

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

(21) **PI 1010425-9 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

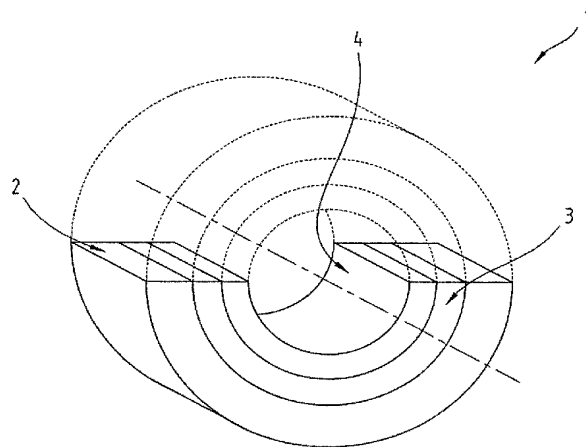
(54) **Título:** REVESTIMENTO ANTI-FRICÇÃO

(30) **Prioridade Unionista:** 10/12/2009 AT A 1958/2009

(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) 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 principal, opcionalmente chumbo e/ou bismuto 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 estando entre 2% em peso e 22% em peso e o estanho estando presente na forma de fases intermetálicas e como uma fase estanho com grãos beta-estanho e os grãos de beta-estanho na liga com base em estanho possuem pelo menos uma orientação preferida e um índice de orientação $M\{hkl\}$ com base na fórmula: onde pelo menos um conjunto de níveis de rede $M\{hkl\}$ apresenta ou excede o valor de 3,0 e $I\{hkl\}$ representa as intensidades de difração de raio x para os planos $\{hkl\}$ do revestimento anti-fricção e $10\{hkl\}$ representa as intensidades de difração de raio x da amostra de pó de estanho totalmente não orientada.



REVESTIMENTO ANTI-FRICÇÃO

A invenção se refere a um revestimento anti-fricção para um 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 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 estando entre 2% em peso e 22% em peso e o estanho estando presente ligado na forma de fases intermetálicas compreendendo pelo menos uma camada de base metálica, um revestimento anti-fricção e opcionalmente uma camada de metal do mancal disposta entre o revestimento anti-fricção e a camada de base de metal.

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 esta liga à base de estanho é incorporada nas 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 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 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 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 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 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 com base no revestimento anti-fricção ressaltado acima, no qual os grãos de beta-estanho na liga à base de estanho assuem pelo menos uma

orientação preferida e, independentemente do acima, pelo mancal de fricção de múltiplas camadas ressaltado acima que é provido com o revestimento anti-fricção proposto pela invenção.

5 Para quantificar a orientação preferida, o índice de orientação $M\{hkl\}$ é definido como se segue:

$$M\{hkl\} = \frac{I\{hkl\} \sum I^0\{hkl\}}{I^0\{hkl\} \sum I\{hkl\}}$$

onde $I\{hkl\}$ representa as intensidades XRD (intensidades de difração de raio X) dos planos $\{hkl\}$ do revestimento anti-fricção e $I^0\{hkl\}$ representa as intensidades XRD da amostra de pó de estanho totalmente não orientada (ICDD PDF 00-004-0673).

10 As intensidades de difração $\Sigma I\{hkl\}$ e $\Sigma I^0\{hkl\}$ devem ser somadas através da mesma faixa, por exemplo, todas as intensidades dos reflexos a partir de $\{200\}$ a $\{431\}$, o que, quando se usa a radiação $CuK\alpha$, corresponde a todos os reflexos com um ângulo de difração de 2θ entre 30° e 90° .

20 Existe uma orientação preferida conforme proposta pela invenção, quando o índice de orientação alcança ou excede pelo menos um conjunto de níveis de rede $M\{hkl\}$ 3,0.

De modo a produzir revestimentos anti-fricção com um teor de chumbo baixo ou isentos de chumbo, o depositante também conduziu testes nas ligas à base de estanho contendo
25 cobre e/ou antimônio, entre outros, e verificou surpreendentemente que algumas destas ligas à base de estanho exibem propriedades tribológicas significativamente melhores e/ou resistência à fadiga significativamente maior que outras.

A condução de testes na estrutura destas ligas à base de estanho por meio de difratometria de raio x, permitiu a determinação, a partir do padrão de difração, de que os cristalitos de beta-estanho nestas ligas à base de estanho possuem uma orientação clara de planos equivalentes relacionados à simetria em uma direção. Embora este material seja relativamente macio, como está e assim exiba excelentes propriedades em termos de capacidade de embutir as partículas de poeira, as ligas à base de estanho propostas pela invenção também exibiram uma resistência melhor ao desgaste e/ou uma resistência à fadiga superior. Presume-se que a última se deva aos cristalitos de estanho orientados e as medições de pólo demonstraram que a texturização do revestimento anti-fricção é formada na superfície rotacional e simetricamente com relação ao normal.

Durante o curso dos testes de XRD, foi verificado que mesmo leves alterações na superfície, o que não obstante não prejudicou a resistência ao cisalhamento ou resistência a fadiga do revestimento como um todo, causaram uma alteração significativa no difratograma medido. Contudo, a alteração aparente na orientação preferida do revestimento anti-fricção é um fator induzido pela pouca profundidade de penetração dos raios x. A fim de determinar a orientação preferida, uma zona de superfície danificada deve ser cuidadosamente removida, por exemplo, por gravação galvânica com íon ou mesmo mais preferivelmente, sua ocorrência prevenida. A lesão à zona de superfície pode ocorrer devido ao processamento mecânico após o revestimento, desgaste durante operação ou devido à

aplicação de um revestimento anticorrosão ou de operação, por exemplo.

