	4,0	2	1,5

Deve ser ressaltado que o tratamento térmico a 115°C no exemplo 15 não é um tratamento térmico dentro do significado da invenção, ou seja, de modo a tornar os grãos de estanho mais grossos e este tratamento térmico é realizado efetivamente para uma finalidade diferente.

De modo a permitir uma comparação, as composições de liga estabelecidas na Tabela 2 foram produzidas e a deposição se realizou galvanicamente de um modo conhecido na técnica.

técnica anterior.

Exemplo	Sb	Cu	Pb	Outros	Tamanho do grão de beta-estanho [μm]	Desgaste [μm]	Avaliação visual
I	6	1	1		4,0	7	3,5
II	5	0,6	0,2	ZrO ₂ : 0,4	5,0	4	2,5
III		6		Zn: 0,8	2,0	5	4,0
IV		4			3,5	8	3,5
V		3	0,3	Ni: 0,5	4,0	7	3,0
VI		6	<0,05		2,0	6	4,0
VII	5	0,5	<0,05		7,0	9	3,5
VIII	10	4	0,4		1,5	4	4,0
IX	15	2	0,1		2,0	12	5,0
X		5		Ag: 2	2,0	3	3,5
XI	8	2		Bi: 0,5	3,0	5	4,0

Os resultados de teste para os exemplos 1 a 17 e I a XI são também estabelecidos nas Tabelas 1 e 2.

Os testes foram conduzidos nas carcaças do mancal de fricção do tipo ilustrado na figura 1, fabricado de uma camada de base de aço 2 e uma camada de metal patente de chumbo-bronze 3 com um revestimento anti-fricção 4 de 25-35 μm de espessura. Os testes nas carcaças de mancal foram conduzidos com uma carga variando gradualmente e uma amplitude de carga específica de 60 mPa por 3 milhões de ciclos de carga em uma velocidade de deslizamento de 12 m/s.

Após o teste, as meias carcaças foram medidas e o desgaste do revestimento anti-fricção 4 foi assim determinado. A resistência à fadiga do revestimento anti-fricção 4 foi avaliada visualmente.

Uma marca de 1 a 5 para a avaliação visual cobre o

estado de muito bom (1: pistas operacionais) a muito fraco (5: rupturas permanentes e pronunciadas em uma área grande da superfície).

Os tamanhos dos grãos foram medidos de micrografias tomadas por microscopia de luz e a avaliação foi conduzida conforme descrito acima. Para esta finalidade, as micrografias foram realizadas em dois planos se estendendo ortogonalmente com relação um ao outro.

Fica claro que, em comparação aos exemplos com base na técnica anterior, os revestimentos anti-fricção com base na invenção exibiram resultados melhores para resistência a fadiga e desgaste, especificamente em uma comparação direta dos revestimentos das mesmas composições químicas ou semelhantes.

Foi verificado, a partir de todos os resultados de teste compilados nem todos tendo sido reproduzidos no presente documento, que revestimentos anti-fricção 4 vantajosos foram obtidos em termos de resistência ao desgaste e tendência ao agarre se os grãos de beta-estanho tivessem um tamanho de grão mínimo e excedessem um valor específico de uma dimensão predominante em pelo menos uma direção.

Em outra concretização da invenção, os grãos de beta-estanho podem ter um tamanho de grão médio que é pelo menos 50%, preferivelmente pelo menos 100%, especificamente de pelo menos 200%, superior ao tamanho de grão médio das fases intermetálicas do revestimento anti-fricção 4 e as explicações fornecidas acima com relação ao termo "médio" seriam aplicadas. Isto também aperfeiçoa os efeitos descritos acima.

As concretizações descritas e os exemplos representam variações possíveis do revestimento anti-fricção 4 e mancal de fricção de múltiplas camadas 1 devendo ser ressaltado que este estágio da invenção não é 5 restrito às variações especificamente descritas.

