



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

(21) **PI0903741-1 A2**

(22) Data de Depósito: 17/06/2009
(43) Data da Publicação: 01/03/2011
(RPI 2095)



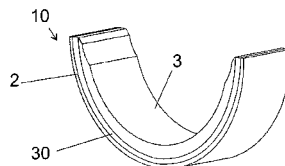
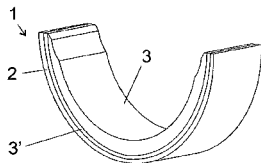
(51) *Int.Cl.:*
F16C 33/12

(54) Título: **MANCAL DE DESLIZAMENTO, PROCESSO DE FABRICAÇÃO E MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA**

(73) Titular(es): Mahle Metal Leve S/A

(72) Inventor(es): Paulo José da Rocha Mordente

(57) Resumo: MANCAL DE DESLIZAMENTO, PROCESSO DE FABRICAÇÃO E MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA. A presente invenção refere-se a um mancal de deslizamento, particularmente para compelir pelo menos um eixo de um motor de combustão interna, contendo uma estrutura de apoio ou substrato (2) a qual é aplicado um revestimento (3) por processo Cold Spray ou Cold Gas Dynamic Spray, tal revestimento constituindo-se de pelo menos um material composto compreendendo, pelo menos, uma liga em pó com partículas cerâmicas e material anticorrosivo.





PI0903741-1

Relatório Descritivo da Patente de Invenção para "MANCAL DE DESLIZAMENTO, PROCESSO DE FABRICAÇÃO E MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA".

5 A presente invenção refere-se a um mancal de deslizamento (mancal de virabrequim, como exemplo) fabricado ou formado por um processo conhecido como Cold Spray ou Cold Gas Dynamic Spray e constituído de uma composição que aumenta sua durabilidade e desempenho.

A presente invenção também se refere ao processo de fabricação do referido mancal de deslizamento e a um motor de combustão interna (CI) constituído de, pelo menos, um mancal de deslizamento como descrito acima.

Descrição do Estado da Técnica

15 A grande maioria dos motores de CI, como motores de dois tempos e motores de quatro tempos de ciclo Otto/Diesel, compreende um ou mais pistões alternativos conectados a uma haste que converte seu movimento linear na rotação de um eixo denominado virabrequim. O movimento linear do pistão é gerado durante o tempo de "explosão" e é convertido na rotação do virabrequim, que é utilizável para mover um veículo e realizar outras tarefas.

20 A operação do motor de CI é simples bem conhecida conceitualmente, porém devido às altas cargas envolvidas, é essencial evitar o excessivo movimento axial e radial do virabrequim, caso contrário, a durabilidade e confiabilidade do motor são drasticamente reduzidas.

25 Os componentes que compelem o virabrequim, impedindo seu movimento radial e axial, são chamados mancais. Adicionalmente, alguns motores de CI possuem outros eixos giratórios (por exemplo, árvore de cames, eixos de balanceamento, etc), também compelidos por meio de mancais.

30 Em outras palavras, o mancal corresponde a qualquer membro contendo uma superfície que encoste diretamente (ou através de um lubrificante sólido ou líquido) em outra superfície que possua relativo movimento deslizante. O principal objetivo de um mancal é transmitir uma carga de uma superfície a outra superfície deslizante.

Quase todos os motores têm, no mínimo, dois mancais principais, um em cada extremidade do virabrequim, e frequentemente possuem um mancal a mais do que o número de pinos de manivela. O número de mancais principais é um compromisso entre tamanho extra, custo e estabilidade de um maior número de mancais, e a solidez e leveza de um menor número. Ambos possuem vantagens em termos de desempenho, pois uma manivela menor e mais estável produzirá melhor balanceamento do motor.

Durante o início do século vinte, motores de CI costumavam ter alguns mancais compelindo o virabrequim, uma vez que esses motores antigos não aceitavam revoluções muito altas (revoluções por minuto) e a energia gerada não era considerável. Esses motores, via de regra, também possuíam baixa eficiência energética e um alto consumo de combustível, considerando-se a quantidade de energia gerada.

Após a década de 1960, o foco do desenvolvimento de motores foi, principalmente, aumentar a eficiência energética, e os motores resultantes eram menores, mais potentes e, conseqüentemente, desenvolveram sua energia em revoluções muito mais altas. A combinação desses fatores (altas revoluções e mais energia desenvolvida) resultou em um elevado desenvolvimento dos mancais. Hoje, a tendência em fazer com que motores pequenos se tornem ainda mais eficientes e potentes é mais forte do que nunca, devido ao baixo consumo de combustível em relação à energia gerada, uma tarefa muito importante tendo em vista os elevados custos de combustível e o aquecimento global.

Também é importante notar que uma grande quantidade de motores de CI utiliza mancais de deslizamento para compelir seus eixos giratórios e não outros tipos de mancais (por exemplo, roletes, etc.). Mancais de deslizamento geralmente são desenvolvidos para operar sob condições hidrodinâmicas, mas ocasionalmente, durante o arranque do motor, uma superfície toca a outra superfície deslizante, gerando calor e acelerando o desgaste de pelo menos uma das superfícies.

Tendo em vista especificamente os motores equipados com mancais de deslizamento, o virabrequim é compelido no bloco do motor por

uma série de mancais espaçados axialmente (dois, três, quatro, cinco, sete, etc.). Cada mancal de deslizamento inclui uma metade do mancal de deslizamento superior assentada em um rebaixo arqueado do bloco e uma metade do mancal de deslizamento inferior firmemente fixada contra a metade do mancal superior por uma capa de apoio do mancal parafusada no bloco do motor.

Originalmente, as superfícies deslizantes eram fundidas a uma carcaça, mas com a evolução tecnológica, o revestimento do mancal foi aplicado a um forte apoio para reforço (por exemplo, uma chapa de aço). Metais adequados para revestimento incluem ligas à base de chumbo, de estanho, de cobre (normalmente de cobre-chumbo e cobre-chumbo-estanho) e ligas de alumínio (normalmente ligas de alumínio-estanho-cobre, alumínio-silício-estanho e alumínio-estanho-cobre-silício).

Convencionalmente, o processo de fabricação de mancais de deslizamento inclui unir as ligas de alumínio à superfície de apoio de aço fazendo com que as duas tiras de materiais passem juntas pelos cilindros giratórios, o que gera a redução da espessura total das duas tiras por deformação mecânica e, conseqüentemente, proporciona força de ligação entre a liga do revestimento e o aço de reforço.

Alguns processos alternativos de fabricação foram desenvolvidos para prover uma superfície deslizante ao aço de reforço, utilizando métodos de depósito classificados na família de aspersão térmica (por exemplo, oxi-combustível de alta velocidade – HVOF), *wire spray* e aspersão a plasma.

