



República Federativa do Brasil
Ministério da Economia
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(11) PI 1011050-0 B1



(22) Data do Depósito: 21/05/2010

(45) Data de Concessão: 01/06/2021

(54) Título: PÓ DE AÇO BASEADO EM FERRO ATOMIZADO À ÁGUA, COMPOSIÇÃO DE PÓ BASEADO EM FERRO, MÉTODO PARA PRODUIR COMPONENTE SINTERIZADO E COMPONENTE SINTERIZADO

(51) Int.Cl.: C22C 38/44; B22F 1/00; B22F 9/08; C22C 33/02.

(30) Prioridade Unionista: 22/05/2009 SE 0900689-1; 22/05/2009 US 61/219,000.

(73) Titular(es): HÖGANÄS AKTIEBOLAG (PUBL).

(72) Inventor(es): YANG YU; NORIMITSU HIROSE.

(86) Pedido PCT: PCT SE2010050551 de 21/05/2010

(87) Publicação PCT: WO 2010/134886 de 25/11/2010

(85) Data do Início da Fase Nacional: 22/11/2011

(57) Resumo: AÇO SINTERIZADO DE BAIXA LIGA E ALTA RE-SISTÊNCIA A presente invenção refere-se a um pó de aço baseado em ferro atomizado à água que compreende em % em peso: 0,45-1,50 de Ni, 0,30-0,55 de Mo, menos do que 0,3 de Mn, menos do que 0,2 Cu, menos do que 0,1 de C, menos do que 0,25 de O, menos do que 0,5 de impurezas inevitáveis, e o restante sendo ferro, e onde ? Ni e o Mo foram incorporados à liga por um processo de formação de liga por difusão.

Relatório Descritivo da Patente de Invenção para **"PÓ DE AÇO BASEADO EM FERRO ATOMIZADO À ÁGUA, COMPOSIÇÃO DE PÓ BASEADO EM FERRO, MÉTODO PARA PRODUZIR COMPONENTE SINTERIZADO E COMPONENTE SINTERIZADO"**.

CAMPO TÉCNICO DA INVENÇÃO

[001] A presente invenção refere-se a um pó de baixa liga baseado em ferro, bem como uma composição de pó que contém pó e aditivos, o método para fabricar componentes sinterizados a partir da composição de pó, e componentes sinterizados fabricados a partir da composição de pó. O pó e a composição do pó são projetados para uma produção econômica de peças sinterizadas de pós.

ANTECEDENTES DA INVENÇÃO

[002] Nas indústrias, o uso da fabricação de produtos metálicos por compactação e sinterização composições de pós está se tornando crescentemente disseminado. Inúmeros produtos diferentes com formato e espessura variada estão sendo produzidos, e as exigências de qualidade são continuamente elevadas ao mesmo tempo, pois se deseja reduzir o custo. Como componentes com formato de rede, ou componentes com formato aproximadamente de rede que requerem um mínimo de usinagem para atingir o formato acabado, são obtidos prensando e sinterizando composições de pós de ferro em combinação com um alto grau de utilização do material, esta técnica tem a grande vantagem em relação às técnicas convencionais para formar peças metálicas tais como moldagem ou usinagem a partir de insumo em lingotes ou forjados.

[003] Um problema relacionado ao método de prensagem e sinterização é, entretanto, que o componente sinterizado contém uma certa quantidade de poros, diminuindo a resistência do componente. Basicamente, há duas maneiras para superar o efeito negativo sobre as propriedades mecânicas, causado pela porosidade do componente:

(1) A resistência do componente sinterizado pode ser aumentada introduzindo elementos ligantes tais como carbono, cobre, níquel, molibdênio, etc.; (2) A porosidade do componente sinterizado pode ser reduzida aumentando a compressibilidade da composição de pó, e/ou aumentando a pressão de compactação para obter uma densidade verde mais alta, ou aumentando a contração do componente durante a sinterização. Na prática, é aplicada uma combinação de fortalecimento do componente pela adição de elementos ligantes e minimização da porosidade.