Lista de Números de Referência

1. mancal de fricção de múltiplas camadas
2. camada de base de metal
3. camada de metal patente
- 10 4. revestimento anti-fricção.

REIVINDICAÇÕES

1. Revestimento anti-fricção (4) para um mancal de fricção de múltiplas camadas (1) fabricado de uma liga à base de estanho que, além do estanho, contém pelo menos um outro elemento do grupo compreendendo antimônio e cobre como o elemento de liga principal, opcionalmente chumbo e/ou bismuto e pelo menos um elemento de um grupo compreendendo zircônio, silício, zinco, níquel e prata e impurezas inevitáveis originando-se dos elementos usados para sua produção e a proporção de antimônio sendo no máximo de 20% em peso, a proporção de cobre sendo no máximo de 10% em peso, a proporção total do chumbo e do bismuto sendo no máximo de 1,5% em peso, a proporção total de cobre e antimônio sendo de pelo menos 2% em peso e a proporção total de zircônio, silício, zinco, níquel e prata sendo no máximo de 3% em peso e o estanho estando presente ligado na forma de fases intermetálicas e livremente na forma de uma fase de estanho com grãos beta-estanho, caracterizado pelo fato de que os grãos de estanho com uma estrutura de beta-estanho possuem um tamanho médio com pelo menos um valor em μm calculado com base na fórmula $K = A / (S + 3^{\circ}\text{C} + O)$ onde K representa um tamanho de grão médio em μm , A representa um fator, S representa a proporção de liga do antimônio em % em peso, C representa a proporção de liga total do cobre, prata, níquel, e O representa a proporção de liga total do chumbo, bismuto, zinco, outros elementos de liga e partículas não metálicas tais como uma % em peso e o fator A apresenta o valor 50, especificamente 70, preferivelmente 100 e o tamanho de grão médio indica a média aritmética dos valores calculados tomando-se cada grão como uma média

geométrica da maior e menor dimensão deste grão como visível em um padrão de grão e o cálculo é repetido para determinar o maior grão perceptível no padrão através dos menores grãos até a soma das superfícies de seção transversal dos grãos usados para determinar a média representar 80% da área de seção transversal de todos os grãos beta-estanho e os grãos de estanho com uma estrutura de beta-estanho na liga à base de estanho em qualquer evento possuem um tamanho de grão médio de pelo menos 2,5 μm .

2. Revestimento anti-fricção (4), de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que os grãos de estanho com uma estrutura de beta-estanho possuem um tamanho de grão médio em uma faixa de 2,5 μm a 40 μm .

3. Revestimento anti-fricção (4), de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 ou 2, caracterizado pelo fato de que os grãos de estanho com uma estrutura beta-estanho possuem um tamanho de grão médio que é superior a um oitavo da espessura média do revestimento anti-fricção, se esta for inferior a 41 μm e o tamanho de grão médio é a média aritmética obtida de pelo menos cinco valores individuais para a dimensão maior do grão de estanho.

4. Revestimento anti-fricção (4), de acordo com qualquer uma das reivindicações 1, 2 ou 3, caracterizado pelo fato de que a proporção do antimônio está entre 5% em peso e 15% em peso.

5. Revestimento anti-fricção (4), de acordo com qualquer uma das reivindicações 1, 2, 3 ou 4, caracterizado pelo fato de que o teor de cobre está entre 0,5% e 5% em peso.

6. Revestimento anti-fricção (4), de acordo com qualquer uma das reivindicações 1, 2, 3, 4 ou 5, caracterizado pelo fato de que o teor de chumbo e/ou o teor de bismuto está entre 0,2% e 0,5% em peso.

5 7. Revestimento anti-fricção (4), de acordo com qualquer uma das reivindicações 1, 2, 3, 4 ou 5, caracterizado pelo fato de que o teor de chumbo é de no máximo 0,1% em peso.