O valor do índice de orientação $M\{hkl\}$ de pelo menos um conjunto de níveis de rede com base no Índice Miller é de pelo menos 0,6, especificamente pelo menos 9,0.

Surpreendentemente, foi verificado que os revestimentos propostos pela invenção exibiram uma melhor resistência ao desgaste e aumentaram a resistência à fadiga mesmo que eles de outra forma não sejam diferentes ou que sejam raramente diferentes dos revestimentos conhecidos na técnica, por exemplo, em termos de composição, dureza ou rigidez da superfície.

Este evento ocorreria, especificamente, se os grãos de beta-estanho fossem orientados no último dos planos $\{hkl\}$ com base no Índice Miller, onde h é superior a k em 1 em cada caso e h assume um valor de no máximo 4.

A vantagem disto é que se a superfície abaixo da máxima no difratograma de raio x, isto é, a intensidade criada pelos grãos beta-estanho orientados ao longo de $\{321\}$ com base no Índice Miller, for maior em um fator de pelo menos 1,2, em relação à superfície abaixo da máxima, isto é, a intensidade criada pelos grãos de beta-estanho orientados ao longo de $\{431\}$, os efeitos descritos podem ser adicionalmente aperfeiçoados.

Surpreendentemente, contudo, este efeito também ocorreu quando esta norma geral especificada acima não foi satisfeita ou foi satisfeita apenas parcialmente, e ao invés disto, a estrutura da liga à base de estanho continha grãos beta-estanho orientados a uma extensão de pelo menos 30%, especificamente 40%, preferivelmente 50% ao longo de

{220} com base no Índice Miller, expresso pela superfície abaixo da máxima criada pelos grãos de beta-estanho nesta orientação, isto é, sua intensidade.

Dentro do escopo da invenção, é preferível se a proporção de antimônio estiver entre 5% em peso e 15% em peso e se o teor de cobre estiver entre 0,5% em peso e 5% em peso. Com base nisto, os revestimentos anti-fricção produzidos também tiveram uma melhor resistência à abrasão além de boas propriedades de encaixe.

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 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 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.

Ainda de modo a aperfeiçoar a resistência à abrasão, isto é, fornece maior rigidez ao revestimento anti-fricção, será vantajoso se a liga à base de estanho contiver pelo menos um elemento do grupo compreendendo zircônio, silício, zinco, níquel e prata, adicionado à liga em uma proporção, no total, de no máximo 3% em peso. Com relação a isto, a proporção de zircônio pode também ser no máximo de 1,5% em peso e aquela do silício de no máximo 1,2%.

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 $ZrCO_2$ 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. Foi observado que diâmetros de partícula superiores a 1 μm prejudicaram o efeito descrito acima.

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.

De modo a prover um entendimento mais claro, a invenção será explicada em mais detalhes com referência aos
25 desenhos apensos.

Em anexo encontram-se desenhos esquematicamente simplificados ilustrando:

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

30 Figura 2 - o padrão de difração de raio x da

superfície de um revestimento anti-fricção proposto pela invenção e fabricado de $\text{SnSb}_{11}\text{Cu}_4\text{Bi}$;

Figura 3 - difratograma de raio x de um revestimento anti-fricção proposto pela invenção fabricado de $\text{SnSb}_7\text{CuPb ZrO}_2$;

Figura 4 - difratograma de raio x de um revestimento anti-fricção proposto pela invenção fabricado de SnCu_3 ;

Figura 5 - difratogramas de raio x tomados em um mancal de fricção testado com um revestimento anti-fricção proposto pela invenção e fabricado de SnSb_8CuPb ,

tomado da parte superior antes do teste,

tomado na parte central após o teste, distorcido devido à lesão pelo desgaste da zona de superfície,

parte inferior, tendo removido a zona de superfície danificada pela gravação galvânica com íon;

Figura 6 - difratograma de raio x de um revestimento anti-fricção conhecido da técnica anterior e com base na composição de $\text{SnSb}_7\text{Cu}_1\text{Pb}$;

Figura 7 - difratograma de raio x de um revestimento anti-fricção conhecido da técnica anterior e com base na composição de SnCu_6Pb_1 .

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. De um modo conhecido, os
5 revestimentos podem ser aplicados, 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
10 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
15 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
20 invenção é prescindir da camada de metal patente 3, no qual 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
25 invenção, os revestimentos podem ser aplicados diretamente, por exemplo, para conectar olhais de barra, no qual caso a camada de base de metal 2 não ser necessariamente de um projeto em camadas.

A camada de base de metal 2 é geralmente fabricada
30 de aço ou um material que fornece a resistência estrutural

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
5 padrão para elementos de mancal de anti-fricção. Exemplos
são:

1. Metais patente com uma base de alumínio (de
acordo com DIN ISO 4381 4383): AlSn6CuNi, AlSn20Cu,
AlSi4Cd, AlCd3CuNi, AlSi11Cu, AlSn6Cu, AlSn40, AlSn25CuMn,
10 AlSi11CuMgNi, AlZn4Si.

2. Metais patente com uma base de cobre (de acordo
com DIN ISO 4383):

CuSn10, CuAl10Fe5Ni5, CuZn31Si, CuPb24Sn2,
CuSn8Bi10, CuSn4Zn.

15 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
20 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
25 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
30 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 optar pelas espessuras de revestimento entre 15 μm e 40 μm .