Processos para a fabricação de mancais de deslizamento são mostrados em alguns documentos de anterioridade, e alguns deles são brevemente discutidos abaixo.

O caso da patente GB 1 083 003 refere-se a um processo de HVOF que utiliza uma pistola de aspersão e um arame como matéria-prima para construir o revestimento do mancal no aço. Como o material depositado é aquecido a uma temperatura próxima do ponto de fusão da matéria-prima, parte do material aquecido pode ser depositada em estado semi-fundido e, portanto, al-

guns poros e óxidos são inerentes a tal processo de depósito.

O caso da patente GB 2.130.250 também exemplifica um método muito semelhante, denominado aspersão a plasma, para fabricar material com diversas camadas tendo uma camada funcional aplicada a uma camada de apoio para reforço. Embora o processo seja diferente da primeira referência, possui as mesmas desvantagens (revestimento poroso com alto teor de óxidos).

A patente norte-americana 6,416,877 reivindica um mancal em que uma liga de alumínio-estanho-cobre foi depositada como revestimento via processo HVOF. Também reivindica outras composições de materiais com base na segunda fase metálica lisa de chumbo e adição de alumina de até 20% em peso. Embora o processo HVOF tenha sido adaptado em termos de parâmetros do processo para evitar a oxidação de materiais, a temperatura ainda é alta o suficiente para derreter parcialmente o material que está sendo depositado e gerar certo teor de óxidos que afetam o desempenho do revestimento.

Outro documento, (o pedido de patente DF 10 2004 043 914 A1) refere-se a um componente de mancal de deslizamento revestido com um metal antiatrito em bronze, particularmente uma liga de estanho-cobre, uma liga de chumbo-cobre, uma liga de alumínio-cobre, ligas de chumbo-estanho ou estanho-alumínio. Tais materiais antiatrito produzidos por injeção de gás frio são aplicados em uma máquina de deslocamento hidrostático, particularmente uma máquina de pistão axial, como metade do mancal, casquilho ou disco de distribuição. Tal pedido de patente pretende utilizar o mencionado método de produção para substituir o método de soldagem originalmente utilizado para unir a parte principal ao metal antiatrito.

Todos os documentos de anterioridade mencionados acima revelam processos de fabricação de mancais com certos inconvenientes/ desvantagens, que não se vêem no objeto da presente invenção.

Até a presente invenção, não havia nenhum mancal de deslizamento que apresentasse, concomitantemente, propriedades de alta resistência a desgaste e à fricção, e também elevada capacidade de carga, fabrica-

do por processo Cold Spray ou Cold Gas Dynamic Spray.

Além disso, até a presente invenção, não havia nenhum processo de fabricação de mancais de deslizamento que empregasse Cold Spray ou Cold Gas Dynamic Spray para revestir materiais compostos, dando ao
5 mancal resultante propriedades de alta resistência a desgaste e à fricção.

Um dos objetivos da presente invenção é proporcionar um método para formar um revestimento de mancal liso que apresentará melhor desempenho do que os mancais atuais, que são bimetálicos.

Breve Descrição da Invenção

10 O mancal de deslizamento da presente invenção possui, como aspecto mais inovador, a existência de um material composto de revestimento (que entra em contato com a superfície deslizante do eixo do motor) depositado por Cold Spray ou Cold Gas Dynamic Spray.

Tal material pode ser aplicado em conceitos de mancais bimetálicos ou trimetálicos, pois o principal objetivo é melhorar as propriedades dos
15 mancais (capacidade de carga, resistência à corrosão e a desgaste) que são guiadas principalmente por propriedades da superfície. Consequentemente, é suficiente a espessura de vários microns para melhorar o desempenho do mancal.

20 O depósito gera uma camada que posteriormente é tratada para formar um revestimento adequado e eficiente do mancal de deslizamento. O uso de um material composto aplicado por Cold Spray ou Cold Gas Dynamic Spray permite obter excelentes propriedades de resistência a desgaste e à fricção.

25 O material composto é feito de pó de liga de alumínio com partículas cerâmicas e material anticorrosivo, todos obtidos por fusão mecânica antes do depósito por Cold Spray ou Cold Gas Dynamic Spray.

O processo de fabricação do mancal de deslizamento da presente invenção possui, preferencialmente, as etapas de obtenção da mistura em
30 pó, preparação do substrato, depósito da mistura em pó por Cold Spray ou Cold Gas Dynamic Spray, operações de usinagem e de tratamento por calor.

Descrição Resumida das Figuras

Figura 1 – é uma visão esquemática do mancal de deslizamento objeto da presente invenção.

Figura 2 – é uma visão microscópica do material de balanceamento de uma concretização preferencial do revestimento do mancal de deslizamento da presente invenção.

Figura 3 – é uma visão microscópica do material cerâmico de uma concretização preferencial do revestimento do mancal de deslizamento da presente invenção.

Figura 4 – é uma visão microscópica do material anticorrosivo de uma concretização preferencial do revestimento do mancal de deslizamento da presente invenção.

Figura 5 – é um gráfico que apresenta a propriedade de fricção do mancal de deslizamento da presente invenção em comparação com outros dois materiais de referência.

Figura 6 – é um gráfico que apresenta a resistência a desgaste do mancal de deslizamento da presente invenção em comparação com outros dois materiais de referência.

Figura 7 – é um gráfico que apresenta a carga de testes dinâmicos do mancal de deslizamento da presente invenção em comparação com outros dois materiais de referência.

Figura 8 – é um corte transversal do revestimento composto produzido pelo método cold spray.

Figura 9 – é um revestimento composto corroído (Cloreto de Ferro) produzido pelo método cold spray.

25 Descrição Detalhada das Figuras

Como já mencionado, a presente invenção refere-se a um novo e inventivo mancal de deslizamento 1,10 bem como a seu processo de fabricação e, adicionalmente, a um motor de CI compreendendo, pelo menos, um mancal de deslizamento.

30 Em primeiro lugar, é importante notar que a concretização preferencial do mancal de deslizamento da presente invenção foi idealizada para operar como um mancal de biela; entretanto, o conceito da invenção pode

ser perfeitamente utilizado para qualquer tipo de mancal.

Os mancais de deslizamento podem ser classificados em bimetálicos e trimetálicos.

Os mancais de deslizamento bimetálicos possuem uma estrutura
5 à qual se aplica um revestimento

Por outro lado, os mancais de deslizamento trimetálicos possuem, adicionalmente, uma camada intermediária à qual se aplica o revestimento, sendo um produto vantajoso para uso em motores que operam em condições árdias de ambiente (em um ambiente empoeirado, por exemplo).

10 Na figura 1, o mancal bimetálico é mostrado com o número 1 e o trimetálico é mostrado com o número 10.

O mancal de deslizamento 1,10 objeto da presente invenção contém uma estrutura de apoio 2 à qual está associado, por Cold Spray, um revestimento de mancal liso 3, que é a superfície que ficará face a face com
15 a outra superfície deslizante (por exemplo, o eixo do motor).