10 8. Revestimento anti-fricção (4), de acordo com qualquer uma das reivindicações 1, 2, 3, 4, 5, 6 ou 7, caracterizado pelo fato de que zircônio e silício estão presentes na forma de partículas de ZrO_2 ou SiC na liga à base de estanho.

15 9. Revestimento anti-fricção (4), de acordo com a reivindicação 8, caracterizado pelo fato de que as partículas de ZrO_2 e SiC possuem um tamanho médio entre 0,01 μm e 1 μm .

20 10. Mancal de fricção de múltiplas camadas (1), compreendendo pelo menos uma camada de base de metal (2), um revestimento anti-fricção (4) e opcionalmente uma camada de metal patente (3) disposta entre o revestimento de anti-fricção (4) e a camada de base de metal (2), caracterizado pelo fato de que o revestimento de anti-fricção (4) é reivindicado em uma das reivindicações precedentes.

25 11. Mancal de fricção de múltiplas camadas (1), de acordo com a reivindicação 10, caracterizado pelo fato de que um revestimento intermediário está disposto entre a camada de metal patente (3) e o revestimento anti-fricção (4) que é fabricado de um ou mais revestimentos parciais
30 que são depositados galvanicamente ou formados por difusão

e cada um dos revestimentos parciais contém um ou mais elementos do grupo compreendendo cromo, níquel, ferro, cobalto, cobre estanho.

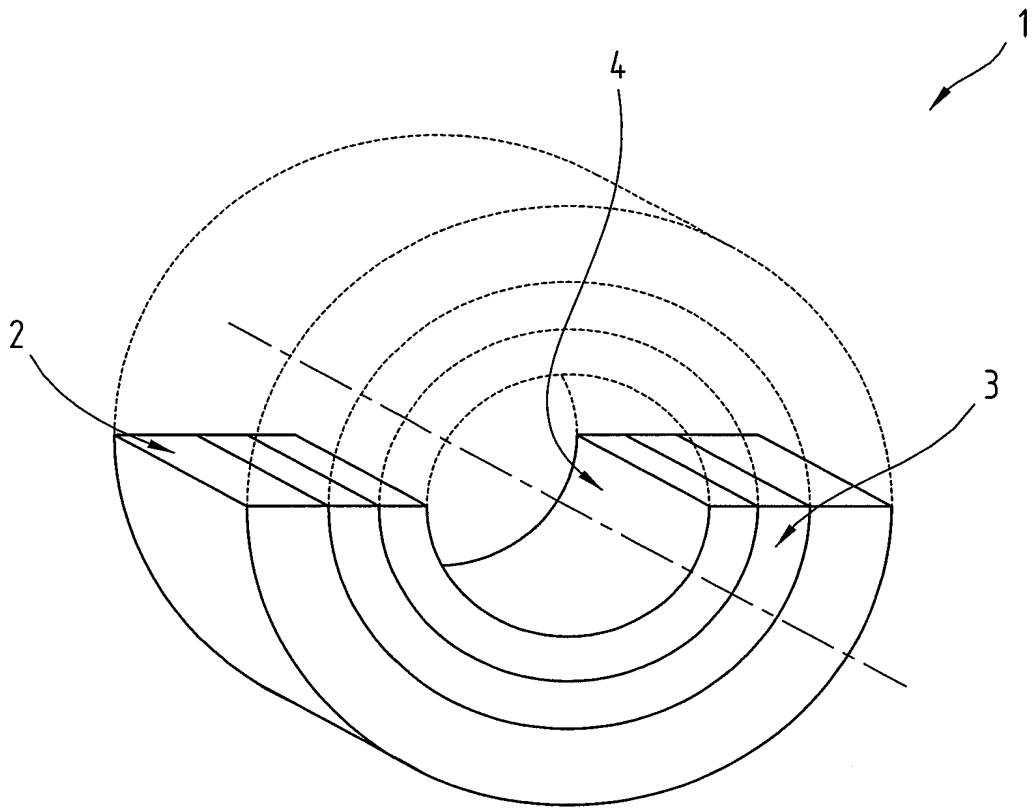
5 12. Mancal de fricção de múltiplas camadas (1), de acordo com a reivindicação 11, caracterizado pelo fato de que o revestimento intermediário possui uma rigidez que é pelo menos três vezes maior que a rigidez do revestimento anti-fricção (4) e é preferivelmente também maior que aquela do material de base.