Conforme mencionado acima, revestimentos intermediários podem também ser aplicados ao mancal de fricção de múltiplas camadas 1. Estes revestimentos intermediários podem compreender tanto uma camada simples ou serem 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
5 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,
10 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
15 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
20 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
25 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
30 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 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 revestimento de 40 μm , uma força de teste entre 1 Pond (peso da massa de 1 g) e 3 Pond e entre 80 μm e 300 μm uma força de teste de até 10 Pond é empregada.

O revestimento anti-fricção 4 é produzido preferivelmente de forma galvânica. Para este fim, uma tira 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 exemplo, sob as seguintes condições:

Eletrólito e parâmetros de deposição para SnSb_6Cu com orientação $\{hkl\}$

Sn ... 35 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)

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 ... 2 A/dm^2

Temperatura 35°C

Eletrólito e parâmetros de deposição para
SnSb11Cu4Bi com orientação {220}

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

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

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

Bi ..0,5 g/L (como metanossulfonato de bismuto III)

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

10 Inibidor(es) de oxidação

Aditivos 1 e/ou 2

Densidade de corrente ... 3 A/dm²

Temperatura 15°C

15 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.

20 O antimônio pode ser empregado na forma de
tetrafluorborato de antimônio (III), trifluoreto 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.

25 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.

30 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.

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.

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.

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, pirofosfatos de amônio e alcalino, ácido fosfônico e seus sais alcalino e amônio, 2,2-etileno ditiodietanol, ácidos fenol e cresol sulfônicos, em uma concentração total entre 0,2 mol/L e 2

mol/L.

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

5 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-toluidina, hidroxiquinolina, sulfonato de lignina, butieno diol, em uma concentração total entre 0,0005 mol/L, 10 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 concentração total entre 0 g/L a 20 g/L.

15 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 dois estabilizadores e/ou pelo menos dois inibidores de oxidação e/ou pelo menos dois aditivos 1 e/ou pelo menos 20 dois aditivos 2.

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

Zinco, níquel, chumbo, bismuto, prata e outros 25 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 se formar uma liga é por difusão dos elementos no revestimento ou deposição dos mesmos a partir das 30 partículas suspensas no eletrólito.

Os revestimentos anti-fricção 4 produzidos desta maneira possuem uma fase beta-estanho pronunciada, na qual as fases intermetálicas estão presentes com as individuais e/ou entre outro(s) elemento(s) de liga.

5 Durante os testes conduzidos no revestimento anti-fricção 4, as composições de liga que se seguem com base na invenção foram produzidas como exemplo, além daquelas correspondendo à técnica anterior. Todas as figuras relacionadas às composições estabelecidas nas Tabelas 1, 2
10 e 3 abaixo devem ser lidas com base em porcentagem em peso. A quantidade remanescente para obter até 100% em peso é estanho em cada caso.

Os resultados do teste para os revestimentos anti-fricção 4 correspondentes são também estabelecidos nas
15 Tabelas 1, 2 e 3.

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

25 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
30 estado de muito bom (1: pistas de rolamento) a muito fraco

(5: rupturas permanentes pronunciadas em uma grande área da superfície).

A tabela 1 apresenta os resultados de teste daqueles revestimentos anti-fricção 4 cujos difratogramas são mostrados por meio de exemplo nas figuras 2-7. Também são listadas as leituras de intensidade tomadas dos difratogramas e os índices de orientação calculados destas. As amostras 1-4 (figuras 2 e 5) representa revestimentos anti-fricção 4 com base na invenção. As amostras 5-6 (figuras 6 e 7) representam revestimentos anti-fricção 4 com base na técnica anterior.

A tabela 2 apresenta outros resultados obtidos com relação aos revestimentos propostos pela invenção.

A tabela 3 apresenta outros resultados obtidos com relação aos revestimentos com base na técnica anterior, produzidos para permitir comparação.

Tabela 1:

Núme- ro (1)	Figu ra	Intensidade Relativa I {hkl}												
		{200}	{101}	{220}	{211}	{301}	{112}	{400}	{321}	{420}	411	312	431	Σ
Sn (2)		100	90	34	74	17	23	13	20	15	15	20	13	434,0
1	2	2,7	1,6	100	10,3	0,3	0,5	0	2	3,9	0,4	0,8	0,7	123,2
2	3	2,3	17,7	14,8	26,2	0,4	0,7	0	100	1,3	1,8	1	40,7	206,9
3	4	2,8	11	2	100	8,7	2,3	0	21,5	0	4,8	7,9	3,4	164,4
	5													
4	SUP.	0	1,7	3,1	81,7	0,8	0	0	100	0	12,2	0,6	18,9	219
	5													
4	MEIO	30	65,5	27,1	100	9,7	5,7	2,3	51,8	2,7	11,3	6,9	12,9	325,9
	5													
4	INF.	5,5	12,7	5,5	82,6	3,9	1,9	0	100	0	16,3	0,9	20,3	249,6
5	6	100	45,8	0,8	2,6	22,8	15,8	0	10,8	0	4,4	2,6	3,7	209,3
6	7	100	61	31,1	65	2,1	11	9,6	20	10,1	10,8	13,2	6,4	340,3

(1) Número da Amostra

(2) Pó (ICDD PDF 00-004-0673)

20 Tabela 1: continuação

Número ¹	Índice de Orientação M {hkl}
---------------------	------------------------------