No caso do mancal trimetálico, o revestimento de mancal liso 3 está indiretamente associado à estrutura de apoio 2, uma vez que existe a chamada camada intermediária 30 entre eles, à qual o revestimento de mancal liso 3 é aplicado de fato.

20 A constituição específica do mancal, seja metálico ou trimetálico, não é relevante para os fins da invenção, mas sim as propriedades do revestimento de mancal liso 3.

A estrutura de apoio 2 (também conhecida como substrato) é feita preferencialmente de um material muito resistente, como aço, aço ao carbono, ferro fundido, aço ligado e aço microligado, titânio, etc., e pode ser
25 feita de qualquer outro material, se desejável. Também pode incluir uma tira lisa, como tiras de aço ou bronze, casquilhos de metades de mancais pré-formados para o centro da biela ou o orifício do bloco de carcaça. Preferencialmente, a estrutura de apoio é configurada como uma tira lisa.

30 Como já mencionado, o processo Cold Spray ou Cold Gas Dynamic Spray realiza o depósito de uma mistura em pó sobre a estrutura de apoio 2 do mancal 1, gerando uma camada que, após tratamento, se torna o

revestimento de mancal liso 3.

O processo cold spray é um processo de depósito em alta velocidade em que partículas pequenas de pó não derretido (tipicamente 1 a 50 μm de diâmetro) são aceleradas a altíssimas velocidades (aproximadamente 5 600 a 1000 metros por segundo) em um jato supersônico de gás comprimido. Mediante o impacto com uma superfície-alvo, as partículas sólidas se deformam e se unem, produzindo rapidamente uma camada de material depositado.

Como o processo Cold Spray não emprega uma fonte de calor de alta temperatura (como chama ou plasma) para derreter o material de 10 alimentação, ele não transfere grandes quantidades de calor à parte revestida. Consequentemente, não degrada materiais de revestimento termicamente sensíveis através de oxidação ou outras reações químicas residuais. Principalmente por essa razão, o processo Cold Spray é muito atraente para ma- 15 teriais de depósito sensíveis a oxigênio.

De forma semelhante, o processo Cold Spray oferece novas possibilidades para construir revestimentos espessos a partir de materiais em nanofase, compostos intermetálicos ou materiais amorfos (que frequentemente são materiais difíceis de aspergir empregando-se técnicas conven- 20 cionais de aspersão térmica), uma vez que frequentemente evita o crescimento de grãos e a formação de fases frágeis. Outra vantagem é que são eliminadas tensões residuais de tração associadas à diminuição da solidificação.

Finalmente, como última vantagem, já foi demonstrado que o 25 efeito de 'encurrallamento' das partículas sólidas colidentes produz tensões residuais compressivas em materiais depositados por cold spray.

O processo Cold Spray já é conhecido e revelado na patente norte-americana 5.302.414, publicada por Alkhimov e outros.

O uso de materiais compostos na composição do revestimento 3 30 do mancal, depositados por Cold Spray, é uma das características mais inovadoras da presente invenção, oferecendo ao mancal 1 propriedades vantajosas de resistência tanto a desgaste quanto à fricção.

A fim de fornecer um material composto produzido pelo método de depósito por cold spray, uma mistura composta de pó de liga de alumínio (denominado material de balanceamento) com partículas cerâmicas e material anticorrosivo foi utilizada. Tal material composto é obtido pela fusão mecânica dos pós antes de alimentar, com dita mistura, a máquina de depósito por cold spray; porém ele pode ser obtido por qualquer outro método.

Quando comparado ao atual estado da técnica sobre mancais de materiais metálicos com ligas de alumínio e mancais atuais fabricados pelos mencionados métodos de aspersão térmica, o material composto proposto aplicado por Cold Spray pretende oferecer melhor capacidade de carga, melhor condição de trabalho sob severo regime de lubrificação e capacidade de oferecer condicionamento acelerado da superfície cooperante significando período experimental reduzido.

De acordo com a presente invenção, várias combinações de diferentes ligas podem ser utilizadas do grupo composto por: Al, AlCu, AlSn, AlSnSi, AlSnSiCu, Cu, CuAl, CuSn, CuSnNi, CuSnBi e CuSnBiNi, dentre vários outras. Todas as ligas mencionadas podem apresentar uma vasta gama dos segundos elementos.

Para melhorar o efeito da superfície ao melhorar o efeito lubrificante e/ ou a resistência à corrosão, são necessários outros materiais.

Pode-se melhorar o efeito lubrificante ao adicionar algum lubrificante sólido, como grafite, MoS_2 , BN e PTFE, entre outros, e obtém-se um ganho nas propriedades anticorrosivas pela adição dos elementos Sn, Bi ou Mo, entre outros.

Finalmente, adicionar partículas sólidas como SiC, CBN, Al_2O_3 , B_4C , Cr_3C_2 , WC, Si_3N_4 and MoSi, entre outras, possibilitará melhor capacidade de condicionamento da superfície cooperante.

Como pode ser visto na figura 2, o material de balanceamento (Al ligado) tem um formato bem redondo com tamanho dos grãos de 5 μm até 100 μm , e o material cerâmico (por exemplo, SiC, como pode ser visto na figura 3) tem tamanho muito menor (de 1 μm até 20 μm) com formato afiado. O material anticorrosivo (por exemplo, Molibdênio, como visto na figura

4) apresenta um formato não regular com tamanho que varia de 5 μm até 300 μm .

Durante o desenvolvimento do processo de depósito para utilizar Cold Spray, tentou-se empregar vários parâmetros para melhorar o revestimento depositado quanto à adesão, coesão e baixo conteúdo poroso no revestimento composto. Veja abaixo os parâmetros finais do processo definidos para o depósito adequado do revestimento.

Tabela I: Parâmetro definido do processo para depósito ¹⁰.

Tipo de gás:	Nitrogênio
Temperatura do gás:	300 °C – 550 °C
Pressão do gás:	2200 kPa – 3200 kPa (22 Bar- 32 Bar)

Outra característica fundamental é a preparação do substrato de aço 2 para proporcionar a adequada ativação da superfície para receber o material composto aplicado pelo método cold spray. É necessário limpar o substrato 2 com solvente (por exemplo, acetona) para remover qualquer oleosidade da superfície. Além disso, a superfície metálica livre geralmente é coberta por uma camada de óxido relativamente fina, e tal oxidação prejudica a adesão do revestimento, portanto a superfície oxidada de aço exposta deve ser mecanicamente limpa, por exemplo, com corrente de ar ou com uma lixadeira. Esse processo de limpeza é responsável pela ativação da superfície para receber o depósito pelo método cold spray.

