

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

(21) **PI0803956-9 A2**



(22) Data de Depósito: 12/09/2008
(43) Data da Publicação: 22/06/2010
(RPI 2059)

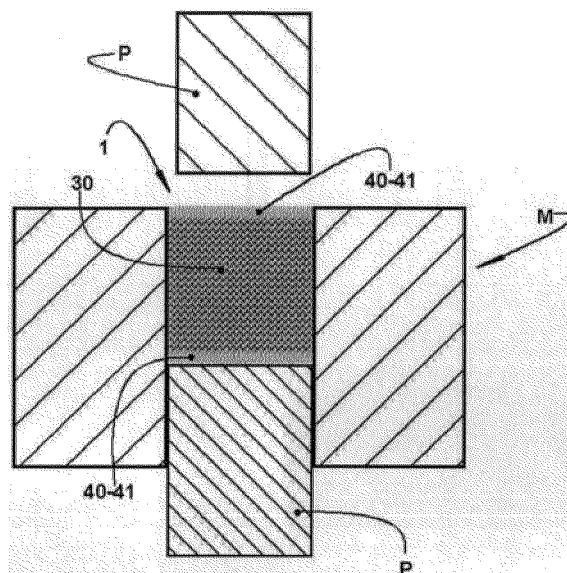
(51) *Int.Cl.:*
B22F 1/00
C22C 38/00

(54) Título: **COMPOSIÇÃO METALÚRGICA DE MATERIAIS PARTICULADOS, PRODUTO SINTERIZADO AUTOLUBRIFICANTE E PROCESSO DE OBTENÇÃO DE PRODUTOS SINTERIZADOS AUTOLUBRIFICANTES**

(73) Titular(es): Lupatech S.A, Universidade Federal de Santa Catarina, Whirlpool S.A

(72) Inventor(es): Aloisio Nelmo Klein, Cristiano Binder, Gisele Hammes, Moisés Luiz Parucker, Roberto Binder, Waldyr Ristow Junior

(57) Resumo: A composição metalúrgica compreende um material metálico particulado principal, por exemplo ferro ou níquel, e pelo menos um elemento de liga endurecedor do material metálico principal, formadores de uma matriz estrutural (10); um lubrificante sólido particulado (20), como grafita, nitreto hexagonal de boro ou mistura de ambos; e um elemento de liga particulado, capaz de formar, durante a sinterização da composição conformada por compactação ou por moldagem por injeção, uma fase líquida, aglomerando o lubrificante sólido (20) em partículas discretas. A composição pode compreender um componente de liga para estabilizar a fase alfa da matriz de ferro, durante a sinterização, para evitar que o lubrificante sólido grafita seja solubilizado no ferro. A invenção envolve ainda um produto sinterizado autolubrificante, obtido da composição e ainda seu processo de obtenção.





"COMPOSIÇÃO METALÚRGICA DE MATERIAIS PARTICULADOS, PRODUTO SINTERIZADO AUTOLUBRIFICANTE E PROCESSO DE OBTENÇÃO DE PRODUTOS SINTERIZADOS AUTOLUBRIFICANTES".

Campo da Invenção

5 A presente invenção diz respeito às técnicas específicas de fabricação de produtos acabados (peças) e semi-acabados (artigos diversos) conformados a partir de uma composição metalúrgica de materiais particulados (na forma de pós metálicos e não metálicos) e a serem
10 sinterizados, ditos produtos compreendendo, além dos elementos constitutivos da matriz metálica estrutural do produto a ser formado durante a etapa de sinterização, um lubrificante sólido, em forma particulada, disperso na matriz metálica, levando à formação da microestrutura de
15 um produto compósito autolubrificante, com matriz metálica contínua, e capaz de imprimir, aos produtos sinterizados, um baixo coeficiente de atrito aliado a elevadas resistência mecânica e dureza da peça ou produto sinterizado. A invenção abrange a referida composição
20 metalúrgica para formação do produto compósito autolubrificante (peças), por sinterização, a partir da referida composição e ainda as técnicas ou processos alternativos específicos para a obtenção das referidas peças ou produtos por metalurgia do pó.

25 Histórico da Invenção

Na engenharia mecânica, cresce a busca pela obtenção de materiais para aplicações nas quais se requer propriedades como elevada resistência mecânica e ao desgaste, aliadas a um baixo coeficiente de atrito.
30 Atualmente, problemas de desgaste e corrosão somados, representam perdas de 2% a 5% do PIB mundial; cerca de 35% de toda energia mecânica produzida no planeta é perdida por deficiência em lubrificação, sendo convertida em calor por atrito. Além da perda de energia, o calor
35 gerado prejudica o desempenho do sistema mecânico pelo aquecimento. Assim, manter o coeficiente de atrito baixo em peças mecânicas que se atritam é de fundamental

importância, não só para economizar energia, mas também, para aumentar a durabilidade das mesmas e dos sistemas mecânicos onde operam; além disso, contribui para a preservação do meio ambiente.

5 A forma utilizada para reduzir desgaste e atrito entre superfícies em movimento relativo é manter estas separadas, intercalando entre elas uma camada de lubrificante. Dentre as possíveis formas de lubrificação, a hidrodinâmica (lubrificantes fluidos) é a mais
10 utilizada. Na lubrificação hidrodinâmica é formada uma película de óleo que separa completamente as superfícies em movimento relativo. Deve ser salientado, no entanto, que o uso de lubrificantes fluidos é muitas vezes problemático, como em aplicações para temperaturas muito
15 altas ou muito baixas, em aplicações onde o lubrificante fluido pode reagir quimicamente e quando o lubrificante fluido pode agir como contaminante. Além disso, em situações de lubrificação limite, decorrentes de paradas de ciclo ou em situações de impossibilidade de formação
20 de um filme de óleo contínuo, existe o contato entre as peças e, conseqüentemente, o desgaste.

A lubrificação a seco, isto é, com a utilização de lubrificantes sólidos, é uma alternativa à lubrificação tradicional, pois atua pela presença de uma camada de
25 lubrificante que impede o contato entre as superfícies dos componentes, sem apresentar, porém, o rompimento da camada formada.

Os lubrificantes sólidos têm sido bastante aceitos em áreas de lubrificação problemática. Eles podem ser
30 utilizados em temperaturas extremas, sob altas cargas e em ambientes quimicamente reativos, onde lubrificantes convencionais não podem ser utilizados. Além disso, a lubrificação a seco (lubrificantes sólidos) é uma alternativa ambientalmente mais limpa.

35 O lubrificante sólido pode ser aplicado aos componentes de um par tribológico, na forma de filmes (ou camadas) depositados ou gerados na superfície dos componentes ou

incorporado ao volume do material de ditos componentes, na forma de partículas de segunda fase. No caso da aplicação de filmes ou camadas específicas, quando acontece desgaste destes filmes ou camadas, ocorre o
5 contato metal-metal e o conseqüente e rápido desgaste das superfícies desprotegidas confrontantes e dos componentes relativamente móveis. Nessas soluções de aplicação de filmes ou camadas, deve ser ainda considerada a dificuldade de reposição do lubrificante, sua oxidação e
10 sua degradação.

Assim, uma forma mais adequada e que permite aumentar o tempo de vida do material, ou seja, dos componentes, é a incorporação do lubrificante sólido no volume do material constitutivo do componente, de modo a estruturar o
15 componente, em um material compósito de baixo coeficiente de atrito. Isto é possível por meio da tecnologia de processamento de materiais a partir de pós, ou seja, pela conformação de uma mistura de pó por compactação, incluindo prensagem, laminação, extrusão e outros, ou
20 ainda por moldagem por injeção, seguida de sinterização, para obtenção de um material compósito contínuo, geralmente já na geometria e nas dimensões finais (produto acabado) ou em geometria e dimensões próximas das finais (produto semi-acabado).

25 Componentes mecânicos autolubrificantes (produtos da metalurgia do pó) apresentando baixo coeficiente de atrito, tal como buchas autolubrificantes sinterizadas, produzidas via metalurgia do pó, a partir de materiais compósitos, compreendendo um precursor particulado,
30 formador da matriz estrutural da peça, e um lubrificante sólido particulado, a ser incorporado na matriz estrutural da peça, vêm encontrando uso em eletrodomésticos e pequenos equipamentos diversos, como: impressoras, barbeadores elétricos, furadeiras,
35 liquidificadores, entre outros. Na maior parte dos casos já bem conhecidos da técnica, para a matriz estrutural utiliza-se bronze, cobre, prata, e ferro puro. Como

lubrificante sólido utiliza-se: dissulfeto de molibdênio (MoS_2), prata (Ag), politetrafluoretileno (PTFE) e disseleneto de molibdênio (MoSe_2). Este tipo de bucha autolubrificante, principalmente com matriz de bronze e cobre contendo, como partículas de lubrificante sólido, pó de grafita, dissulfeto de molibdênio e selênio e metais de baixo ponto de fusão, tem sido produzido e utilizado há décadas em diversas aplicações de engenharia.

- 10 No entanto, estas peças não apresentam elevada resistência mecânica em função do seu elevado teor volumétrico (de 25% a 40%) de partículas de lubrificante sólido, o que resulta em um baixo grau de continuidade da fase matriz, que é o elemento microestrutural responsável
- 15 pela resistência mecânica da peça. Este elevado teor de lubrificante sólido tem sido considerado necessário para a obtenção de um baixo coeficiente de atrito em uma situação onde tanto as propriedades mecânicas da matriz metálica (resistência e dureza) quanto os parâmetros
- 20 micro-estruturais, como o tamanho das partículas de lubrificante sólido dispersas na matriz e o livre caminho médio entre estas no material compósito formado, não eram otimizados. O elevado percentual volumétrico de lubrificante sólido, que possui baixa resistência
- 25 intrínseca ao cisalhamento, não contribui para a resistência mecânica da matriz metálica.