	{200}	{101}	{220}	{211}	{301}	{112}	{400}	{321}	{420}	{411}	{312}	{431}
Sn ²	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
1	0,1	0,1	10,4	0,5	0,1	0,1	0,0	0,4	0,9	0,1	0,1	0,2
2	0,0	0,4	0,9	0,7	0,0	0,1	0,0	10,5	0,2	0,3	0,1	6,6
3	0,1	0,3	0,2	3,6	1,4	0,3	0,0	2,8	0,0	0,8	1,0	0,7
4	0,0	0,0	0,2	2,2	0,1	0,0	0,0	9,9	0,0	1,6	0,1	2,9
4	0,4	1,0	1,1	1,8	0,8	0,3	0,2	3,4	0,2	1,0	0,5	1,3
4	0,1	0,2	0,3	1,9	0,4	0,1	0,0	8,7	0,0	1,9	0,1	2,7
5	2,1	1,1	0,0	0,1	2,8	1,4	0,0	1,1	0,0	0,6	0,3	0,6
6	1,3	0,9	1,2	1,1	0,2	0,6	0,9	1,3	0,9	0,9	0,8	0,6

¹ Número da amostra

² Pó (ICDD PDF 00-004-0673)

Tabela 1: continuação

Número	Análise Química (% em peso)						Resultados do Teste		
	Sn	Sb	Cu	Pb	Bi	Outros	Avaliação visual		Desgaste [µm]
1	Rem.	11	4,0	0	0,4		2,0		2
2	Rem.	6	0,5	0,2		ZrO ₂ : 0,9%	1,5		4
3	Rem.	0	3,0	0,03			3,0		3
4	Rem.	8	0,4	0,3			2,0		3
5	Rem.	7	1,0	0,7			4,0		10
6	Rem.	0	6,0	1,1			5,0		8

Tabela 2: Revestimentos anti-fricção com base na

5 invenção

Ex.	Sb	Cu	Pb	Outros	Índice de orientação M{hkl}	Avaliação visual	Desgaste [µm]
1	11	4	0,3		M{101} = 3,3	2,0	2
2	7	0,7	0,5		M{220} = 7,5	2,5	3
3	6	0,3	0,3	Bi: 0,1	M{301} = 6,7	2,0	4

4		2	0,3	Zn: 1	$M\{211\} = 6,3$	2,0	6
5		3	<0,05	Ni: 0,2	$M\{211\} = 4,8$ $M\{321\} = 3,1$	2,0	4
6		4	<0,05	Bi: 0,25	$M\{321\}=9,7$ $M\{431\}=7,5$	2,0	2
7		5	0,4		$M\{101\}=3,1$ $M\{211\}=3,3$ $M\{112\}=3,0$	2,0	2
8		10	0,9	ZrO ₂ : 1,5	$M\{220\}=11,3$	3,0	2
9	3		1	SiC: 0,3	$M\{211\}=8,3$	1,5	4
10	5	0,6	0,2	ZrO ₂ : 0,4	$M\{321\}=12,3$	1,5	3
11	7	3,5	<0,05		$M\{431\}=6,3$	2,0	4
12	9	1	<0,05	Bi: 0,3 Zn: 0,3	$M\{411\}=4,1$	2,5	3
13	10	3	0,8		$M\{301\}=3,6$	3,0	3
14	11	1,3	0,2	Ag: 0,8	$M\{220\}=7,9$	2,5	4
15	13	5	0,4		$M\{321\}= 5,9$	1,5	2
16	15	3	<0,05		$M\{211\}= 4,3$	3,0	3

Tabela 3: Revestimentos anti-fricção com base na técnica anterior

Ex.	Sb	Cu	Pb	Outros	Índice de orientação máxima $M\{hkl\}$	Avaliação visual	Desgaste [μm]
I	6	1	1		$M\{220\}= 2,9$	3,5	7
II	5	0,6	0,2	ZrO ₂ : 0,4	$M\{220\}= 1,5$	2,5	4
III		6		Zn: 0,8	$M\{200\}= 1,8$	4,0	5
IV		2			$M\{101\}= 2,3$	3,5	8

V		3	0,3	Ni: 0,5	$M\{321\} = 1,9$	3,0	7
VI		6	<0,05		$M\{321\} = 1,3$	4,0	6
VII	5	0,5	<0,05		$M\{200\} = 2,5$	3,5	9
VII I	10	4	0,4		$M\{220\} = 2,8$	4,0	4
IX	15	2	0,1		$M\{211\} = 1,7$	5,0	12
X		5		Ag: 2	$M\{431\} = 2,2$	3,5	3
XI	8	2		Bi: 0,5	$M\{112\} = 2,4$	4,0	5

Fica claro que, em comparação aos exemplos com base na técnica anterior, os revestimentos anti-fricção 4 com base na invenção exibiram resultados melhores para resistência a fadiga e desgaste, especificamente em uma
5 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
10 vantajosos foram obtidos em termos de resistência ao desgaste e tendência ao agarre se os grãos de beta-estanho tivessem pelo menos um grau pronunciado de orientação. A expressão pelo menos um dentro do significado da invenção seria tida como significando que também é possível que os
15 grãos de beta-estanho tenham uma orientação preferida em uma ou mais direções além da orientação principal.

Conforme mencionado acima, no caso de amostras que já tiverem sido operadas em um banco de provas ou processadas durante a fabricação após deposição do
20 revestimento anti-fricção 4, por exemplo, perfuração de

precisão, ocorrem problemas relacionados a difratometria de raio x devido a pouca profundidade de penetração dos raios x à medida que a estrutura real do revestimento de anti-fricção 4 que não foi afetada por estes tratamentos de acabamento não possa ser avaliada completamente, até o término de um tratamento inicial. Estes mesmos problemas também ocorreriam se uma assim chamada cintilação de estanho fosse aplicada à superfície do revestimento de anti-fricção 4. Em outras palavras, os resultados de medição são muito influenciados pelo tratamento da superfície do revestimento anti-fricção, a saber, se a amostra não for pré-tratada, não será a amostra propriamente a ser medida, porém os depósitos sobre a superfície. A superfície da amostra a ser testada deve, portanto, ser pré-tratada ou "exposta".