[004] Há três maneiras para formar ligas de pós de ferro: pré-formar, misturar e formar liga por difusão. Uma vantagem de pré-formar ligas é que uma boa distribuição dos elementos ligantes é garantida na liga inteira. Entretanto, a desvantagem é que a compressibilidade é reduzida com o teor dos elementos ligantes em um material de liga pré-formado. Quando se adiciona os elementos ligantes misturando, a compressibilidade não é afetada adversamente. Entretanto, problemas de distribuição e segregação podem ocorrer, pois as partículas formadoras da liga frequentemente precisam ser muito menores do que as partículas do material da base, para promover a difusão durante a sinterização. A aglutinação por difusão é uma técnica que oferece metade do caminho para a solução. Os elementos ligantes são misturados com o material da base, e em seguida, é efetuado um tratamento térmico em uma atmosfera redutora, unindo desta forma as partículas menores dos elementos ligantes por difusão até as partículas maiores, diminuindo o risco de segregação e ao mesmo tempo mantendo boa compressibilidade.

[005] O cromo, como um elemento da liga, serve para fortalecer a matriz pelo endurecimento da solução sólida. O cromo também aumentará a capacidade de endurecimento, resistência à oxidação e resistência à abrasão de um corpo sinterizado. Existem atualmente

soluções que incluem cromo como elemento ligante. Entretanto, estes produtos requerem atmosferas muito bem controladas durante a sinterização para gerar efeitos positivos. A presente invenção refere-se a uma liga que exclui cromo, resultando assim em menos exigência sobre o forno de sinterização e/ou controle.

[006] Durante a sinterização, as partículas do pó metálico do componente compactado ou prensado, e o componente verde, difundirão juntos no estado sólido formando ligações fortes, assim denominadas pescoços de sinterização. O resultado é uma peça com formato de rede e densidade relativamente alta, ou peça com formato quase igual a uma rede, apropriada para aplicações de baixo ou médio desempenho. Tipicamente, os artigos sinterizados são fabricados a partir de pó de ferro misturado com cobre e grafite. Outros tipos de materiais sugeridos incluem pó de ferro pré-formado em liga com níquel e molibdênio e pequenas quantidades de manganês para intensificar a capacidade de endurecimento do ferro sem desenvolver óxidos estáveis. Agentes para melhorar a capacidade de usinagem tais como MnS também são comumente adicionados.

[007] Várias peças automotivas têm sido produzidas exitosamente pela técnica de prensagem e sinterização. É desejável melhorar o desempenho de peças sinterizadas, de tal modo que mais peças possam ser substituídas por esta técnica econômica. Entretanto, a fabricação de peças automotivas é uma aplicação de alto volume e sensível ao preço com desempenho exigências de projeto e durabilidade rigorosas. Portanto materiais econômicos são altamente desejáveis.

[008] As patentes n^{os} US 3.901.661, US 4.069.044, US 4.266.974, US 5.605.559, US 6.348.080 e WO 03/106079 descrevem pós que contêm molibdênio. Quando um pó pré-formado em liga com molibdênio é usado para produzir peças prensadas e sinterizadas,

bainita é facilmente formada na peça sinterizada. Particularmente, quando se usa pós que têm baixos teores de molibdênio, a bainita formada é grossa, prejudicando a capacidade de usinagem, o que pode ser problemático particularmente para componentes nos quais uma boa capacidade de usinagem é desejável. Além disso, o molibdênio é muito oneroso como elemento ligante.

[009] Entretanto, na patente nº US 5.605.559 uma microestrutura de perlita fina foi obtida com um pó em liga com Mo mantendo Mn muito baixo. Afirma-se que o Mo melhora a resistência do aço por endurecimento por solução e endurecimento por precipitação de carboneto de Mo, e similares. Entretanto, quando o teor de Mo é menor do que cerca de 0,1% em peso, seu efeito é pequeno. O Mn melhora a resistência de um material tratado com calor melhorando sua capacidade de endurecimento. Entretanto, quando o teor de Mn excede cerca de 0,08% em peso, um óxido é produzido sobre a superfície de pós de aço em liga, tal como a compressibilidade é diminuída. Entretanto, manter o teor de Mn baixo pode ser oneroso, particularmente quando se usa sucata barata de aço na produção, pois a sucata de aço frequentemente contém Mn em teor de 0,1% em peso e acima. Assim sendo, um pó produzido consequentemente será comparavelmente oneroso.