Além disso, a baixa dureza da matriz metálica permite a obstrução gradativa das partículas de lubrificante sólido na superfície de contato do material ou produto

30 sinterizado. Assim, para manter um coeficiente de atrito suficientemente baixo, um percentual volumétrico elevado de lubrificante sólido tem sido tradicionalmente utilizado na composição de materiais compósitos autolubrificantes a seco.

- 35 Um cenário parcialmente diferenciado e mais evoluído, se comparado com o do descrito anteriormente, é apresentado no documento US6890368, que propõe um material compósito

autolubrificante para utilização em temperaturas no intervalo entre 300°C a 600°C, com resistência a tração suficiente ($\sigma_t \geq 400\text{MPa}$) e coeficiente de atrito menor que 0,3. Este documento apresenta uma solução para a

5 obtenção de peças ou produtos de baixo coeficiente de atrito, sinterizados a partir de uma mistura de material particulado de formação de uma matriz estrutural metálica e incluindo, como partículas de lubrificante sólido em seu volume, principalmente nitreto hexagonal de boro,

10 grafita ou uma mistura destes e afirma que o referido material é adequado para utilização em temperaturas no intervalo entre 300°C a 600°C, com resistência a tração suficiente ($\sigma_t \geq 400\text{MPa}$) e coeficiente de atrito menor que 0,3.

15 Ocorre que peças ou produtos obtidos a partir da consolidação de uma mistura de pós na qual estão presentes ao mesmo tempo os pós da matriz estrutural e os pós de lubrificante sólido, como por exemplo, nitreto hexagonal de boro e grafita, apresentam baixa resistência

20 mecânica e fragilidade estrutural após sua sinterização. A deficiência acima citada é decorrência da dispersão inadequada, por cisalhamento, da fase lubrificante sólido

20 entre as partículas de pó da matriz estrutural 10, da condição ilustrada na figura 1A dos desenhos anexos, para

25 a condição ilustrada na figura 1B, durante as etapas de mistura e de conformação (densificação) das peças ou produtos a serem produzidos. O lubrificante sólido 20 se espalha, por cisalhamento, entre as partículas da fase

matriz estrutural 10, tendendo envolvê-las, durante as

30 etapas de mistura e de conformação como por compactação, por prensagens de pós, laminação de pós, extrusão de pós, bem como por moldagem de pós por injeção, as quais imprimem, ao referido lubrificante sólido, tensões que ultrapassam a sua baixa tensão de cisalhamento, conforme

35 esquematicamente ilustrado na figura 1B dos desenhos anexos.

Por outro lado, a presença da camada de lubrificante

sólido entre as partículas (do pó) da matriz estrutural, quando se trata de um lubrificante sólido solúvel na matriz, não atrapalha a formação de "necks" de sinterização entre as partículas da matriz metálica estrutural do compósito. No entanto, neste caso, o lubrificante sólido, ao ser dissolvido, durante a sinterização da peça, perde a sua função de lubrificar, pois a fase de lubrificante sólido desaparece por dissolução na matriz. Quando se trata de lubrificante sólido insolúvel na matriz estrutural, como é o caso do nitreto hexagonal de boro, a camada 21 formada por cisalhamento (ver Figura 1B) atrapalha a formação de contatos metálicos entre estas partículas formadoras da matriz estrutural 10 do compósito durante a sinterização; isto contribui para a diminuição do grau de continuidade da fase matriz estrutural 10 do material compósito, fragilizando estruturalmente o material e os produtos obtidos.

Em função das limitações acima, torna-se necessária uma solução técnica tanto para evitar a solubilização dos lubrificantes solúveis na matriz estrutural, como para reagrupar o lubrificante sólido não solúvel, disperso na forma de camada 21 nas etapas de homogeneização mecânica e de conformação (densificação) da mistura de materiais particulados, em partículas discretas durante a sinterização.

Situação semelhante à descrita ocorre quando da mistura de partículas de lubrificante sólido não solúvel com partículas da matriz estrutural do material compósito, o lubrificante sólido 20 possuindo tamanho de partícula muito menor do que aquele das partículas do material que forma a matriz estrutural 10 do compósito (ver figura 2B dos desenhos anexos). Neste caso, as partículas muito mais finas do lubrificante sólido 20 tendem a formar uma camada 21 relativamente contínua entre as partículas do pó metálico da matriz estrutural 10, mesmo sem tensões cisalhantes durante as etapas de processamento anteriores

à sinterização. A camada 21, quase contínua, de particulado fino do lubrificante sólido 20, prejudica a sinterização entre as partículas da matriz estrutural metálica 10, fragilizando estruturalmente a peça final.

5 Em casos de fases insolúveis, uma distribuição mais adequada é aquela em que as partículas do material particulado da matriz do compósito e as partículas do lubrificante sólido a ser disperso na matriz apresentam tamanho de partícula da mesma ordem de grandeza (ver
10 figura 2A).

Como a matriz estrutural 10 metálica é o único elemento microestrutural da composição que confere resistência mecânica ao material compósito a ser formado, quanto maior o grau de continuidade da matriz metálica do
15 referido compósito, maior será a resistência mecânica do artigo ou peça sinterizada produzida com o material. A manutenção do elevado grau de continuidade da matriz estrutural metálica do material compósito autolubrificante a seco sinterizado requer, além de baixa
20 porosidade, baixo percentual volumétrico da fase lubrificante sólido, já que este não contribui para a resistência mecânica do material e, em decorrência, não contribui para a resistência mecânica dos produtos sinterizados.

25 Portanto, torna-se necessária uma solução técnica tanto para evitar a solubilização dos lubrificantes quando solúveis na matriz, como para reagrupar o lubrificante sólido que, por cisalhamento, durante as etapas de homogeneização mecânica da mistura e de conformação
30 (densificação), resultou em uma distribuição na forma de camadas 21 no volume do material, atrapalhando a sinterização e o grau de continuidade da matriz estrutural 10 do compósito. O lubrificante sólido 20 deve estar disperso no volume do material compósito, na forma
35 de partículas discretas, distribuídas uniformemente, isto é, com um livre caminho médio, " λ ", regular entre as partículas da matriz estrutural 10 metálica (ver figura

3). Isto permite gerar maior eficiência de lubrificação e, ao mesmo tempo, maior grau de continuidade da matriz do compósito, garantindo maior resistência mecânica ao material compósito autolubrificante, formado durante a sinterização, conforme ilustrado na figura 3.

As composições preparadas para gerar compósitos autolubrificantes que apresentam como material para formação da matriz, o elemento metálico ferro ou ligas ferrosas e tendo, ao mesmo tempo, a grafita como lubrificante sólido, resultam em um material compósito sinterizado autolubrificante com uma matriz que pode resultar excessivamente dura e fragilizada e com um coeficiente de atrito acima do esperado e desejado, em decorrência da solubilização do carbono pela matriz ferro.

Nas elevadas temperaturas de sinterização (superiores a 723°C) o elemento químico carbono da grafita é solubilizado na estrutura cúbica de faces centradas do ferro (ferro gama) ou da liga ferrosa austenítica. Assim, a utilização de lubrificante sólido contendo grafita resulta em uma indesejável reação do carbono com o ferro, durante a sinterização, a partir de temperaturas acima de 723°C, resultando em uma peça com reduzida ou nenhuma propriedade autolubrificante, pois todo ou grande parte do carbono da grafita deixa de operar como lubrificante sólido, formando carboneto de ferro.

O referido documento US6890368 apresenta uma solução de material de formação de matriz metálica no qual, para evitar a interação do lubrificante sólido, definido pela grafita, com as partículas da matriz estrutural ferrosa, é provido o revestimento prévio das partículas de grafita com um metal que, durante as altas temperaturas de sinterização, minimiza a possibilidade de interação da grafita encapsulada a matriz estrutural ferrosa.

Apesar de a solução sugerida no documento US6890368 resolver o problema de perda do lubrificante sólido grafita durante a sinterização da peça pelo

encapsulamento da grafita, este mesmo encapsulamento dificulta o espalhamento da grafita para formação de uma camada na superfície de trabalho da peças quando em serviço (quando atritadas em movimento relativo),
5 diminuindo a realimentação com lubrificante sólido, tornando a lubrificação menos eficiente. Além disso, apenas o encapsulamento da grafita não resolve o problema de fragilização da matriz metálica quando o lubrificante sólido contém nitreto hexagonal de boro, que pode, por
10 cisalhamento, gerar um filme entre as partículas da matriz durante as etapas de mistura mecânica em moinhos e de conformação (densificação). O problema de fragilização da peça sinterizada, em função do cisalhamento do lubrificante sólido nitreto hexagonal de boro, não é
15 discutido no referido documento norte-americano anterior, apesar desse documento considerar a compactação e a pré-sinterização como uma das possíveis técnicas de moldagem da peça a ser sinterizada, contendo o referido lubrificante sólido de baixa tensão de cisalhamento.
20 Além das deficiências acima, a referida solução de encapsulamento da grafita apresenta um elevado custo em função dos materiais envolvidos e da necessidade de tratamento prévio de metalização desse lubrificante sólido.
25 Além disso, os tipos de matriz, em geral utilizados até recentemente, para a fabricação de peças ou produtos, em materiais compósitos autolubrificantes, não apresentam a dureza necessária para evitar que as partículas da fase lubrificante sólido sejam encobertas rapidamente pela
30 fase matriz por micro-deformação plástica, decorrente dos esforços mecânicos a que a superfície de trabalho da peça é submetida, dificultando a manutenção de uma tribocamada pelo espalhamento do lubrificante sólido na referida superfície de trabalho da peça.
35 A matriz metálica do material necessita elevada resistência à deformação plástica para operar não só como suporte mecânico com a necessária capacidade de

carregamento, como também para evitar que as partículas de lubrificante sólido sejam encobertas por escoamento plástico da matriz estrutural durante o funcionamento da peça (quando atritadas em movimento relativo), impedindo o espalhamento do lubrificante sólido na interface onde ocorre o movimento relativo entre as peças.