O material em pó é aplicado por um bico injetor, e o movimento relativo entre o bico injetor e o substrato 2 ocorre de forma que o bico injetor passa várias vezes na mesma região do substrato, garantindo o correto depósito do material.

Tal movimento relativo entre o bico injetor e o substrato 2 é responsável por determinar a área revestida e a espessura do revestimento. Experimentos mostraram que não há nenhuma restrição quanto à máxima espessura do revestimento.

A aplicação de revestimento utilizando materiais de substrato diferentes do aço também é completamente viável, com suas próprias particularidades, mas todas as abordagens requerem limpeza química e mecânica.

ca para ativação do substrato objetivando proporcionar boa força de ligação ou adesão.

Uma concretização preferencial do mancal de deslizamento 1 da presente invenção compreende um revestimento 3 composto por pó de alumínio ligado com 5% de cobre, 15% de carbeto de silício e 15% de Molibdênio (teores expressos em peso). Embora a concretização preferencial possua um teor específico de Mo e SiC, espera-se que mesmo 0,5 % de cada material mencionado aumentará o desempenho da mencionada liga do mancal. O teor máximo de cada material mencionado é limitado por algumas fendas no revestimento depositado que ocorre a partir de 25% do material mencionado.

No caso dos mancais bimetálicos, o Al primeiramente puro (material de balanceamento) é revestido por Cold Spray com espessura de aproximadamente 80 μm (formando a chamada intercamada de ligação 3'), então a mistura do material de $\text{AlCu}_5\text{Mo}_{15}\text{SiC}_{15}$ é utilizada para gerar revestimento por Cold Spray com espessura de aproximadamente 1mm. Como a superfície resultante não é lisa o suficiente, uma espessura de aproximadamente 150 μm é removida por usinagem.

Em seguida, o produto é sujeito a tratamento por calor (por exemplo, a 340°C durante 1 hora), para recuperar a capacidade de deformação do material e, em seguida, há o rolamento do material já tratado por calor, com redução de pelo menos 40% da espessura total da tira; resultando em uma espessura adequada para submeter a tira a um processo regular de produção de mancais.

É importante notar que o procedimento de tratamento por calor (temperatura, tempo de submissão, etc) pode variar dependendo da constituição do mancal 1,10.

Subsequentemente, a tira é cortada em forma retangular de acordo com o comprimento e diâmetro do mancal. Portanto, os pedaços de metais produzidos são forjados e submetidos à usinagem resultando na geometria final do mancal.

A figura 8 apresenta o aspecto visual do material de revestimen-

to produzido por processo Cold Spray, onde as regiões escuras são partículas de SiC e as regiões cinzas são partículas de Mo. No caso dos mancais bimetálicos, a intercamada 3' em Al puro é revelada após corroer o corte transversal (ver a camada branca entre o aço e o material composto na figura 9).

O aspecto visual do material composto não contém poros, que são muito comuns em outros processos de aspersão térmica. Além disso, o material composto produzido pelo método cold spray apresenta boa adesão do revestimento depositado.

As amostras produzidas para testes de desempenho foram fabricadas com as seguintes características:

Diâmetro externo (carcaça): 56,426 mm

Comprimento do mancal: 24,485 mm

Espessura total da parede: 1,786 mm

Espessura da liga do mancal: 0406 mm

Dureza das amostras produzidas: HV5 = 99.

As amostras produzidas de acordo com a especificação acima foram testadas quanto a seu comportamento tribológico (resistência a desgaste e à fricção).

Durante os testes realizados, o desgaste e fricção de uma concretização preferencial bimetálica do mancal de deslizamento da presente invenção (tendo um composto de revestimento 3 de AlCu₅Mo15SiC15) foram testados comparativamente com ligas bimetálicas de AlSn20Cu e AlSn4Si2Cu. Ambas classificações foram obtidas por meio de testes de bancada simplificados, seguindo padrões internos de teste ¹⁷.

Para o teste de desgaste, foi utilizada uma máquina padronizada do tipo bloco sobre anel (*block-on-ring*) onde a carga normal aplicada e a velocidade do eixo são mantidas constantes durante todo o teste, enquanto a face oposta é parcialmente submersa em óleo aquecido, então o desgaste é medido em termos de volume gasto em uma amostra lisa no fim do teste. A tabela II apresenta as principais características de testes de desgaste.

Tabela II – Condições dos testes de desgaste.

Parâmetro do teste	Valor	Unidade
velocidade	200	RPM
diâmetro	37	mm
material	SAE 4620	
acabamento da superfície	0,08 ta 0,12	Ra (µm)
Dureza	58-64	HRC
Lubrificação (de Urânio C30)		
temperatura	120	°C
Viscosidade	30	SAE
Carga normal	267	N
Duração do teste	5.000	Ciclos

- Os testes de corrosão foram realizados em uma máquina do tipo pino-sobre-disco (*pin-on-disk*) com fornecimento controlado de óleo e carga normal aumentada durante o teste até a ocorrência de corrosão, sendo convertida em carga de unidade normalizada (MPa). Para saber mais detalhes
- 5 sobre a condição dos testes, ver a tabela III abaixo.

Tabela III – Condições dos testes de corrosão.

Parâmetro do teste	Valor	Unidade
Disco		
velocidade	850	RPM
diâmetro	110	mm
material	SAE 4340	
acabamento da superfície	0,01 a 0,06	Ra (µm) HRC
Dureza	58-62	
Lubrificação (Morlina 10)		
temperatura	Ambiente	°C
viscosidade	10	SAE
fluxo da massa	7 ±1	mg/min
Carga aumentada em etapas	44,5	N
de tempo para cada nível	5	min
Máximo	1068	N

Para ambas classificações, realizam-se dez testes sequenciais de cada material a fim de gerar uma avaliação estatística do material testado.

O primeiro material testado (a conhecida liga bimetálica AlSn20Cu) é bem-reconhecido por sua propriedade de boa resistência à corrosão devido ao elevado teor de Sn, que proporciona boa propriedade de superfície sob severo regime de lubrificação. Por outro lado, o segundo material testado (a conhecida liga bimetálica AlSn10Si4Cu2) apresenta propriedade de boa resistência a desgaste devido ao teor de Si e maior dureza em comparação com o material da liga de anterior (AlSn20Cu).

A figura 5 apresenta um gráfico comparando a propriedade de fricção do material composto utilizado no revestimento do mancal de deslizamento da presente invenção (composto de AlCu₅Mo15SiC15) com outros dois materiais de referência.

No eixo vertical, a resistência à corrosão é apresentada em carga de unidade (MPa). Uma maior carga de unidade em um sistema lubrificado significa que a espessura da película de óleo será reduzida até o limite de contato metal-metal. Então, ao aumentar mais a carga aplicada, a pressão do contato aumentou até uma falha repentina caracterizada por corrosão.