[0010] A patente nº US 4.954.171 descreve um pó a ser usado para a produção de peças sinterizadas por metalurgia do pó e uma liga de aço sinterizado de alta resistência. Entretanto, a dita liga contém altas quantidades de Mo, como 0,65-3,50% em peso é reivindicada. Os resultados apresentados foram obtidos usando rotas de processamento onerosas, tais como compactação dupla e sinterização em alta temperatura.

OBJETIVOS DA INVENÇÃO

[0011] Um objetivo da invenção é fornecer um pó de baixa liga

baseado em ferro apropriado para produzir componentes sinterizados, tais como componentes automotivos.

[0012] Outro objetivo da invenção é fornecer uma liga em pó aglutinada por difusão com uma alta relação desempenho/custo.

[0013] Outro objetivo da invenção é fornecer um componente sinterizado que tem alta resistência atingida por uma rota de processamento econômica, de preferência compactação única e em seguida sinterização em temperaturas regulares e depois tratamento térmico. Os exemplos desses componentes são engrenagens, rodas dentadas tais como eixo de cames e rodas dentadas de virabrequins, cubos sincronizadores, etc.

SUMÁRIO DA INVENÇÃO

[0014] Pelo menos um desses objetivos é realizado por:

- Um pó de aço de liga baixa atomizado à água, que compreende em % em peso: 0,45-1,50 de Ni, 0,3-0,55 de Mo, 0,09-0,3 de Mn, menos do que 0,2 de Cu, menos do que 0,1 de C, menos do que 0,25 de O, menos do que 0,5 de impurezas inevitáveis, o restante sendo ferro; onde o Ni e Mo foram ligados pelo método de formação de liga por difusão.
- Uma composição baseada no pó de aço que tem, em % em peso da composição: 0,35-1,0 de C na forma de grafite, e opcionalmente 0,05-2,0 de lubrificante e/ou 0-3,0 de Cu na forma de pó de cobre, e opcionalmente, materiais da fase dura e agentes para intensificar a capacidade de usinagem.
- Um método para produzir um componente sinterizado, compreendendo as etapas de:
 - a) preparar uma composição de pó de aço baseada em ferro como acima;
 - b) submeter a composição a uma compactação entre 400 e 2.000 MPa;

- c) sinterizar o componente verde obtido em uma atmosfera redutora em uma temperatura entre 1.000-1.400°C; e
 - d) submeter o componente sinterizado obtido a um tratamento térmico, tal como resfriamento brusco e têmpera.
- Um componente fabricado a partir da composição.

[0015] O pó de aço tem teores baixos e definidos de elementos ligantes e é essencialmente isento de cromo e vanádio e demonstrou ser capaz de produzir um componente que tem uma resistência à tração de pelo menos 1.000 MPa, de preferência acima de 1.020 MPa, e mais preferivelmente acima de 1.040 MPa quando sinterizado a 1.120°C por 20 minutos subsequentemente resfriado bruscamente com óleo e temperado.

BREVE DESCRIÇÃO DAS FIGURAS

[0016] No texto que se segue a invenção será esclarecida fazendo referência às figuras apensadas nas quais:

[0017] A figura 1 ilustra a imagem metalográfica captada a partir de uma amostra de um primeiro material, Material A, que demonstra uma estrutura quase ou completamente martensítica e muito poucas áreas de austenita ricas em Ni enodoadas (observadas como nódos claras na imagem) de acordo com a invenção, e

[0018] A figura 2 ilustra a imagem metalográfica de um material das técnicas anteriores, uma amostra denominada Ref. 2, que ilustra a estrutura martensítica que tem muitas áreas de austenita ricas em Ni (observadas como nódos claras na imagem).

DESCRIÇÃO DETALHADA DA INVENÇÃO

Preparação da liga pó de aço baseada em ferro

[0019] Pó de ferro puro é produzido por atomização à água de um ferro fundido. O pó atomizado pode ser ainda submetido a um processo de recozimento de redução, antes de ser transformado em liga usando um processo de formação de liga por difusão. O tamanho

de partícula da liga de pó aglutinada por difusão poderia ser qualquer tamanho, desde que ele seja compatível com a prensagem e sinterização ou com os processos de forjamento do pó. Os exemplos de tamanhos de partículas apropriados podem ser representados pelo tamanho de partícula do pó conhecido ASC100.29 disponível na Höganäs AB, Suécia, que tem um máximo de 2,0% em peso acima de 180 µm e 15-30% em peso abaixo de 45 µm.