Sumário da Invenção

É, portanto, um objetivo da presente invenção prover uma composição metalúrgica de material compósito, formado por uma matriz estrutural metálica e por um lubrificante sólido não-metálico, e que seja adequada para a fabricação, por meio de operações de conformação (densificação) e de sinterização, de produtos sinterizados (acabados e semi-acabados), apresentando baixo coeficiente de atrito aliado a uma elevada resistência mecânica e elevada dureza.

É igualmente um objetivo de a presente invenção prover uma composição metalúrgica de material compósito para fabricação, por meio de operações de conformação (densificação) e de sinterização, de produtos sinterizados, tal como acima citado e que não exija o tratamento prévio do lubrificante sólido particulado contendo carbono, isto é, da grafita, quando aplicado a uma matriz a base de ferro ou de liga ferrosa, mesmo que esta permita a dissolução do carbono nas temperaturas de sinterização.

Um objetivo adicional da presente invenção é prover uma composição tal como acima citada e que seja de obtenção fácil e de baixo custo.

É igualmente um objetivo de a presente invenção prover um produto sinterizado, obtido a partir de uma conformação, por compactação via prensagem, laminação, extrusão e outros ou por moldagem por injeção, seguida de uma sinterização, da composição acima definida e que apresente um alto grau de continuidade da matriz estrutural metálica, um baixo coeficiente de atrito e uma alta resistência mecânica, utilizando um lubrificante

sólido compreendendo, por exemplo, grafita, nitreto hexagonal de boro ou mistura de ambos.

É igualmente um objetivo da presente invenção prover um processo de obtenção de produtos sinterizados, por meio de conformação (densificação) e sinterização, e que evite a necessidade de preparo prévio de partículas da composição utilizada, para garantir a continuidade da matriz metálica e os desejados valores de coeficiente de atrito e de resistência mecânica do produto obtido.

- 10 Em um primeiro aspecto da presente invenção, os objetivos acima são alcançados através de uma composição metalúrgica de material compósito, para a fabricação de produtos compósitos autolubrificantes e sinterizados, previamente conformados por uma das operações de
- 15 compactação e de moldagem por injeção de dita composição, a qual compreende uma mistura de: um material particulado, definidor de uma matriz estrutural metálica; um material particulado, definidor de um lubrificante sólido passível de cisalhar e formar uma camada sobre as
- 20 partículas do material de formação da matriz estrutural metálica, quando da homogeneização mecânica da mistura dos componentes ou da conformação (densificação) da composição do material compósito; e pelo menos um material particulado definindo um elemento de liga
- 25 particulado (elemento químico) capaz de formar uma fase líquida durante a sinterização, por reação com a matriz do material compósito, permitindo reverter, durante a sinterização, a distribuição desfavorável do lubrificante sólido presente em forma de camada.
- 30 A fase líquida, formada por interdifusão dos componentes da mistura de particulados, ao se espalhar por sobre as partículas do material da matriz, presentes no material em formação, penetra entre estas e a camada de lubrificante sólido aderido, removendo-o e provocando a
- 35 aglomeração do lubrificante sólido em partículas discretas dispersas no volume do material da matriz, permitindo a geração de continuidade de matéria entre as

partículas da fase matriz durante a sinterização.

Em um outro aspecto da presente invenção, é provida uma composição metalúrgica de material compósito, para a fabricação de produtos sinterizados a partir de um
5 componente previamente conformado (densificado) com a composição acima definida e que compreende uma mistura de: um material particulado definidor de uma matriz estrutural metálica (matriz do compósito) e de um material particulado definidor de um lubrificante sólido
10 passível de reação com o material particulado da matriz estrutural metálica, nas temperaturas de sinterização deste último material particulado; e pelo menos um material particulado definindo um componente de liga estabilizador da fase alfa do material da matriz
15 estrutural metálica (matriz do compósito) nas ditas temperaturas de sinterização.

Em um outro aspecto da presente invenção, os objetivos acima são alcançados através de um produto sinterizado compreendendo uma matriz estrutural metálica obtida por
20 qualquer uma das composições anteriores e apresentando dispersão de partículas discretas de lubrificante sólido, sendo a matriz estrutural metálica contínua e apresentando uma quantidade de lubrificante sólido igual àquela contida na dita composição metalúrgica utilizada
25 para a formação do produto.

Em um outro aspecto da presente invenção, os objetivos acima são alcançados através de um processo de obtenção de um produto sinterizado a partir da composição metalúrgica acima definida e apresentando dispersão de
30 partículas de lubrificante sólido, dito processo compreendendo as etapas de: a- misturar, em quantidades pré-determinadas, os materiais particulados definidores da composição metalúrgica e realizar a homogeneização, por exemplo mecânica e em moinho/misturador; b- prover a
35 conformação (densificação) da mistura obtida, imprimindo à dita mistura, o formato do produto (peça) a ser sinterizado; e c- sinterizar o material pré-compactado.

Quando a conformação da composição metalúrgica, previamente à sinterização, for realizada por extrusão ou por moldagem por injeção é necessário incluir na dita composição um ligante orgânico par imprimir fluidez à
5 composição durante a fase de conformação.

O material compósito autolubrificante obtido com a presente invenção pode ser utilizado para a fabricação de componentes de elevada resistência mecânica, ou seja, para fabricação de componentes mecânicos tais como
10 engrenagens, pinhões, coroas, garfos e acionadores, pistões e bielas para compressores, etc. e não só para buchas autolubrificantes a seco.

O elevado desempenho mecânico e tribológico simultâneos são decorrentes da aplicação de uma série de requisitos
15 específicos relacionados às propriedades mecânicas da matriz e aos parâmetros micro-estruturais projetados para o material da composição, que são os seguintes: dureza e resistência mecânica da matriz, tamanho e livre caminho médio entre as partículas de lubrificante sólido
20 dispersas na matriz; grau de continuidade da matriz; percentual volumétrico de partículas de lubrificante sólido dispersas na matriz metálica; e estabilidade relativa entre a fase lubrificante sólido e a matriz.

Breve Descrição dos Desenhos

25 A seguir, a invenção será descrita com base nos desenhos em anexo, dados a título de exemplo de concretizações da invenção e nos quais:

A figura 1A representa, esquematicamente, uma porção da microestrutura da composição de material particulado da
30 técnica anterior, compreendendo uma matriz estrutural e um lubrificante sólido contendo nitreto hexagonal de boro e/ou grafita, antes de ter sido submetida à operação de homogeneização mecânica da mistura dos materiais particulados e de conformação (densificação) da peça,
35 antes da sinterização;

A figura 1B representa uma vista semelhante à da figura 1A, mas ilustrando a microestrutura da mesma composição

de material particulado da técnica anterior, após ter sido homogeneizada e conformada, com a formação de uma camada de lubrificante sólido entre as partículas da matriz estrutural;

5 A figura 2A representa, esquematicamente, uma porção da microestrutura da composição ou mistura do material particulado da matriz estrutural metálica com o material do lubrificante sólido particulado tendo um tamanho de partícula semelhante (mesma ordem de grandeza) ao tamanho
10 de partícula da matriz estrutural metálica, favorecendo o grau de continuidade da mesma;

A figura 2B representa, esquematicamente, uma porção da microestrutura da composição do material particulado da matriz estrutural, com o lubrificante sólido tendo
15 tamanho de partícula muito menor que o da matriz estrutural metálica, com o que as partículas muito mais finas do lubrificante sólido tendem a formar uma camada relativamente contínua entre as partículas da matriz estrutural metálica, mesmo na ausência de tensões
20 cisalhantes durante as etapas de processamento anteriores à sinterização;

A figura 3 mostra, esquematicamente, o lubrificante sólido na forma de partículas discretas distribuídas uniformemente, com um livre caminho médio " λ " regular
25 entre elas, em uma porção da microestrutura da composição de material particulado objeto da presente invenção;

A figura 4 representa uma fotografia da microestrutura do produto sinterizado autolubrificante cuja matriz estrutural é uma liga ferrosa, evidenciando as partículas
30 de grafita e de nitreto hexagonal de boro e a provisão da fase líquida dispersa entre o material particulado da matriz estrutural durante a sinterização.

A figura 5 representa, esquematicamente e em diagrama simplificado, um exemplo de compactação na formação de
35 uma peça ou produto, a ser posteriormente sinterizado, dita compactação sendo feita de modo a prover uma camada autolubrificante em duas faces opostas do produto a ser

sinterizado;

As figuras 6A, 6B e 6C representam exemplos de produtos cuja conformação é obtida por compactação, realizada por extrusão, respectivamente, de uma barra de material
5 compósito autolubrificante, de um tubo em material compósito autolubrificante e de uma barra com núcleo em liga metálica revestido com uma camada externa com material autolubrificante; e

A figura 7 representa, esquematicamente e em diagrama
10 simplificado, um exemplo de compactação na formação de uma peça ou produto, a ser posteriormente sinterizado, dita compactação sendo feita por laminação de um material compósito autolubrificante sobre as faces opostas de uma chapa ou tira em liga metálica.