O efeito deste problema de superfície nos resultados de medição é apresentado na figura 5 e a gravação galvânica com íon foi selecionada como o pré-tratamento. Conseqüentemente, a superfície do substrato é bombardeada com íons de modo conhecido, semelhante ao processo de pulverização catódica.

A figura 5 mostra o difratograma na posição superior de uma superfície do revestimento anti-fricção 4 fabricado de SnSb_6CuPb , tal como aplicado a uma meia carcaça de mancal de fricção em um estado não danificado. O difratograma na posição mediada na figura 5 foi tomado da superfície da mesma meia carcaça após esta ter sido submetida ao teste descrito acima. O resultado de medição foi significativamente afetado pelo leve desgaste que ocorreu durante o teste.

O difratograma na posição inferior na figura 5 foi novamente tomado sobre a superfície da mesma meia carcaça após teste e remoção da zona danificada. A fim de remover a zona danificada, a superfície foi gravada 10 vezes por 2 minutos em cada caso no plasma de argônio em 6 kV e o feixe de íons foi direcionado sobre a superfície em um ângulo de 45°, com uma pausa de 5 minutos entre as gravações em cada caso a fim de impedir o superaquecimento e fusão da amostra.

O efeito do pré-tratamento é claro para ver a comparação dos difratogramas, a saber, a intensidade das máximas individuais que não se originam dos grãos de beta-estanho orientados se tornam significativamente mais fracas devido à gravação galvânica com íon adequada.

Presume-se que um aperfeiçoamento adicional em relação às propriedades tribológicas do revestimento anti-fricção 4 possa ser obtido se os grãos de beta-estanho tiverem um tamanho de grão mínimo.

As concretizações ilustradas como exemplos representam variações possíveis do revestimento anti-fricção 4 e o mancal de fricção de múltiplas camadas 1, porém deve ser ressaltado neste estágio que a invenção não é restrita às variações especificamente ilustradas no presente documento. Sobretudo, as composições apresentadas na Tabela 1 para revestimentos anti-fricção 4 constituem cada uma a matéria de invenções independentes em cada caso.

Lista de Números de Referência

1. mancal de fricção de múltiplas camadas
2. camada de base de metal
3. camada de metal patente

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 elemento do grupo compreendendo antimônio e cobre como o elemento de liga principal, opcionalmente chumbo e/ou bismuto 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 estando entre 2% em peso e 22% em peso e o estanho estando presente na forma de fases intermetálicas e como uma fase estanho com grãos beta-estanho, caracterizado pelo fato de que os grãos de beta-estanho na liga com base em estanho possuem pelo menos uma orientação preferida e um índice de orientação $M\{hkl\}$ com base na fórmula:

$$M\{hkl\} = \frac{I\{hkl\} \sum I^0\{hkl\}}{I^0\{hkl\} \sum I\{hkl\}}$$

onde pelo menos um conjunto de níveis de rede $M\{hkl\}$ apresenta ou excede o valor de 3,0 e $I\{hkl\}$ representa as intensidades de difração de raio x para os planos $\{hkl\}$ do revestimento anti-fricção e $I^0\{hkl\}$ representa as intensidades de difração de raio x da amostra de pó de estanho totalmente não orientada.

2. Revestimento anti-fricção (4), de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que os grãos de beta-estanho são orientados ao longo de pelo menos um dos planos $\{hkl\}$ de acordo com o índice Miller, e h é superior

a k em 1 respectivamente e h assume um valor de no máximo 4.

3. Revestimento anti-fricção (4), de acordo com a reivindicação 2, caracterizado pelo fato de que a
5 superfície abaixo da máxima criada pelos grãos de beta-estanho que são orientados ao longo de {321} de acordo com o Índice Miller é pelo menos 1,2 vezes maior que a superfície abaixo da máxima criada pelos grãos de beta-estanho orientados ao longo de {431} de acordo com o Índice
10 Miller.

4. Revestimento anti-fricção (4), de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que os grãos de beta-estanho são orientados ao longo de {220} a um grau de mais de 30% de acordo com o Índice Miller, expresso pela
15 superfície abaixo da máxima criada por esta orientação dos grãos de beta-estanho.

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

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

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

8. Revestimento anti-fricção (4), de acordo com
30 qualquer uma das reivindicações 1, 2, 3, 4, 5 ou 6,

caracterizado pelo fato de que o teor de chumbo é de no máximo 0,1% em peso.

9. Revestimento anti-fricção (4), de acordo com qualquer uma das reivindicações 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 ou 8, caracterizado pelo fato de que a liga à base de estanho contém pelo menos um elemento de um grupo compreendendo zircônio, silício, zinco, níquel e prata em uma proporção de no máximo 3% em peso no total.

10. Revestimento anti-fricção (4), de acordo com a reivindicação 9, caracterizado pelo fato de que zircônio e silício se encontram individualmente ou em conjunto presentes na liga à base de estanho na forma de ZrO_2 respectivamente partículas de SiC.

11. Revestimento anti-fricção (4), de acordo com a reivindicação 10, caracterizado pelo fato de que ZrO_2 e partículas de SiC possuem um tamanho médio entre 0,01 μm e 1 μm .