Os resultados para ambas propriedades apresentadas (desgaste e corrosão) mostram um tratamento estatístico referente a 90% de confiabilidade em média, e qualquer sobreposição de bars diferentes indica que a população testada é semelhante. Consequentemente, quanto à resistência à corrosão, o material composto proposto (AlCu₅Mo15SiC15) é estatisticamente semelhante ao material bimetálico (AlSn20Cu) com alto teor de Sn. Além disso, o material composto proposto (AlCu₅Mo15SiC15) apresenta maior resistência à fricção do que um regular material bimetálico (AlSn10Si4Cu2), demonstrando que o conceito proposto funcionará facilmente na aplicação real no tocante à compatibilidade (resistência à fricção).

A figura 6 mostra os mesmos três materiais de mancais avaliados em termos de resistência a desgaste. O gráfico mostra resistência a desgaste semelhante para o proposto revestimento composto do mancal de deslizamento objeto da presente invenção (AlCu₅Mo15SiC15) e o conhecido material regular bimetálico com teor de silício (AlSn10Si4Cu2).

Os resultados obtidos são surpreendentes sob a perspectiva de

que o material proposto pôde apresentar, ao mesmo tempo, propriedades (resistência a desgaste e à fricção) que são geralmente opostas, pois normalmente materiais de mancais que oferecem boa resistência a desgaste não podem oferecer boa resistência à fricção, e vice-versa.

5 Como o mancal de deslizamento objeto da presente invenção é proposto para aplicação em motores de combustão interna, ele deve apresentar resistência adequada não apenas para testes realizados sob carregamento constante, mas deve-se considerar o carregamento cíclico também.

10 Portanto, as amostras produzidas foram submetidas a testes de fadiga onde os experimentos são realizados sob condição lubrificada aquecida simultaneamente ao movimento de deslizamento e ao carregamento senoidal. Na verdade, a capacidade de carga do conceito proposto é a característica mais importante a ser validada.

15 A capacidade de carga do material composto pelo método cold spray é comparada aos materiais bimetálicos com maior capacidade de carga. Os resultados podem ser vistos na figura 7. O revestimento composto de acordo com a presente invenção apresentou uma melhoria de aproximadamente 10% na capacidade de carga.

20 É importante notar que os materiais compostos diferentes de $(AlCu_5Mo_{15}SiC_{15})$ podem ser utilizados para formar o revestimento do mancal de deslizamento objeto da presente invenção a fim de obter as propriedades desejadas de alta resistência a desgaste e à fricção, bem como maior capacidade de carga, ao mesmo tempo. Na verdade, a invenção, apesar das concretizações preferenciais aqui descritas, refere-se a qualquer tipo
25 de mancal contendo um revestimento composto depositado pelo processo Cold Spray.

30 Também é uma invenção o processo de fabricação do presente mancal de deslizamento, apesar de sua constituição particular. Resumidamente, o fluxo do processo de fabricação para produção do mancal é apresentado abaixo:

etapa (i) – Preparação da mistura em pó.

etapa (ii) – Preparação do substrato (limpeza, etc.).

etapa (iii) – Depósito da mistura em pó por método de cold spray.

etapa (iv) – Operações de conformação, usinagem e tratamento por calor.

- 5 Preferencialmente, a etapa (iii) é subdividida em uma etapa (iii.a) de depósito de uma intercamada 3' e uma etapa (iii.b), posterior, de depósito da camada de revestimento.

10 Ainda preferencialmente, a etapa (iv) é subdividida em uma etapa (iv.a) de tratamento por calor da tira, uma etapa (iv.b) de rolamento da tira, uma etapa (iv.c) de produção de pedaço de metal, uma etapa (iv.d) em que o pedaço de metal é forjado em forma curva do mancal e, finalmente, uma etapa (iv.e) de acabamento do mancal por processo de usinagem.

15 A preparação da mistura em pó (etapa (i)) é preferencialmente realizada por fusão mecânica, mas evidentemente outras soluções podem ser utilizadas.

20 A preparação do substrato 2 (etapa (ii)), como já mencionado, corresponde preferencialmente à limpeza do substrato 2 com solvente (por exemplo, acetona) para remover qualquer oleosidade da superfície. É importante notar que a etapa (ii) pode ser meramente opcional caso o substrato já esteja limpo.

 No caso de um mancal bimetálico 1, a etapa (iii.a) corresponde à aplicação, por Cold Spray, de uma intercamada 3' constituinte (preferencialmente Al puro em pó), com espessura de aproximadamente 80 μm , preferencialmente.

25 A etapa (iii.b) corresponde à aplicação, por Cold Spray, do composto em pó $\text{AlCu}_5\text{Mo}_{15}\text{Si}_{15}$ para formar a camada de revestimento, com espessura de aproximadamente 1mm, preferencialmente.

30 A etapa (iv.a) corresponde ao tratamento por calor do substrato (com a camada 3' se aplicável) e do revestimento aplicado, preferencialmente a 340°C por 1 hora, para recuperar a deformação do material.

 A etapa (iv.b) corresponde à operação de rolamento, para redução preferencialmente de pelo menos 40% da espessura total da tira.

A etapa (iv.c) corresponde à produção do pedaço de metal, onde a tira é preferencialmente cortada em formato retangular de acordo com o comprimento e diâmetro do mancal.

5 A etapa (iv.d) corresponde ao forjamento do pedaço de metal em forma curva do mancal (substancialmente uma forma em "C"), que é o formato do mancal final.

Finalmente, a etapa (iv.e) corresponde à usinagem da superfície do revestimento (que antes não era lisa o suficiente), sendo removida uma espessura de aproximadamente 150 μm por usinagem.

10 Evidentemente, algumas características do processo de fabricação podem variar dependendo dos materiais utilizados, do tipo e da geometria do mancal resultante, etc., e o processo resultante pode ser perfeitamente incluído no escopo de proteção das reivindicações apenas.

15 Um motor de combustão interna que possui, pelo menos, um mancal de deslizamento de acordo com a presente invenção é também uma invenção nova e inventiva, estando incluído no escopo de proteção das reivindicações apenas.

20 Tendo sido descritas algumas concretizações preferenciais, deve ser entendido que o escopo da presente invenção abrange outras possíveis variações, sendo limitado tão-somente pelo teor das reivindicações apenas, que incluem os possíveis equivalentes.

REIVINDICAÇÕES

1. Mancal de deslizamento, particularmente para compelir pelo menos um eixo de um motor de combustão interna, possuindo uma estrutura de apoio ou substrato (2) à qual é aplicado um revestimento (3) por processo
5 Cold Spray ou Cold Gas Dynamic Spray; caracterizado pelo fato de que tal revestimento (3) compreende pelo menos um material composto constituído de pelo menos um pó de liga com partículas cerâmicas e material anticorrosivo.