15 Descrição da Invenção

Conforme já anteriormente mencionado, um dos objetivos da invenção é o de prover uma composição metalúrgica de materiais particulados, que possa ser homogeneamente misturada e conformada (densificada) por compactação
20 (prensagem, laminação, extrusão) ou por moldagem por injeção, para que possa assumir uma geometria definida (peça) a ser submetida a uma sinterização, para a obtenção de um produto que apresente elevada dureza, resistência mecânica e reduzido coeficiente de atrito, em
25 relação aos produtos obtidos pelos ensinamentos do estado da técnica. A composição metalúrgica em questão compreende um material metálico particulado principal, preponderante na formação da composição, e pelo menos um elemento endurecedor de liga, particulado, sendo esses
30 componentes os responsáveis pela formação de uma matriz estrutural 10 no produto compósito a ser sinterizado.

De acordo com a invenção, o material metálico particulado principal é geralmente ferro ou níquel, definindo uma matriz estrutural ferrosa ou uma matriz estrutural a base
35 de níquel.

Na composição que utiliza o ferro como material metálico particulado principal, o elemento endurecedor de liga

particulado, com função endurecedora da matriz, é definido, por exemplo, por pelo menos um dos elementos selecionados de cromo, molibdênio, carbono, silício, manganês e níquel, devendo ser entendido que poderão ser utilizados outros elementos que realizem a mesma função na matriz estrutural 10. Deve ser observado que a invenção requer a provisão de um elemento endurecedor de liga que possa realizar uma função de endurecimento da matriz estrutural 10 a ser formada, não devendo esse aspecto ser limitado aos exemplificados elementos de liga aqui apresentados.

Além dos componentes formadores da matriz estrutural 10, a composição em questão compreende um lubrificante sólido particulado 20, não-metálico que é preferivelmente, mas não exclusivamente, definido por nitreto hexagonal de boro, grafita ou ainda por uma mistura de ambos em qualquer proporção, dito lubrificante sólido particulado 20 representando um percentual volumétrico menor ou igual a cerca de 15% do volume do material compósito a ser formado, o que constitui um percentual muito menor do que os usuais 25% a 40% da técnica anterior, contribuindo, de modo relevante, para um maior grau de continuidade da matriz estrutural 10 e, conseqüentemente, para uma maior resistência mecânica do produto sinterizado a ser obtido. Conforme já mencionado na discussão da técnica anterior e ilustrado nas figuras 1A, 1B, 2A e 2B, em razão da baixa tensão de cisalhamento do lubrificante sólido particulado e não-metálico utilizado na formação da composição e, posteriormente, do produto sinterizado compósito, durante as etapas de mistura dos materiais particulados da composição e de sua conformação, por compactação ou por moldagem por injeção, as tensões aplicadas ao lubrificante sólido 20 promovem seu espalhamento por entre as partículas formadoras da fase matriz estrutural 10, tendendo a envolvê-las em um filme ou camada 21, prejudicando a formação do "necks" de sinterização entre as partículas de formação da matriz estrutural metálica

10, quando o lubrificante sólido particulado 20 for insolúvel no material da matriz estrutural 10, como ocorre com o nitreto hexagonal de boro em relação a uma matriz estrutural 10 ferrosa ou a base de níquel.

5 Para evitar a deficiência acima, a composição da presente invenção compreende ainda pelo menos um elemento de liga particulado, capaz de formar, nas temperaturas de sinterização da composição metalúrgica conformada, uma fase líquida entre o material particulado formador da
10 matriz estrutural 10 e o lubrificante sólido particulado 20, forçando esse último a aglomerar-se em partículas discretas, homogeneamente dispersas no material da matriz estrutural 10, conforme ilustrado na figura 3. A formação da fase líquida e sua ação sobre o lubrificante sólido
15 particulado 20 permitem a obtenção de um elevado grau de continuidade da matriz estrutural 10 no produto compósito sinterizado a ser obtido.

Quando a composição metalúrgica da invenção é conformada por compactação e utiliza uma matriz estrutural ferrosa,
20 o material metálico particulado principal de ferro apresenta, preferivelmente, um tamanho médio de partícula situado entre cerca de 10 μm a cerca de 90 μm . Por sua vez, o elemento endurecedor, com função endurecedora da matriz estrutural 10, e o elemento de liga particulado,
25 com função de formar a fase líquida e aglomerar o lubrificante sólido particulado 20, durante a sinterização da composição metalúrgica conformada por compactação (densificação), apresentam um tamanho médio de partícula menor do que cerca de 45 μm , devendo ser
30 entendido que o tamanho médio de partícula do material metálico particulado principal de ferro deve ser preferivelmente maior do que o tamanho médio de partícula do elemento endurecedor e do elemento de liga.

A composição metalúrgica com matriz estrutural 10 a base
35 de ferro, acima descrita e conformada por compactação ou por moldagem por injeção, pode ser completada com o elemento endurecedor e com o elemento de liga quando o

lubrificante sólido particulado 20 for do tipo insolúvel na referida matriz estrutural 10 ferrosa, por exemplo o nitreto hexagonal de boro, pois não ocorre a reação do lubrificante sólido particulado 20 com o material formador da matriz estrutural 10 com as temperaturas de sinterização de cerca de 1125°C a cerca de 1250°C. A reação do lubrificante sólido particulado 20 com a matriz estrutural 10, faz com que o primeiro desapareça parcial ou totalmente no material da segunda, prejudicando ou mesmo eliminando a característica autolubrificante do produto sinterizado a ser obtido.

No entanto, no caso de a matriz estrutural 10 ser, por exemplo, a base de ferro e de lubrificante sólido particulado 20 ser pelo menos parcialmente solúvel na matriz estrutural 10, nas temperaturas de sinterização da composição metalúrgica conformada por compactação ou por moldagem por injeção, como ocorre, por exemplo, com a grafita ou uma mistura de grafita e nitreto hexagonal de boro, a composição metalúrgica em questão deve compreender ainda pelo menos um componente de liga capaz de estabilizar a fase alfa do ferro, durante a sinterização da composição metalúrgica e, assim, evitar que ocorra a solubilização e a incorporação do lubrificante sólido particulado 20 no ferro da matriz estrutural 10.

De acordo com a invenção, o componente de liga, estabilizador da fase alfa do ferro, é definido por pelo menos um dos elementos selecionados de fósforo, silício, cobalto, cromo e molibdênio. Apesar desses elementos serem considerados os mais adequados para, separada ou conjuntamente, agirem na estabilização de fase alfa do ferro nas temperaturas de sinterização (cerca de 1125°C a cerca de 1250°C) deve ser entendido que a invenção reside no conceito da estabilização da fase alfa do ferro e não no fato de o ou os componentes de liga utilizados serem necessariamente aqueles aqui exemplificados.

Preferivelmente, para a composição tendo matriz

estrutural 10 a base de ferro e com lubrificante sólido particulado 20 pelo menos parcialmente solúvel na matriz estrutural 10, sendo constituído, por exemplo, por grafita ou por uma mistura de grafita e nitreto hexagonal de boro, o elemento endurecedor de liga particulado, com função endurecedora da matriz estrutural 10, o elemento de liga particulado, com função de formar a fase líquida e aglomerar o lubrificante sólido particulado 20, e o componente de liga, com função estabilizadora da fase alfa do ferro, são definidos, por exemplo, por um elemento selecionado de silício, em teores de cerca de 2% a cerca de 5% em peso da composição metalúrgica, e de uma mistura de silício, manganês e carbono, em teores de cerca de 2% a cerca de 8% em peso da composição metalúrgica.

Quando a composição metalúrgica da invenção é conformada por moldagem por injeção e utiliza uma matriz estrutural ferrosa, o material metálico particulado principal de ferro apresenta, preferivelmente, um tamanho de partícula situado entre cerca de 1 μm a cerca de 45 μm . Da mesma forma, o elemento endurecedor, com função endurecedora da matriz estrutural 10, o elemento de liga particulado, com função de formar a fase líquida e aglomerar o lubrificante sólido particulado 20, durante a sinterização da composição metalúrgica conformada por moldagem por injeção e o lubrificante sólido particulado, apresentam um tamanho de partícula também entre cerca de 1 μm a cerca de 45 μm .

Conforme já mencionado, a matriz estrutural 10 da composição metalúrgica pode ser a base de níquel, quando então qualquer um dos lubrificantes sólidos, particulados 20, aqui exemplificados como grafita, nitreto hexagonal de boro ou uma mistura de ambos em qualquer proporção, terá a característica de ser insolúvel na matriz estrutural 10 de níquel, nas temperaturas de sinterização da composição metalúrgica, de cerca de 1125°C a cerca de 1250°C, dispensando a utilização do componente de liga

particulado estabilizador da fase alfa do ferro.

Na composição metalúrgica com matriz estrutural 10 em níquel, o necessário elemento de liga particulado, com função de formar a fase líquida e aglomerar o lubrificante sólido particulado 20, durante a sinterização da composição metalúrgica, é definido, por exemplo, por pelo menos um dos elementos selecionados de cromo, fósforo, silício, ferro, carbono, magnésio, cobalto e manganês.