12. 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 anti-fricção (4) e a camada de base de metal (2), caracterizado pelo fato de que o revestimento anti-fricção (4) está de acordo com uma das reivindicações precedentes.

13. Mancal de fricção de múltiplas camadas (1), de acordo com a reivindicação 12, caracterizado pelo fato de que uma camada intermediária está disposta entre a camada de metal patente (3) e o revestimento anti-fricção (4) que é fabricado de uma ou mais camadas parciais depositadas galvanicamente ou formadas por difusão e cada uma das

camadas parciais contém um ou mais elementos do grupo consistindo em cromo, níquel, ferro, cobalto, cobre e estanho.

14. Mancal de fricção de múltiplas camadas (1), de
5 acordo com a reivindicação 13, caracterizado pelo fato de que uma camada intermediária possui uma rigidez que é pelo menos três vezes maior que a rigidez do revestimento anti-fricção (4) e é também maior que a rigidez do material de base.

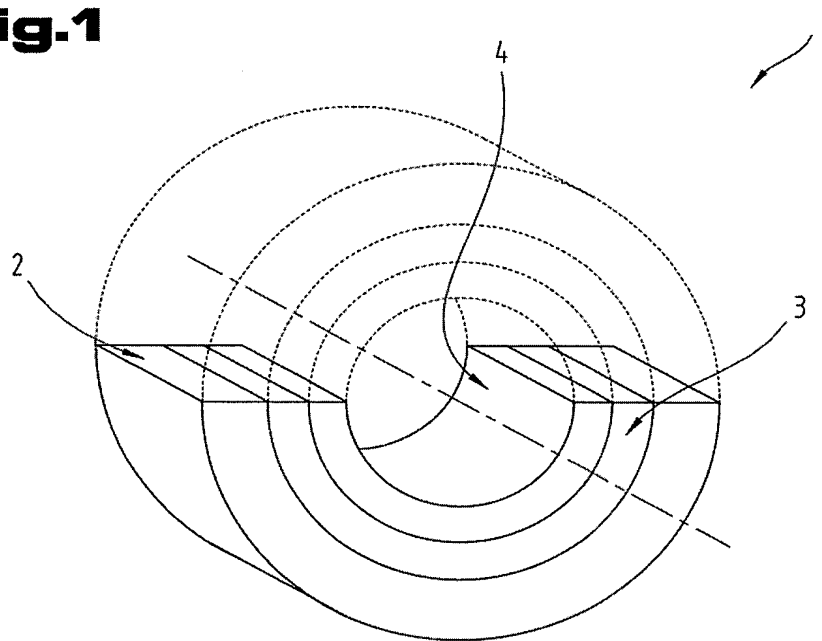
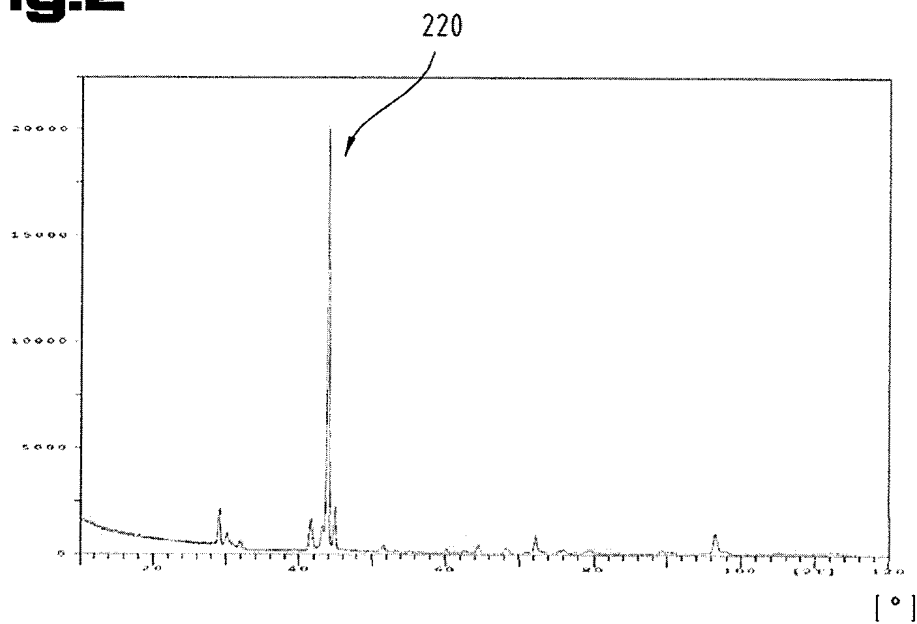
Fig.1**Fig.2**