2. Mancal de deslizamento de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o material composto utilizado é o Al-
10 Cu₅Mo15SiC15.

3. Mancal de deslizamento de acordo com a reivindicação 2, caracterizado pelo fato de que o revestimento (3) corresponde a uma intercama-
15 da (3') composta por Al puro e a uma camada de revestimento composta pelo material composto AlCu₅Mo15SiC15.

4. Mancal de deslizamento de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o substrato (2) é composto por aço ou ferro fundido.

5. Mancal de deslizamento, particularmente para compelir pelo menos um eixo de um motor de CI, possuindo uma estrutura de apoio ou um
20 substrato (2) ao qual é aplicado um revestimento (3) por processo Cold Spray ou Cold Gas Dynamic Spray; caracterizado pelo fato de que o revestimento compreende pelo menos um dos componentes cerâmicos SiC, CBN, Al₂O₃, B₄C, Cr₃C₂, WC, Si₃N₄ ou MoSi.

25 6. Processo de fabricação de um mancal de deslizamento, caracterizado pelo fato de compreender as seguintes etapas:

etapa (i) – Preparação da mistura em pó;

etapa (ii) – Preparação do substrato (2);

etapa (iii) – Depósito da mistura em pó por método cold spray; e

30 etapa (iv) – operações de conformação, usinagem e tratamento por calor.

7. Processo de fabricação de acordo com a reivindicação 6, ca-

racterizado pelo fato de que a etapa (i) é realizada por fusão mecânica.

8. Processo de fabricação de acordo com a reivindicação 6, caracterizado pelo fato de que a etapa (ii) corresponde preferencialmente à limpeza do substrato (2) com solvente para remover qualquer oleosidade da superfície.

9. Processo de fabricação de acordo com a reivindicação 6, caracterizado pelo fato de que a etapa (iii) é subdividida em uma etapa (iii.a) de depósito de uma intercamada (3') e uma etapa (iii.b), posterior, de depósito da camada de revestimento.

10. Processo de fabricação de acordo com a reivindicação 9, caracterizado pelo fato de que a etapa (iii.a) corresponde à aplicação, por Cold Spray, de uma intercamada (3') constituinte, preferencialmente Al puro em pó, com uma espessura de aproximadamente 80 μm .

11. Processo de fabricação de acordo com a reivindicação 9 ou 10, caracterizado pelo fato de que a etapa (iii.b) corresponde à aplicação, por Cold Spray, do composto em pó $\text{AlCu}_5\text{Mo}_{15}\text{SiC}_{15}$ para formar a camada de revestimento, com espessura de aproximadamente 1mm, preferencialmente.

12. Processo de fabricação de acordo com a reivindicação 6, caracterizado pelo fato de que a etapa (iv) é subdividida em uma etapa (iv.a) de tratamento por calor de uma tira, uma etapa (iv.b) de rolamento da tira, uma etapa (iv.c) de produção de pedaço de metal, uma etapa (iv.d) de forjamento do pedaço de metal em forma curva do mancal e, finalmente, uma etapa (iv.e) de acabamento do mancal por processo de usinagem.

13. Processo de fabricação de acordo com a reivindicação 12, caracterizado pelo fato de que a etapa (iv.a) corresponde ao tratamento por calor do substrato (2) e do revestimento aplicado, a 340°C durante 1 hora, para recuperar a deformação do material.²²

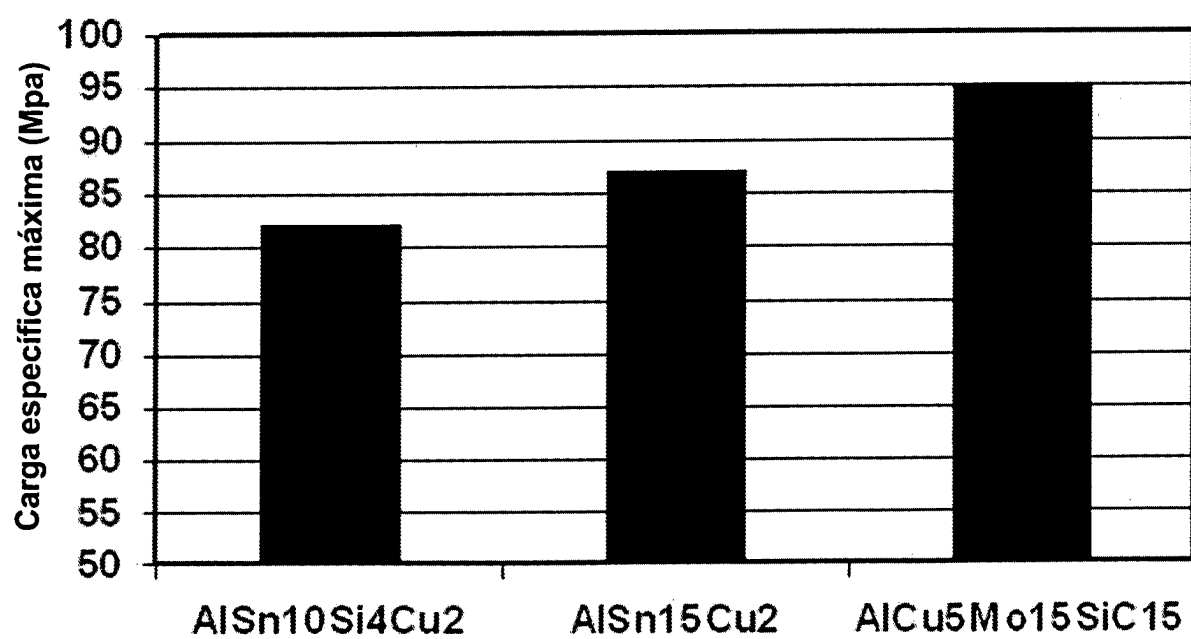
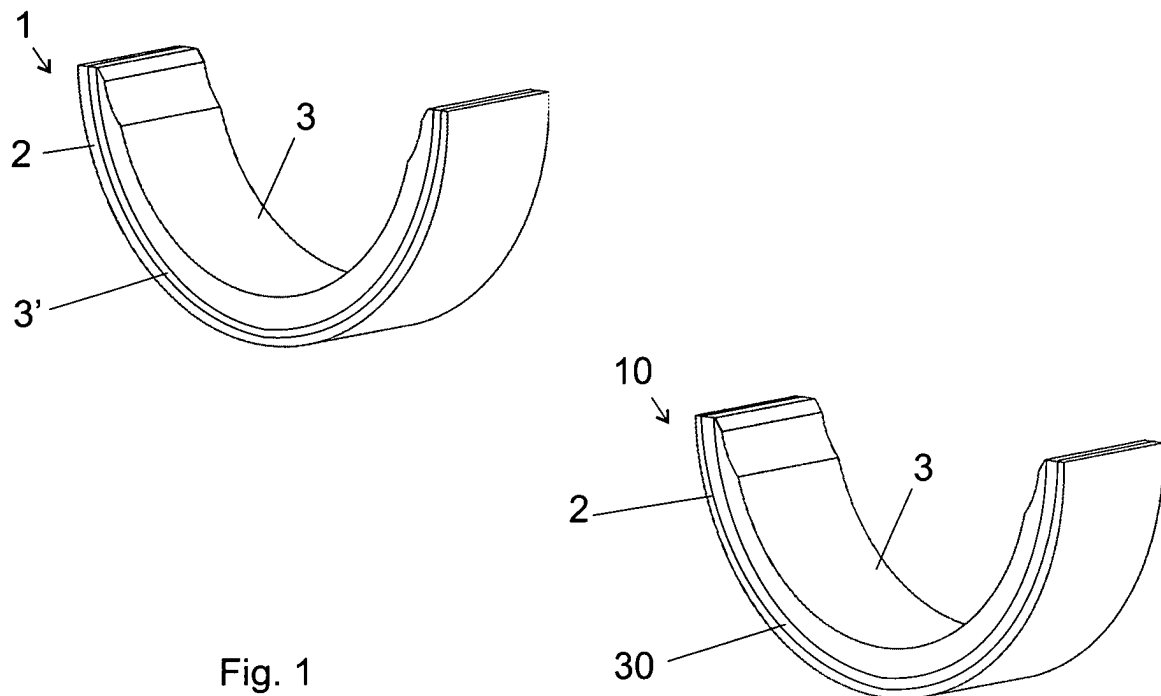
14. Processo de fabricação de acordo com a reivindicação 12, caracterizado pelo fato de que a etapa (iv.b) corresponde à operação de rolamento, para redução preferencialmente de pelo menos 40% da espessura total da tira.