Teores de componentes do pó de aço

[0020] O manganês aumentará a resistência, dureza e capacidade de endurecimento do pó de aço. Além disso, caso o teor de manganês seja baixo demais, não é possível usar uma sucata reciclada barata, a menos um tratamento específico para a redução durante o curso da fabricação do aço seja conduzido, o que aumenta os custos. Um teor de Mn acima de 0,3% em peso aumentará a formação de inclusões manganesíferas no pó de aço e terá um efeito negativo sobre a compressibilidade devido ao endurecimento da solução sólida e maior dureza da ferrita. Portanto, o teor de Mn não deve exceder 0,3% em peso. Assim sendo, o teor de manganês deve, de preferência, ficar acima de 0,1% em peso, mas abaixo de 0,3% em peso, mais preferivelmente na faixa de 0,15-0,30 % em peso.

[0021] O níquel aumenta a resistência e dureza, e ao mesmo tempo, proporciona boas propriedades de ductilidade. Entretanto, menos do que 0,45% em peso de Ni não produzirá suficiente efeito ligante para a capacidade de endurecimento e poderia também arriscar uma distribuição uniforme de Ni no componente. Um teor acima de 1,50% em peso tenderá a formar austenita rica em Ni durante as condições do tratamento térmico, o que baixará a resistência do material. O Ni, entretanto, é um elemento oneroso e é, portanto, desejável manter seu teor o mais baixo quanto possível. Além disso, descobriu-se que um teor de Ni abaixo de 0,90%

em peso, e ainda abaixo de 0,65% em peso, resulta em propriedades insuficientes do produto final, quando o Ni é aglutinado por difusão à superfície do pó de ferro. Portanto, prefere-se que o teor de Ni seja no máximo 0,90% em peso, mais preferivelmente no máximo 0,65% em peso. Assim sendo, o teor de Ni deve ficar na faixa de 0,45 - 0,90% em peso, e de preferência 0,45-0,65 % em peso. Nesta faixa, o Ni aglutinado completamente por difusão contribui mais para a resistência do pescoço de sinterização em comparação com o Ni pré-ligado. De preferência a totalidade do teor de Ni está presente como Ni aglutinado por difusão, isto é, aglutinado à superfície do pó de ferro. Entretanto, pequenas quantidades de Ni podem ser aceitáveis como Ni pré-ligado, de preferência, abaixo de 0,05% em peso.

[0022] O oxigênio é no máximo 0,25% em peso. Um teor alto demais de óxidos prejudica a resistência do componente sinterizado e opcionalmente forjado, e prejudica a compressibilidade do pó. Por estas razões, O de preferência é no máximo 0,18% em peso.

[0023] O cobre deve ser menos do que 0,2% em peso, e o cromo menos do que 0,1% em peso.

[0024] O molibdênio estabiliza a ferrita depois da sinterização. Os componentes com menos do que 0,3% de Mo presente no sistema Fe-Ni apresentam dureza deficiente. Ter um alto teor de Mo não contribuirá para o desempenho. O teor otimizado de Mo para este sistema é 0,3-0,55% em peso, de preferência 0,35-0,55% em peso, e mais preferivelmente, 0,40-0,55% em peso. Nesta faixa, o Mo aglutinado por difusão se desempenha melhor do que o Mo pré-ligado. A razão sendo que o teor limitado de Mo localizado nas regiões limítrofes das partículas contribui mais para a capacidade de endurecimento do que aquele na matriz. De preferência, a totalidade do teor de Mo está presente como Mo aglutinada por difusão, isto é, aglutinada à superfície do pó de ferro. Entretanto, pequenas

quantidades de Mo podem ser aceitáveis como Mo pré-ligado, de preferência abaixo de 0,05% em peso.

[0025] O carbono no pó de aço deve ser no máximo 0,1% em peso e o nitrogênio no máximo 0,1% em peso. Teores mais altos reduzirão inaceitavelmente a compressibilidade do pó.