10 Quando a composição metalúrgica da invenção utiliza uma matriz estrutural 10 a base de níquel, o material metálico particulado principal de níquel apresenta, quando da conformação por compactação, um tamanho médio de partícula preferivelmente situado entre cerca de 10 μm e cerca de 90 μm , sendo que o elemento endurecedor, com função endurecedora da matriz estrutural 10, e o elemento de liga particulado, com função de formar a fase líquida e aglomerar o lubrificante sólido particulado 20, durante a sinterização da composição metalúrgica conformada por compactação (densificação), apresentam um tamanho médio de partícula igual ou menor que cerca de 45 μm . Quando a conformação da composição é feita por moldagem por injeção, é preferível que o material metálico particulado principal de níquel e o elemento endurecedor com função endurecedora da matriz estrutural 10 e ainda o elemento de liga particulado com função de formar a fase líquida apresentem um tamanho de partícula preferivelmente situado entre cerca de 1 μm e cerca de 45 μm .

Considerando a composição metalúrgica com matriz estrutural 10 a base de níquel, o elemento endurecedor, com função endurecedora da matriz de níquel, e o elemento de liga particulado, com função de formar a fase líquida e aglomerar o lubrificante sólido particulado 20 em partículas discretas, são definidos por um elemento selecionado dentre silício, fósforo e cromo, em teores de cerca de 2% a cerca de 5%, ou de uma mistura de silício, fósforo e cromo, em teores de cerca de 2% a cerca de 8%

em peso da composição metalúrgica.

Quando a conformação da composição metalúrgica, previamente à sinterização, é realizada por extrusão ou por moldagem por injeção, a composição deve compreender
5 ainda pelo menos um ligante orgânico selecionado preferivelmente do grupo consistindo de parafina e outras ceras, EVA, e polímeros de baixo ponto de fusão em proporção variando geralmente de cerca de 15% a cerca de 45% do volume total da composição metalúrgica quando da
10 conformação por extrusão e de cerca de 40% a 45% quando da conformação por moldagem por injeção. O ligante orgânico é extraído da composição após a etapa de conformação, por exemplo por evaporação, antes de o produto conformado ser conduzido à etapa de sinterização.
15 As composições metalúrgicas acima descritas, são obtidas por meio da mistura, em misturadores adequados quaisquer, de quantidades predeterminadas dos materiais particulados selecionados para a formação da composição e para a subsequente obtenção de um produto sinterizado
20 autolubrificante.

A mistura dos diferentes materiais particulados é homogeneizada e submetida a uma operação de densificação por compactação, ou seja, por prensagem, laminação ou extrusão, ou ainda por moldagem por injeção para que
25 possa ser conformada em um formato desejado para o produto a ser obtido por sinterização.

No caso de conformação por moldagem por injeção, a mistura dos componentes contendo o ligante orgânico é homogeneizada em temperaturas não inferiores àquela de
30 fusão do ligante orgânico, sendo a mistura, assim homogeneizada, granulada para facilita seu manuseio, armazenamento e alimentação a uma máquina injetora.

Após a conformação da composição a peça conformada é submetida a uma etapa de extração do ligante orgânico,
35 geralmente por processo térmico.

A composição metalúrgica homogeneizada e conformada pode ser então submetida a uma etapa de sinterização, em

temperaturas de cerca de 1125°C a cerca de 1250°C. Considerando que ambas as composições metalúrgicas, com matriz estrutural 10 a base de ferro ou a base de níquel, compreendem pelo menos um elemento de liga particulado, com função de formar a fase líquida, durante a sinterização é formada a referida fase líquida pelo elemento de liga particulado e promovida a aglomeração do lubrificante sólido particulado 20 em partículas discretas e dispersas no volume da matriz estrutural 10.

Quando a composição metalúrgica compreender um lubrificante sólido particulado pelo menos parcialmente solúvel em uma matriz estrutural a base de ferro, como ocorre com a grafita e sua mistura com o nitreto hexagonal de boro, a composição metalúrgica, homogeneizada e conformada, compreende ainda pelo menos um componente de liga, já anteriormente definido e capaz de, durante a etapa de sinterização da composição metalúrgica, estabilizar a fase alfa do ferro da matriz estrutural 10, impedindo a dissolução da porção do lubrificante sólido, definida em grafita, na matriz estrutural de ferro.

Com a composição metalúrgica aqui proposta passa a ser possível obter peças ou produtos sinterizados autolubrificantes, a partir de materiais particulados que não exigem tratamento prévio para o lubrificante sólido particulado, não metálico, peças ou produtos esses apresentando: no caso do uso de uma matriz estrutural 10 em ferro, uma dureza HV ≥ 230 , um coeficiente de atrito $\mu \leq 0,15$, uma resistência mecânica a tração $\sigma_t \geq 450$ MPa e ainda uma dispersão de partículas discretas de lubrificante sólido 20 com tamanho medido de partículas entre cerca de 10 μm e cerca de 60 μm para os produtos conformados por compactação e entre cerca de 2 μm e cerca de 20 μm para os produtos conformados por moldagem por injeção; e, no caso de uma matriz estrutural 10 a base de níquel, uma dureza HV ≥ 240 , um coeficiente de atrito $\mu \leq 0,20$, uma resistência mecânica a tração $\sigma_t \geq 350$ MPa e

ainda uma dispersão de partículas discretas de lubrificante sólido 20 com tamanho médio de partícula entre cerca de 10 μm e cerca de 60 μm para os produtos conformados por compactação e entre cerca de 2 μm e cerca de 20 μm para os produtos conformados por moldagem por injeção.

As figuras 5, 6A, 6B, 6C e 7 dos desenhos anexos têm por finalidade exemplificar diferentes possibilidades de conformação da composição metalúrgica em questão, por compactação de uma certa quantidade predeterminada da composição metalúrgica para um formato qualquer desejado, o qual pode ser aquele da peça ou produto final sinterizado e autolubrificante que se deseja obter ou um formato próximo daquele final desejado.

Entretanto, em um grande número de aplicações, a característica autolubrificante é necessária apenas em uma ou mais regiões superficiais de uma peça ou componente mecânico, a serem submetidas a contato atritante com outro elemento relativamente móvel.

Assim, o produto autolubrificante desejado pode ser constituído, conforme ilustrado na figura 5, por um substrato estrutural 30 preferivelmente conformado em material particulado e recebendo, em uma ou em duas faces opostas 31, uma camada superficial 41 da composição metalúrgica 40 objeto da presente invenção. No exemplo ilustrado, o substrato estrutural 30 e as duas camadas superficiais opostas da composição metalúrgica 40 são compactadas no interior de um molde M adequado qualquer, por dois punções opostos P, formando um produto compósito 1, compactado e conformado, que é posteriormente submetido a uma etapa de sinterização. Nesse exemplo, apenas as duas faces opostas 31 do substrato estrutural 30 apresentarão as desejáveis propriedades autolubrificantes.

Nas figuras 6A e 6B são exemplificados produtos na forma de uma barra 2 e de um tubo 3, respectivamente, obtidos por extrusão da composição metalúrgica 40 em uma matriz

de extrusão adequada (não ilustrada). Nesse caso, a conformação por compactação da composição metalúrgica 40 é realizada na etapa de extrusão dessa última. A barra 2 ou o tubo 3 podem ser então submetidos à etapa de sinterização, para a formação da matriz estrutural 10 a base de ferro ou de níquel e incorporando partículas discretas e dispersas do lubrificante sólido particulado 20, conforme esquematicamente representado nas figuras 3 e 4.

10 A figura 6C ilustra um outro exemplo de produto formado por uma barra compósita 4, compreendendo um núcleo estrutural 35, em material particulado, circunferencial e externamente envolvido por uma camada superficial 41 formada a partir da composição metalúrgica 40 da invenção. Também nesse caso, a conformação e a compactação (densificação) do núcleo estrutural 35 e da camada externa 41 na composição metalúrgica 40 são obtidas por co-extrusão das duas partes da barra compósita 4, a qual é então submetida à etapa de sinterização.

20 Quando a compactação da composição metalúrgica 20 é realizada por extrusão, como ocorre, por exemplo, na formação das barras 2, 3 e 4 das figuras 6A, 6B e 6C, a referida composição pode compreender ainda um ligante orgânico que é termicamente removido da composição, após a conformação dessa última e antes da etapa de sinterização, por qualquer uma das técnicas conhecidas para a referida remoção.

O ligante orgânico pode ser, por exemplo, qualquer um selecionado do grupo consistindo de parafina e outras ceras, EVA, e polímeros de baixo ponto de fusão.

A figura 7 representa, também esquematicamente, um outro caminho para se obter um produto sinterizado compósito, apresentando uma ou mais regiões superficiais tendo características autolubrificantes. Nesse exemplo, o produto 5 a ser obtido apresenta um substrato estrutural 30 formado em material particulado, conformado

previamente em tira, sendo que em pelo menos uma das faces opostas do substrato estrutural 30, em tira contínua, é laminada uma camada superficial 41 da composição metalúrgica 40 objeto da presente invenção. O
5 produto compósito 5 é então submetido a uma etapa de sinterização.

Apesar de a invenção ter sido aqui apresentada por meio de alguns exemplos de possíveis composições metalúrgicas e associações a diferentes substratos estruturais, deve
10 ser entendido que tais composições e associações podem sofrer alterações evidentes àqueles versados na matéria, sem que se fuja do conceito inventivo do controle da distribuição em partículas discretas do lubrificante sólido na matriz estrutural e ainda de eventual tendência
15 de dissolução daquele na referida matriz, durante a etapa de sinterização, conforme definido nas reivindicações que acompanham o presente relatório.