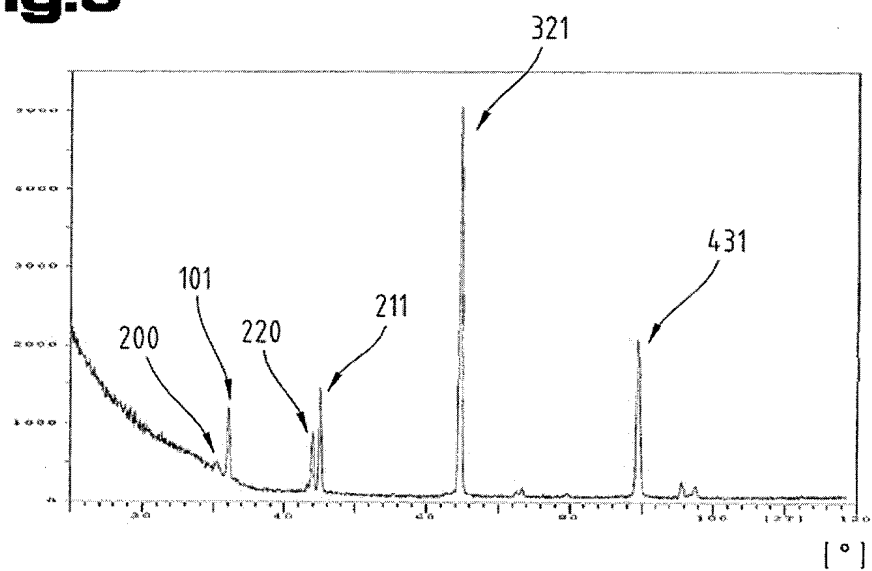
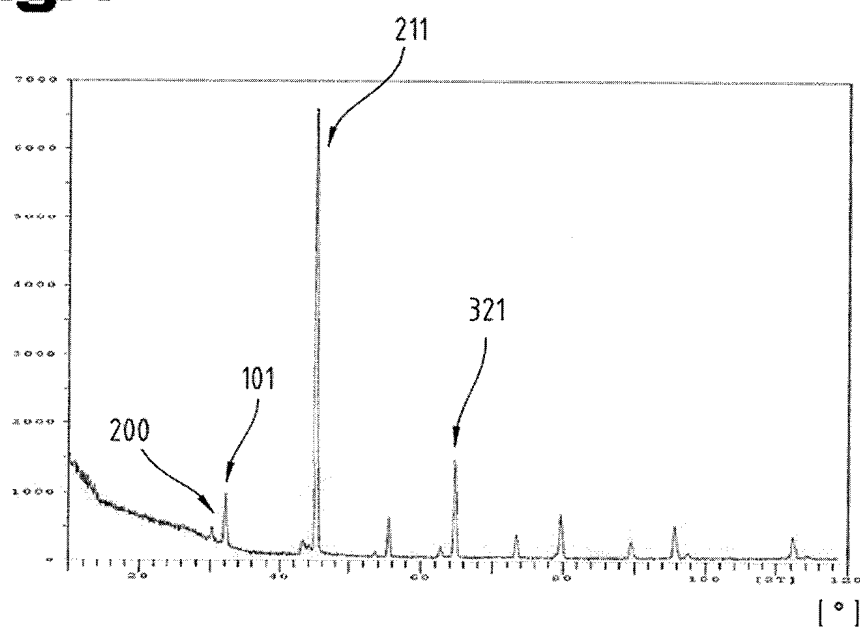
Fig.3**Fig.4**