15. Processo de fabricação de acordo com a reivindicação 12, caracterizado pelo fato de que a etapa (iv.c) corresponde à produção do pedaço de metal, em que a tira é preferencialmente cortada em formato retangular de acordo com o comprimento e diâmetro do mancal.

5 16. Processo de fabricação de acordo com a reivindicação 12, caracterizado pelo fato de que a etapa (iv.d) corresponde ao forjamento do pedaço de metal em forma curva "C" do mancal.

10 17. Processo de fabricação de acordo com a reivindicação 12, caracterizado pelo fato de que a etapa (iv.e) corresponde à usinagem da superfície do revestimento, sendo removida uma espessura de aproximadamente 150 μm por usinagem.

18. Motor de combustão interna, caracterizado pelo fato de compreender pelo menos um mancal de deslizamento (1) conforme definido nas reivindicações 1 a 5.



2/4

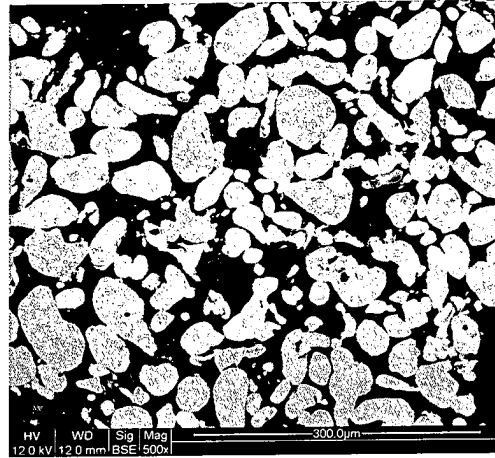


Fig. 2