REIVINDICAÇÕES

1. Composição metalúrgica de materiais particulados, para formação de produtos compósitos autolubrificantes, conformados e sinterizados, caracterizada pelo fato de
5 compreender um material metálico particulado principal, na forma de um elemento químico preponderante, e pelo menos um elemento endurecedor, formadores de uma matriz estrutural (10) no produto compósito a ser sinterizado; um lubrificante sólido particulado (20) não-metálico; e
10 pelo menos um elemento de liga particulado, capaz de formar, durante a sinterização da composição metalúrgica conformada, uma fase líquida entre o material particulado formador da matriz estrutural (10) e o lubrificante sólido particulado (20), aglomerando este último em
15 partículas discretas.
2. Composição, de acordo com a reivindicação 1, caracterizada pelo fato de o lubrificante sólido particulado (20) representar um percentual volumétrico menor ou igual a cerca de 15% do volume do material
20 compósito a ser formado.
3. Composição, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 ou 2, caracterizada pelo fato de o material metálico particulado principal ser ferro, sendo o elemento de liga particulado, com função de formar a
25 fase líquida para aglomerar o lubrificante sólido particulado, durante a sinterização, definido por pelo menos um dos elementos selecionados de níquel, manganês, cobre, silício, fósforo e carbono.
4. Composição, de acordo com a reivindicação 3, caracterizada pelo fato de o material de liga
30 particulado, com função endurecedora da matriz de ferro, ser definido por pelo menos um dos elementos selecionados de cromo, molibdênio, carbono, silício, manganês e níquel.
- 35 5. Composição, de acordo com qualquer uma das reivindicações 3 ou 4, dita composição sendo conformada por compactação e caracterizada pelo fato de o material

metálico particulado principal de ferro apresentar um tamanho médio de partícula situado entre cerca de 10 μm a cerca de 90 μm , sendo que o elemento endurecedor, com função endurecedora da matriz estrutural (10), e o elemento de liga particulado, com função de formar a fase líquida e aglomerar o lubrificante sólido particulado, durante a sinterização da composição metalúrgica conformada por compactação, apresentarem um tamanho médio de partícula menor do que cerca de 45 μm .

10 6. Composição, de acordo com qualquer uma das reivindicações 3 ou 4, sendo a composição conformada por moldagem por injeção e caracterizada pelo fato de compreender ainda um ligante orgânico e de o material metálico particulado principal de ferro, o elemento
15 endurecedor, o elemento de liga particulado, formador da fase líquida e o lubrificante sólido particulado apresentarem um tamanho médio de partícula situado entre cerca de 1 μm e cerca de 45 μm .

7. Composição, de acordo com qualquer uma das reivindicações 3, 4, 5 ou 6, caracterizada pelo fato de o
20 lubrificante sólido particulado (20) ser nitreto hexagonal de boro.

8. Composição, de acordo com qualquer uma das reivindicações 3, 4, 5 ou 6 e utilizando um lubrificante
25 sólido particulado (20) pelo menos parcialmente solúvel na matriz estrutural de ferro, nas temperaturas de sinterização da composição metalúrgica, caracterizada pelo fato de compreender ainda pelo menos um componente de liga capaz de estabilizar a fase alfa do ferro,
30 durante a sinterização da composição metalúrgica, e evitar a solubilização do lubrificante sólido particulado no ferro.

9. Composição, de acordo com a reivindicação 8, caracterizada pelo fato de o lubrificante sólido
35 particulado ser grafita ou uma mistura de grafita e nitreto hexagonal de boro em qualquer proporção, sendo que o componente de liga, estabilizador da fase alfa do

ferro, é definido por pelo menos um dos elementos selecionados de fósforo, silício, cobalto, cromo e molibdênio.

10. Composição, de acordo com a reivindicação 9, caracterizado pelo fato de: o elemento de liga com função de endurecer a matriz estrutural do compósito; de o elemento de liga particulado, com função de formar a fase líquida e aglomerar o lubrificante sólido; e o componente de liga, com função estabilizadora da fase alfa do ferro, serem definidos por um elemento selecionado de silício, em teores de cerca de 2% a cerca de 5% em peso da composição metalúrgica, e de uma mistura de silício, manganês e carbono, em teores de cerca de 2% a cerca de 8% em peso da composição metalúrgica.

11. Composição, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 ou 2, caracterizada pelo fato de o material metálico particulado principal preponderante ser níquel, sendo o lubrificante sólido particulado selecionado de grafita, nitreto hexagonal de boro ou de uma mistura de ambos em qualquer proporção e sendo o elemento de liga particulado, com função de formar a fase líquida para aglomerar o lubrificante sólido particulado, durante a sinterização, definido por pelo menos um dos elementos selecionados de cromo, fósforo, silício, ferro, carbono, magnésio, cobalto e manganês.

12. Composição, de acordo com a reivindicação 11, sendo conformada por compactação e caracterizada pelo fato de o material metálico particulado principal de níquel apresentar um tamanho médio de partícula situado em cerca de $10\mu\text{m}$ e cerca de $90\mu\text{m}$, sendo que o elemento endurecedor, com função endurecedora da matriz, e o elemento de liga particulado, com função de formar a fase líquida e aglomerar o lubrificante sólido particulado, durante a sinterização da composição metalúrgica conformada por compactação, apresentam um tamanho médio de partícula igual ou menor que cerca de $45\mu\text{m}$.

13. Composição, de acordo com a reivindicação 11, sendo

conformada por moldagem por injeção e caracterizada pelo fato de compreender ainda um ligante orgânico e de o material metálico particulado principal de níquel, o elemento endurecedor, o elemento de liga particulado, formador da fase líquida e o lubrificante sólido particulado apresentarem um tamanho médio de partícula situado entre cerca de 1 μ m e cerca de 45 μ m.

14. Composição, de acordo com qualquer uma das reivindicações 11, 12 ou 13, caracterizada pelo fato de o elemento endurecedor de liga particulado, com função endurecedora da matriz de níquel e o elemento de liga particulado, com função de formar a fase líquida e aglomerar o lubrificante sólido em partículas discretas, serem definidos por um elemento selecionado dentre silício, fósforo e cromo em teores de cerca de 2% a cerca de 5% em peso da composição metalúrgica, ou de uma mistura de silício, fósforo e cromo, em teores de cerca de 2% a cerca de 8% em peso da composição metalúrgica.

15. Composição, de acordo com qualquer uma das reivindicações 6 ou 13, caracterizado pelo fato de o ligante orgânico ser selecionado do grupo consistindo de parafina e outras ceras, EVA, e polímeros de baixo ponto de fusão, em proporção variando de cerca de 40% a cerca de 45% do volume total da composição metalúrgica.

16. Produto sinterizado autolubrificante, obtido a partir de uma composição metalúrgica (40) de materiais particulados, conforme definida em qualquer uma das reivindicações 3 a 10, submetida a uma conformação anterior à sinterização, caracterizado pelo fato de apresentar dureza HV $\geq$ 230, coeficiente de atrito $\mu \leq$ 0,15 e resistência à tração $\sigma_t \geq$ 450 MPa.

17. Produto sinterizado autolubrificante, obtido a partir de uma composição metalúrgica (40) de materiais particulados, conforme definida em qualquer uma das reivindicações 11 a 14 e submetida a uma conformação anterior à sinterização, caracterizado pelo fato de apresentar dureza HV $\geq$ 240, coeficiente de atrito $\mu \leq$

0,20 e resistência a ruptura por flexão $\sigma_r \geq 350$ Mpa.

18. Produto sinterizado autolubrificante, de acordo com qualquer uma das reivindicações 16 ou 17 e conformado por compactação, caracterizado pelo fato de compreender uma
5 matriz estrutural (10) na qual são dispersas partículas discretas de lubrificante sólido (20) com tamanho médio de partículas entre cerca de 10 μm e cerca de 60 μm .
19. Produto sinterizado autolubrificante, de acordo com qualquer uma das reivindicações 16 ou 17 e conformado por
10 moldagem por injeção, caracterizado pelo fato de compreender uma matriz estrutural (10) na qual são dispersas partículas discretas de lubrificante sólido (20) com tamanho médio de partículas entre cerca de 2 μm e cerca de 20 μm .
- 15 20. Produto sinterizado autolubrificante, de acordo com qualquer uma das reivindicações 16, 17 ou 18, caracterizado pelo fato de definir pelo menos uma camada superficial (41) de referida composição metalúrgica (40), incorporada a um substrato estrutural (30).
- 20 21. Produto sinterizado autolubrificante, de acordo com a reivindicação 18, caracterizado pelo fato de o substrato estrutural (30) ser definido em material particulado a ser sinterizado em conjunto com a camada superficial (41) da composição metalúrgica (40).
- 25 22. Produto sinterizado autolubrificante, de acordo com a reivindicação 21, caracterizado pelo fato de o substrato estrutural (30) tomar a forma de uma placa ou tira com pelo menos uma de suas faces opostas incorporando uma camada superficial (41) da dita composição metalúrgica
30 (40).
23. Produto sinterizado autolubrificante, de acordo com a reivindicação 21, caracterizado pelo fato de o substrato estrutural (30) tomar a forma do núcleo estrutural (35) de uma barra compósita (4), incorporando, circunferencial
35 e externamente, uma camada superficial (41) da referida composição metalúrgica (40).
24. Processo de obtenção de produtos sinterizados

autolubrificantes a partir da composição metalúrgica de materiais particulados, definida em qualquer uma das reivindicações 1 a 5 e 11 e 12, caracterizado pelo fato de compreender as etapas de:

- 5 - misturar, em quantidades pré-determinadas, os materiais particulados definidores da composição metalúrgica;
 - homogeneizar a mistura dos materiais particulados;
 - compactar a mistura de materiais particulados, de modo a imprimir à mistura o formato do produto a ser
 - 10 sinterizado;
 - sinterizar a mistura compactada e conformada, em temperaturas de cerca de 1125°C a cerca de 1250°C, formando, durante a sinterização, uma fase líquida com o elemento de liga particulado e assim promovendo a
 - 15 aglomeração do lubrificante sólido em partículas discretas e dispersas no volume da matriz estrutural.
25. Processo de obtenção de produtos sinterizados autolubrificantes a partir da composição metalúrgica de materiais particulados, definida em qualquer uma das
- 20 reivindicações 8 a 10, caracterizado pelo fato de compreender as etapas de:
 - misturar, em quantidades pré-determinadas, os materiais particulados definidores da composição metalúrgica;
 - homogeneizar a mistura dos materiais particulados;
 - 25 - compactar a mistura de materiais particulados, de modo a imprimir à mistura o formato do produto a ser sinterizado; e
 - sinterizar a mistura compactada e conformada, em
 - 30 temperaturas de cerca de 1125°C a cerca de 1250°C, formando, durante a sinterização, uma fase líquida com o elemento de liga particulado e assim promovendo a aglomeração do lubrificante sólido em partículas discretas e dispersas no volume da matriz estrutural e estabilizando a fase alfa do ferro da matriz estrutural,
 - 35 de modo a impedir a dissolução da porção do lubrificante sólido definida em grafita, na matriz estrutural de ferro.

26. Processo, de acordo com qualquer uma das reivindicações 24 ou 25, caracterizado pelo fato de a etapa de compactar a mistura de materiais particulados, definidora da composição metalúrgica (40), compreender a
5 laminação dessa última em uma chapa ou tira a ser subsequente sinterizada.

27. Processo, de acordo com qualquer uma das reivindicações 24 ou 25, caracterizado pelo fato de a etapa de compactar a mistura de materiais particulados,
10 definidora da composição metalúrgica (40), compreender a co-laminação dessa última em pelo menos uma das faces opostas de um substrato estrutural (30) em forma de chapa ou de tira de material particulado compatível com o material metálico particulado principal formador da
15 matriz estrutural (10).

28. Processo, de acordo com qualquer uma das reivindicações 26 ou 27, caracterizado pelo fato de compreender, após a sinterização dos materiais particulados, a etapa adicional de laminação a frio da
20 chapa ou tira para redução de porosidade residual, seguida de eventual recozimento.

29. Processo, de acordo com qualquer uma das reivindicações 24 ou 25, caracterizado pelo fato de a etapa de compactar a mistura de materiais particulados,
25 definidora da composição metalúrgica (40), compreender a extrusão em um dos formatos de barra (2) e de tubo (3).

30. Processo, de acordo com qualquer uma das reivindicações 24 ou 25, caracterizado pelo fato de a etapa de compactar a mistura de materiais particulados,
30 definidora da composição metalúrgica (40), compreender a co-extrusão dessa última na forma de uma camisa tubular (42) em torno de um núcleo estrutural (35) em forma de barra de material particulado compatível com o material metálico particulado principal formador da matriz
35 estrutural (10), de modo a formar uma barra compósita (4).

31. Processo, de acordo com qualquer uma das

reivindicações 29 e 30, caracterizado pelo fato de a composição metalúrgica (40) compreender um ligante orgânico a ser termicamente removido do produto, antes da etapa de sinterização.

5 32. Processo de obtenção de produtos sinterizados autolubrificantes, a partir da composição metalúrgica de materiais particulados, definida em qualquer uma das reivindicações 6 ou 13 e contendo um lubrificante sólido não solúvel na matriz estrutural, caracterizado pelo fato
10 de compreender as etapas de:

- misturar, em quantidades pré-determinadas, os materiais particulados definidores da composição metalúrgica;
- homogeneizar a mistura dos materiais particulados em temperatura não inferior àquela de fusão do ligante
15 orgânico;
- granular a composição para facilitar seu manuseio, armazenamento e alimentação em uma máquina injetora;
- moldar, por injeção, a mistura de materiais particulados, de modo a imprimir à mistura o formato do
20 produto a ser sinterizado;
- extrair o ligante orgânico da peça moldada; e
- sinterizar a mistura conformada, em temperaturas de cerca de 1125°C a cerca de 1250°C, formando, durante a sinterização, uma fase líquida com o elemento de liga
25 particulado e assim promovendo a aglomeração do lubrificante sólido em partículas discretas e dispersas no volume da matriz estrutural.

33. Processo de obtenção de produtos sinterizados autolubrificantes a partir da composição metalúrgica de
30 materiais particulados, definida na reivindicação 8 quando dependente da reivindicação 6, caracterizado pelo fato de compreender as etapas de:

- misturar, em quantidades pré-determinadas, os materiais particulados definidores da composição metalúrgica;
- 35 - homogeneizar a mistura dos materiais particulados em temperatura não inferior àquela de fusão do ligante orgânico;

- granular a composição para facilitar seu manuseio, armazenamento e alimentação em uma máquina injetora;
- moldar, por injeção, a mistura de materiais particulados, de modo a imprimir à mistura o formato do
5 produto a ser sinterizado;
- extrair o ligante orgânico da peça moldada; e
- sinterizar a mistura conformada, em temperaturas de cerca de 1125°C a cerca de 1250°C, formando, durante a sinterização, uma fase líquida com o elemento de liga
10 particulado e assim promovendo a aglomeração do lubrificante sólido em partículas discretas e dispersas no volume da matriz estrutural e estabilizando a fase alfa do ferro da matriz estrutural, de modo a impedir a dissolução da porção do lubrificante sólido definida em
15 grafita, na matriz estrutural de ferro.