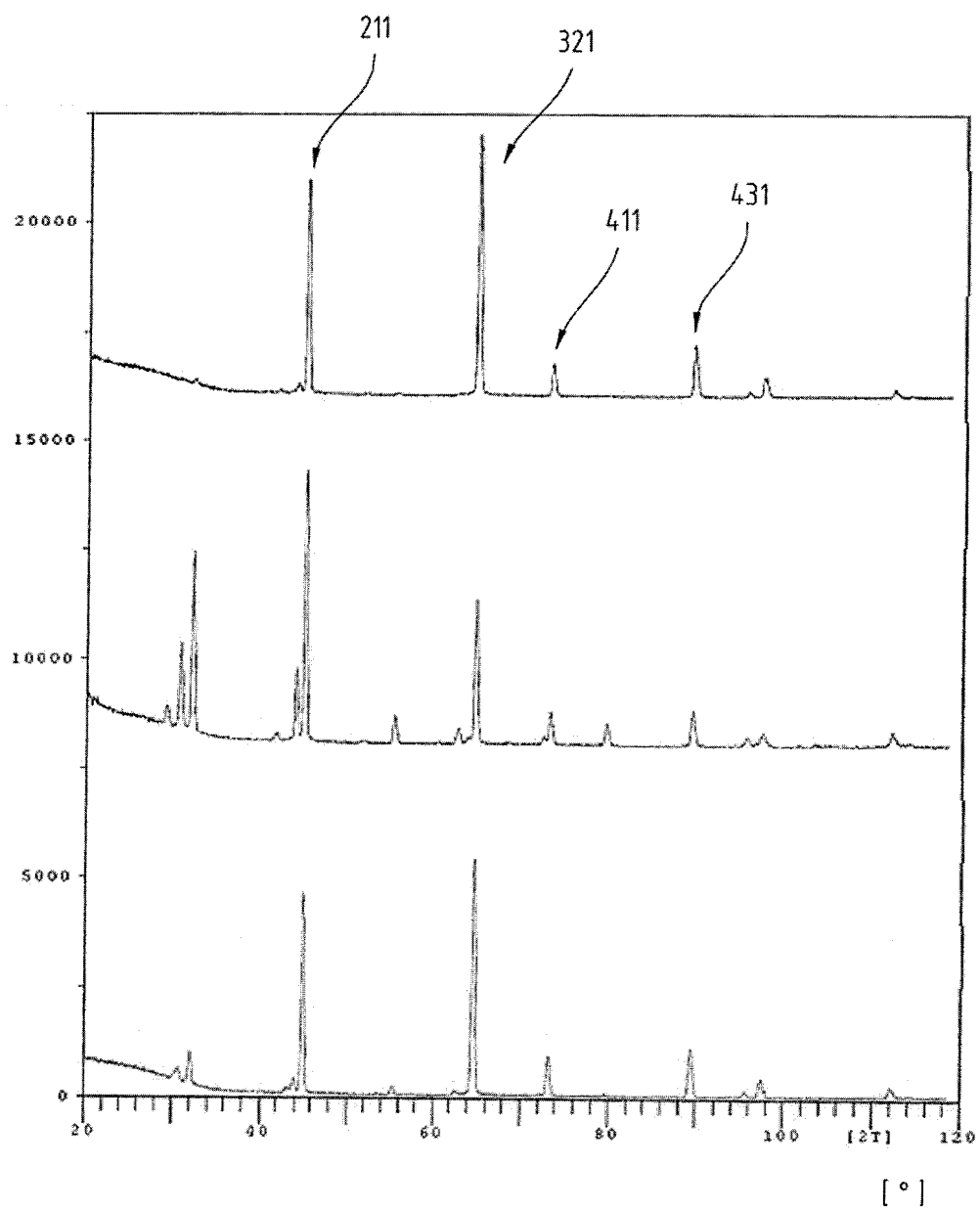
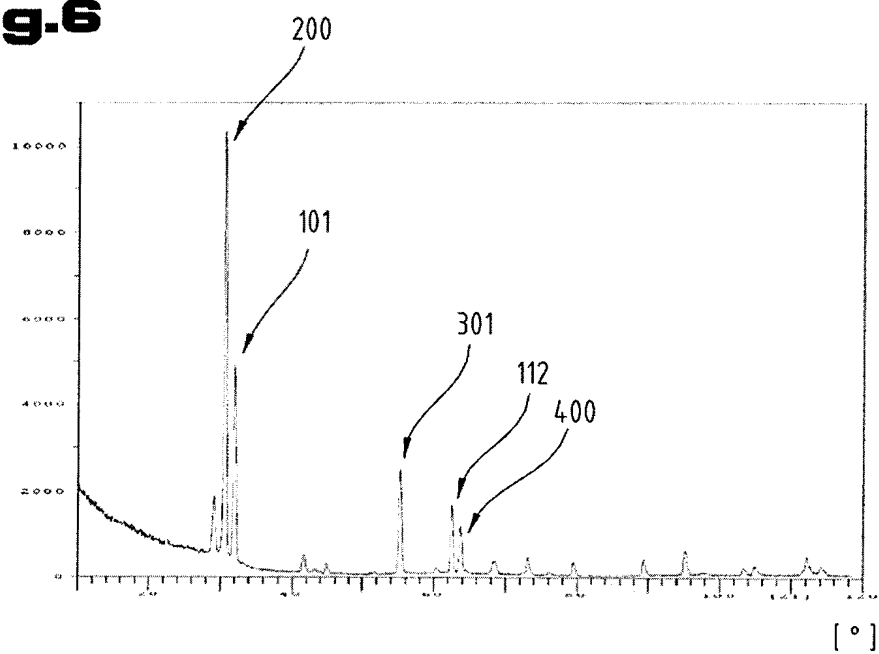
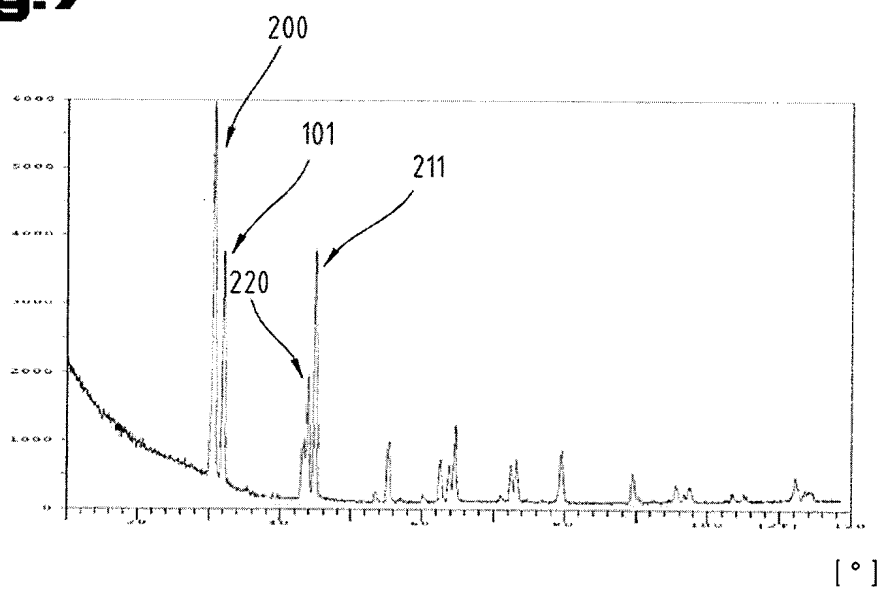
Fig.5

Fig.6**Fig.7**

RESUMO**REVESTIMENTO ANTI-FRICÇÃO**

A invenção se refere a 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 principal, opcionalmente chumbo e/ou bismuto 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 estando entre 2% em peso e 22% em peso e o estanho estando presente na forma de fases intermetálicas e como uma fase estanho com grãos beta-estanho e os grãos de beta-estanho na liga com base em estanho possuem pelo menos uma orientação preferida e um índice de orientação $M\{hkl\}$ com base na fórmula:

$$M\{hkl\} = \frac{I\{hkl\} \sum I^0\{hkl\}}{I^0\{hkl\} \sum I\{hkl\}}$$

onde pelo menos um conjunto de níveis de rede $M\{hkl\}$ apresenta ou excede o valor de 3,0 e $I\{hkl\}$ representa as intensidades de difração de raio x para os planos $\{hkl\}$ do revestimento anti-fricção e $I^0\{hkl\}$ representa as intensidades de difração de raio x da amostra de pó de estanho totalmente não orientada.