10 13. Método para produção de um revestimento anti-fricção (4) para um mancal de fricção de múltiplas camadas (1) fabricado de uma liga à base de estanho que, além do estanho, contém pelo menos um elemento do grupo compreendendo antimônio e cobre como o elemento de liga
15 principal, opcionalmente chumbo e/ou bismuto e opcionalmente pelo menos um elemento de um grupo compreendendo zircônio, silício, zinco, níquel e prata e impurezas inevitáveis originando-se dos elementos usados para sua produção e a proporção de antimônio sendo no
20 máximo de 20% em peso, a proporção de cobre sendo no máximo de 10% em peso, a proporção total do chumbo e do bismuto sendo no máximo de 1,5% em peso, a proporção total de cobre e antimônio sendo de pelo menos 2% em peso e a proporção total de cobre e antimônio sendo de pelo menos 2% em peso e
25 a proporção total de zircônio, silício, zinco, níquel e prata sendo de no máximo 3% em peso e estanho estando presente ligado na forma de fases intermetálicas e livremente como uma fase de estanho com grãos beta-estanho e o revestimento anti-fricção (4) sendo depositado
30 galvanicamente a partir de um eletrólito, caracterizado

pelo fato de que um eletrólito é usado, o qual possui uma concentração de estanho entre 0,1 mol/L e 1 mol/L, uma concentração de antimônio e/ou de cobre de até no máximo 0,3 mol/L respectivamente, opcionalmente uma concentração de chumbo e/ou bismuto de no máximo 0,1 mol/L respectivamente e que contém opcionalmente uma concentração de pelo menos um elemento do grupo compreendendo zircônio, silício, zinco, níquel e prata de 0,3 mol/L respectivamente e a deposição acontece a uma densidade corrente de pelo menos 1,2 A/dm².

14. Método, de acordo com a reivindicação 13, caracterizado pelo fato de que o revestimento anti-fricção é tratado termicamente após a deposição galvânica a uma temperatura selecionada de uma faixa de 130°C e 120°C por um período de tempo selecionado da faixa entre meia e cem horas.

Fig.1



RESUMO**REVESTIMENTO ANTI-FRICÇÃO**

A invenção se refere a um revestimento anti-fricção (4) fabricado de uma liga à base de estanho que, além do estanho, contém pelo menos um outro elemento do grupo compreendendo antimônio e cobre, opcionalmente chumbo e/ou bismuto e opcionalmente pelo menos um elemento formando um grupo compreendendo zircônio, silício, zinco, níquel e prata e a proporção de antimônio sendo no máximo de 20% em peso, a proporção de cobre sendo no máximo de 10% em peso, a proporção total do chumbo e do bismuto sendo no máximo de 1,5% em peso, a proporção total de cobre e antimônio sendo de pelo menos 2% em peso e a proporção total de zircônio, silício, zinco, níquel e prata sendo no máximo de 3% em peso e o estanho estando presente ligado na forma de fases intermetálicas e livremente na forma de uma fase de estanho com grãos beta-estanho. Os grãos de estanho com uma estrutura de beta-estanho possuem um tamanho médio em μm que é calculado com base na fórmula $K = A / (S + 3^{\circ}\text{C} + O)$ e os grãos de estanho com uma estrutura beta-estanho na liga à base de estanho em qualquer caso possuem um tamanho de grão médio de pelo menos 2,5 μm .