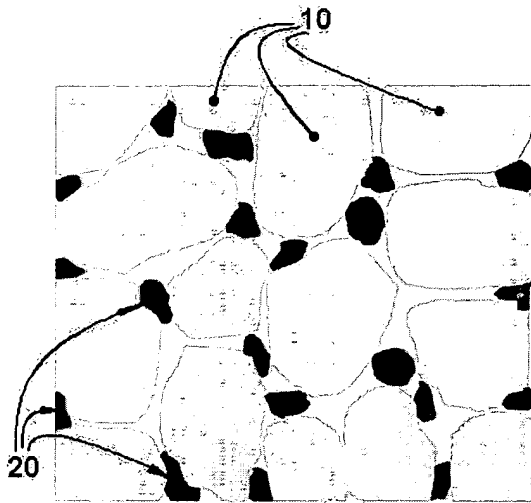


FIG 1A
TÉCNICA
ANTERIOR

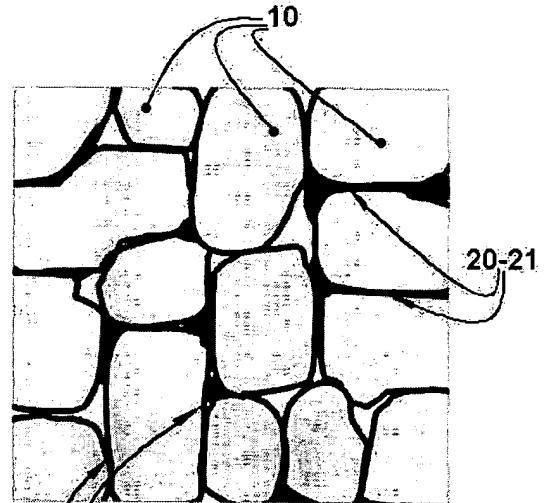


FIG. 1B
TÉCNICA
ANTERIOR

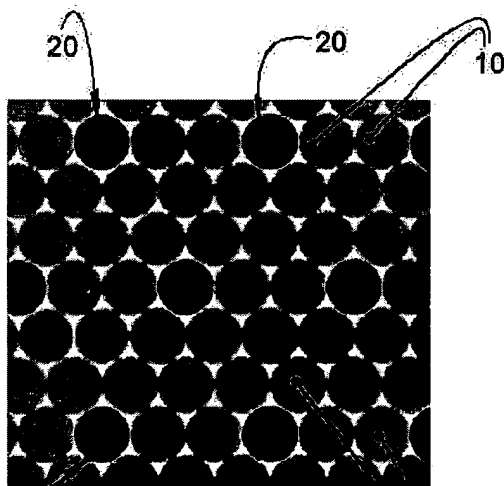


FIG 2A
TÉCNICA
ANTERIOR

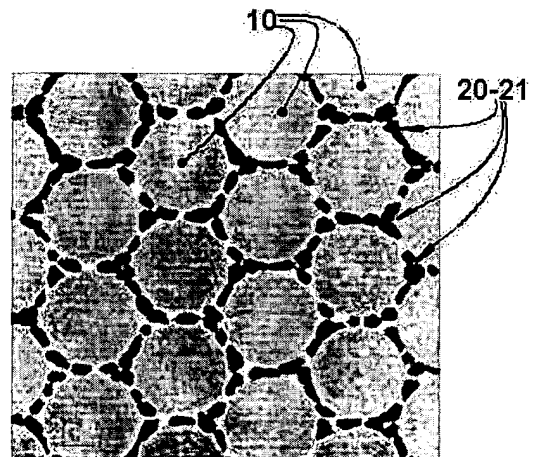


FIG. 2B
TÉCNICA
ANTERIOR

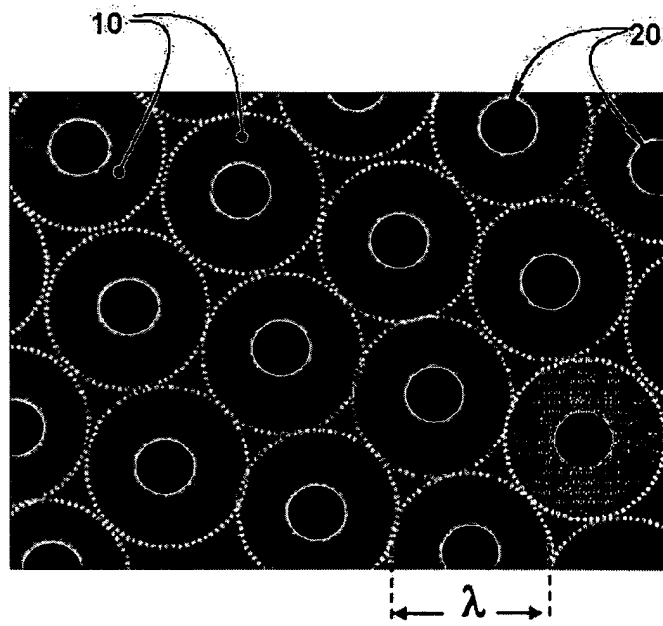


FIG. 3

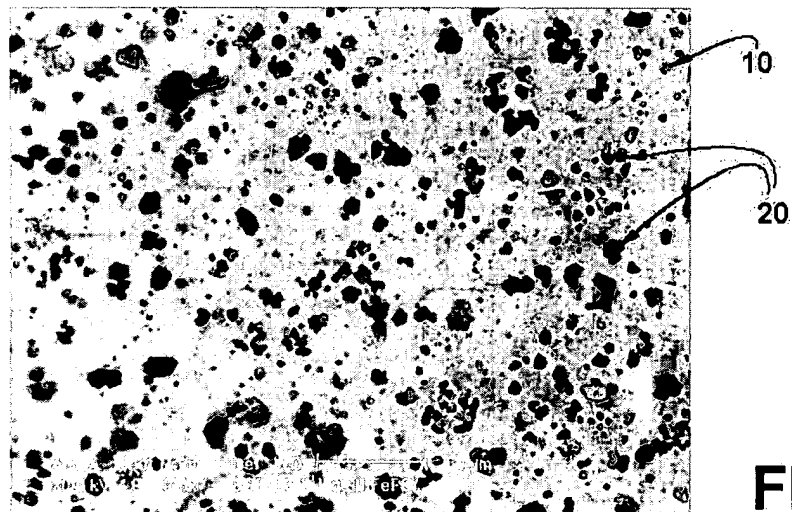


FIG. 4

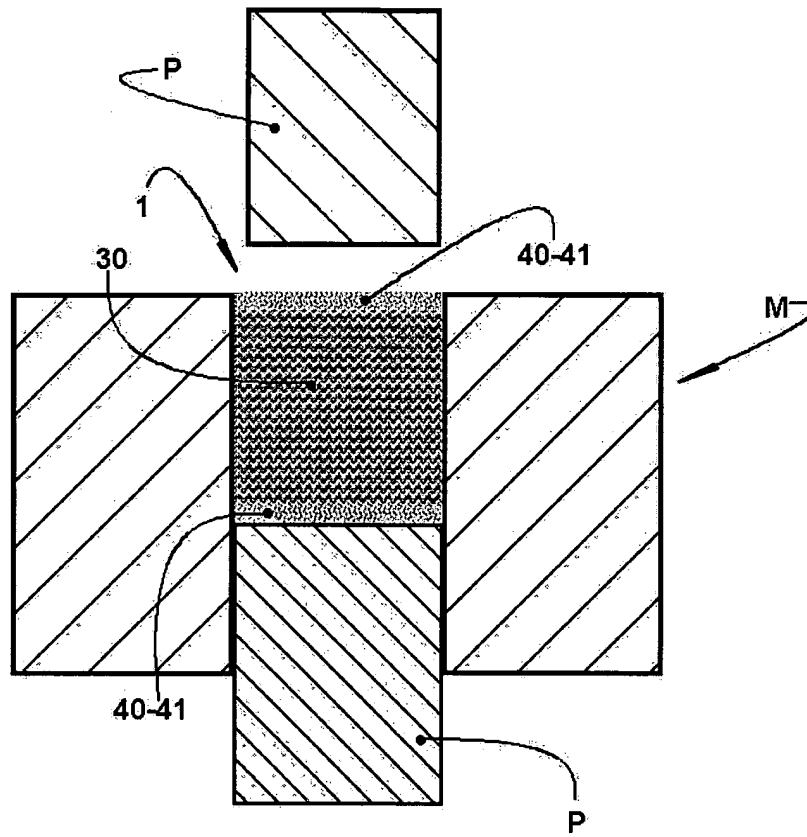


FIG. 5

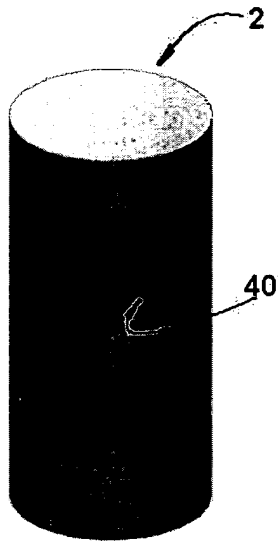


FIG. 6A

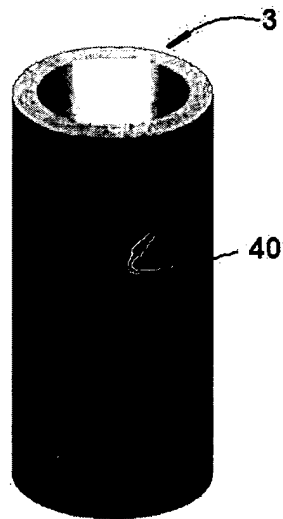


FIG. 6B

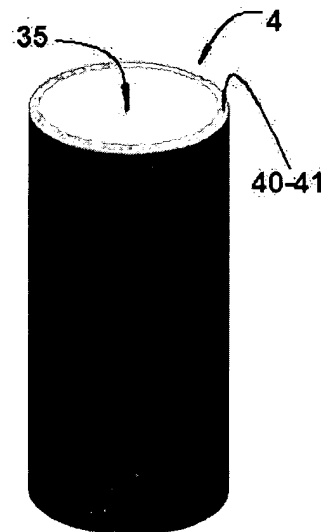


FIG. 6C

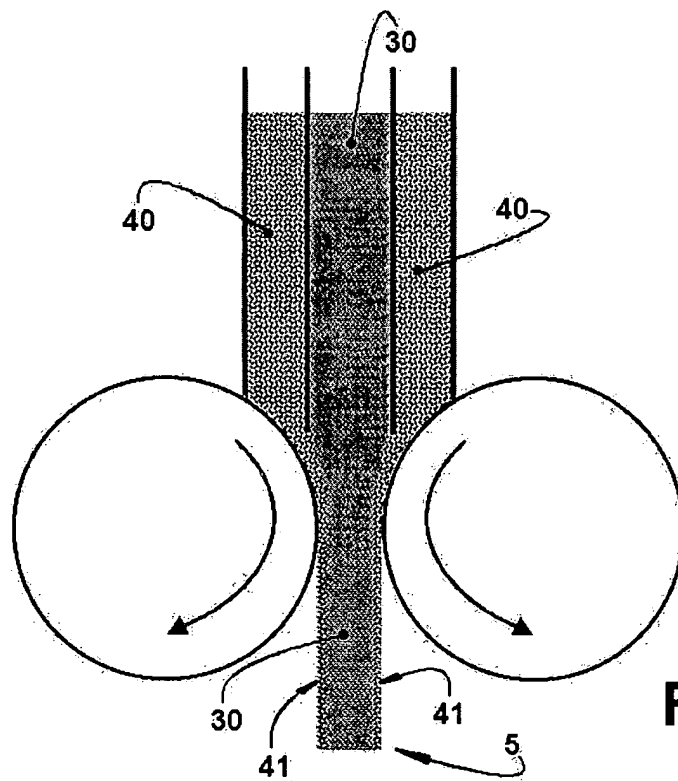


FIG. 7

RESUMO

"COMPOSIÇÃO METALÚRGICA DE MATERIAIS PARTICULADOS, PRODUTO SINTERIZADO AUTOLUBRIFICANTE E PROCESSO DE OBTENÇÃO DE PRODUTOS SINTERIZADOS AUTOLUBRIFICANTES".

5 A composição metalúrgica compreende um material metálico
particulado principal, por exemplo ferro ou níquel, e
pelo menos um elemento de liga endurecedor do material
metálico principal, formadores de uma matriz estrutural
(10); um lubrificante sólido particulado (20), como
10 grafita, nitreto hexagonal de boro ou mistura de ambos; e
um elemento de liga particulado, capaz de formar, durante
a sinterização da composição conformada por compactação
ou por moldagem por injeção, uma fase líquida, aglomerando
o lubrificante sólido (20) em partículas discretas. A
15 composição pode compreender um componente de liga para
estabilizar a fase alfa da matriz de ferro, durante a
sinterização, para evitar que o lubrificante sólido
grafita seja solubilizado no ferro. A invenção envolve
ainda um produto sinterizado autolubrificante, obtido da
20 composição e ainda seu processo de obtenção.