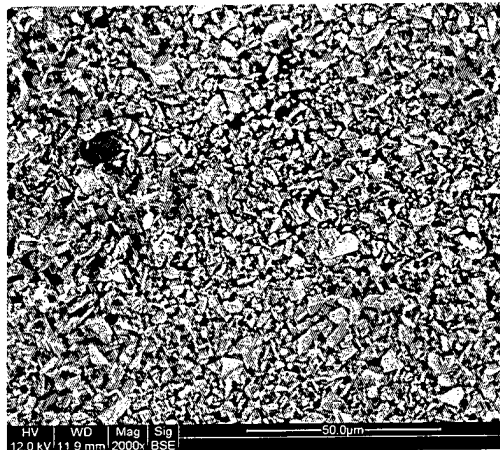


Fig. 3

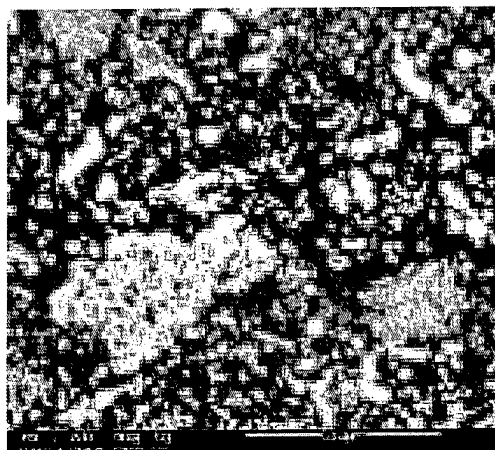


Fig. 4

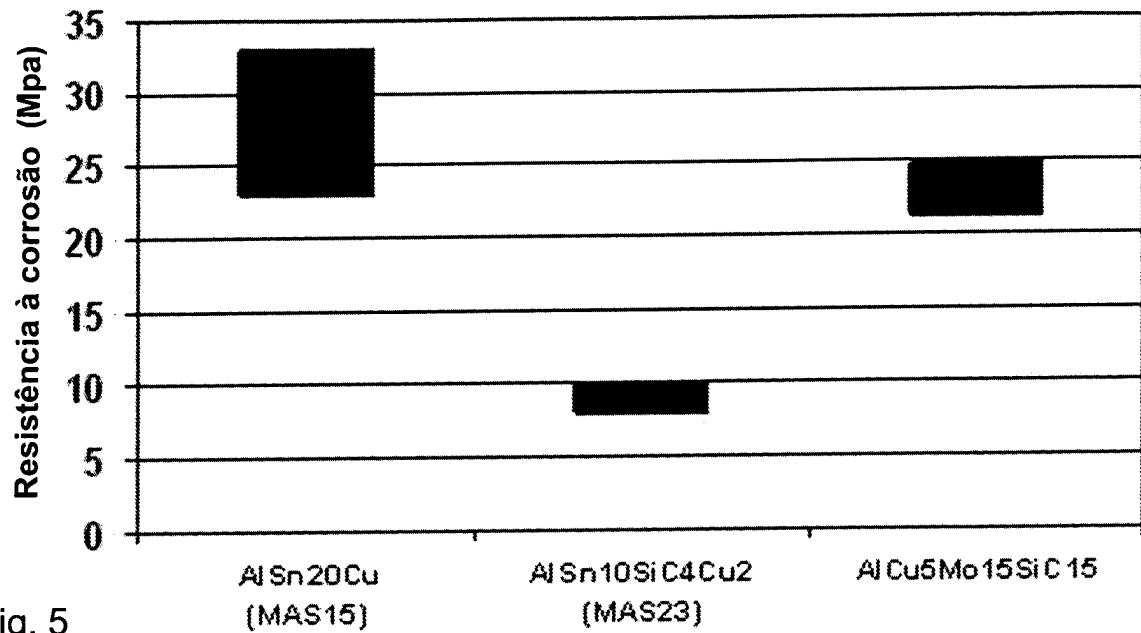


Fig. 5

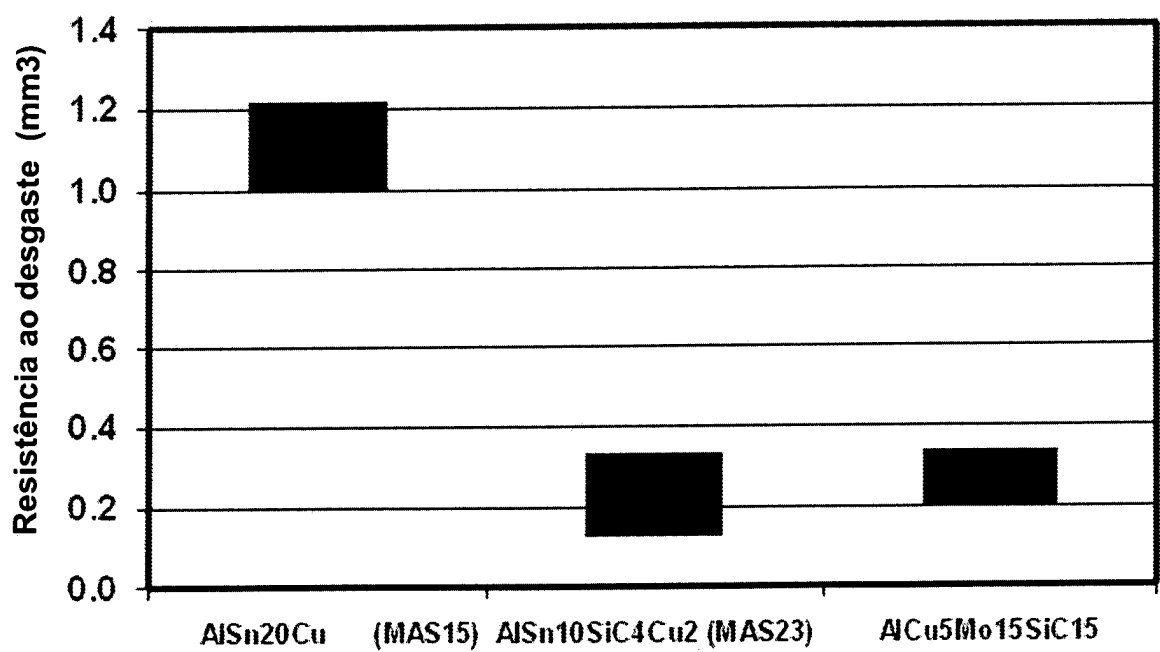


Fig. 6

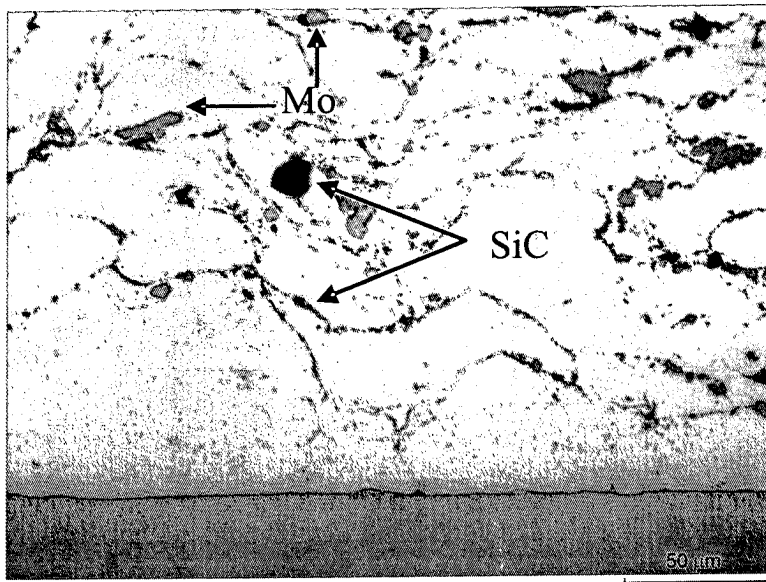


Fig. 8

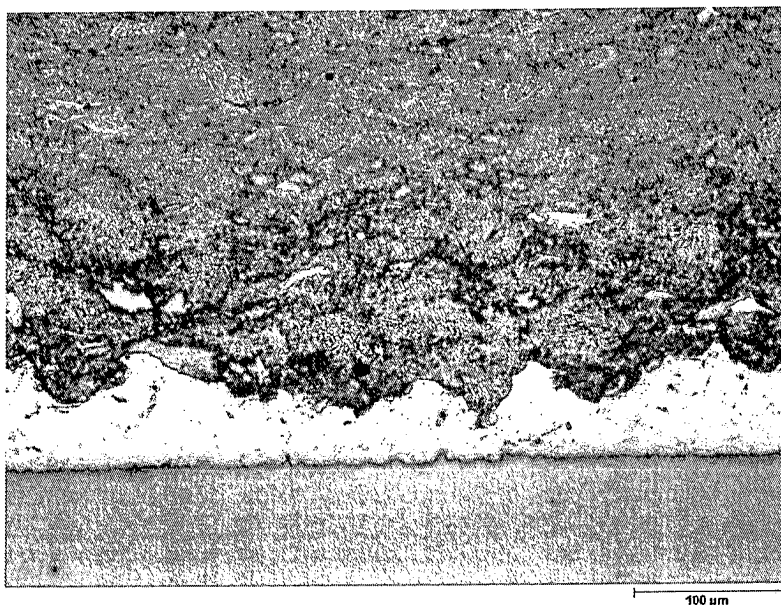


Fig. 9

PI 0903741-1

RESUMO

Patente de Invenção: **"MANCAL DE DESLIZAMENTO, PROCESSO DE FABRICAÇÃO E MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA"**.

A presente invenção refere-se a um mancal de deslizamento, particularmente para compelir pelo menos um eixo de um motor de combustão interna, contendo uma estrutura de apoio ou substrato (2) a qual é aplicado um revestimento (3) por processo Cold Spray ou Cold Gas Dynamic Spray, tal revestimento constituindo-se de pelo menos um material composto compreendendo, pelo menos, uma liga em pó com partículas cerâmicas e material anticorrosivo.