[0026] A quantidade total de impurezas incidentais tais como fósforo-silício, alumínio, cromo, vanádio e similares deve ser menos do que 0,5% em peso para não deteriorar a compressibilidade do pó de aço ou atuar como formadores de inclusões prejudiciais, de preferência, menos do que 0,3% em peso.

[0027] Descobriu-se surpreendentemente que o efeito de fortalecer o pescoço de sinterização proporcionado pela composição de pó tem um impacto mais alto sobre as propriedades depois da sinterização e do tratamento térmico do que se acreditava anteriormente, resultando em componentes sinterizados com resistência à tração de pelo menos 1.000 MPa, de preferência acima de 1.020 MPa, e mais preferivelmente acima de 1.040 MPa em uma densidade sinterizada de pelo menos 7,0 g/cm³, de preferência pelo menos 7,1 g/cm³. Este nível de densidade sinterizada e resistência à tração pode, como um exemplo, ser atingido por compactação a 600 MPa e em seguida sinterizando a 1.120°C por 20 minutos e subsequentemente resfriando bruscamente com óleo e temperando.

Composição do pó

[0028] Antes da compactação, o pó de aço baseado em ferro é misturado com grafite, e opcionalmente pó de cobre e/ou lubrificantes, e opcionalmente materiais da fase dura e agentes intensificadores da capacidade de usinagem.

[0029] Para aumentar a resistência e dureza do componente sinterizado, carbono é introduzido na matriz. O carbono, C, é adicionado como grafite em uma quantidade entre 0,35-1,0% em peso

da composição. Uma quantidade menor do que 0,35% em peso de C resultará em uma resistência baixa demais e uma quantidade maior do que 1,0% em peso de C resultará em uma formação excessiva de carbonetos, produzindo uma dureza alta demais e prejudicando as propriedades de capacidade de usinagem. Caso, depois da sinterização, o componente vá ser tratado com calor de acordo com um processo de tratamento térmico que inclui efetuar uma carburação ou carbonitreção, adições de grafite podem ser excluídas ou limitadas a menos do que 0,35%.

[0030] Os lubrificantes são adicionados à composição para facilitar a compactação e ejeção do componente compactado. A adição de lubrificantes em uma quantidade menor do que 0,05% em peso da composição terá um efeito insignificante e a adição acima de 2% em peso da composição resultará em uma densidade baixa demais do corpo compactado. Os lubrificantes podem ser escolhidos no grupo de estearatos metálicos, ceras, ácidos graxos e derivados deles, oligômeros, polímeros e outras substâncias orgânicas que têm efeito lubrificante.

[0031] O cobre, Cu, é um elemento ligante usado comumente na técnica de metalurgia do pó. O Cu aumentará a resistência e dureza através do endurecimento da solução sólida. O Cu também facilitará a formação de pescoços de sinterização durante a sinterização, como fundidos de cobre antes que a temperatura de sinterização seja atingida, produzindo a assim denominada sinterização da fase líquida. O pó pode ser opcionalmente misturado com Cu, de preferência em uma quantidade de 0-3% em peso de Cu.

[0032] Outras substâncias, tais como materiais da fase dura, e agentes intensificadores da capacidade de usinagem, tais como MnS, MoS₂, CaF₂, e diferentes tipos de minerais etc. podem ser adicionados.

Sinterização

[0033] A composição de pó baseada em ferro é transferida para dentro de um molde e submetida a uma pressão de compactação de cerca de 400-2000 MPa até uma densidade verde acima de cerca de $6,75 \text{ g/cm}^3$. O componente verde obtido é ainda submetido à sinterização em uma atmosfera redutora em uma temperatura de cerca de 1.000-1.400°C. Caso o componente vá ser sinterizado em temperaturas de sinterização regulares, isso usualmente é realizado a 1.000-1.200°C, de preferência 1.050-1.180°C, mais preferivelmente 1.080-1.160°C. Caso o componente vá ser sinterizado em alta temperatura, isto usualmente é realizado a 1.200-1.400°C, de preferência a 1.200-1.300°C, e mais preferivelmente, a 1.220-1.280°C.

Tratamentos pós-sinterização

[0034] Para obter uma microestrutura desejada, o componente sinterizado pode ser submetido a um processo de tratamento térmico que inclui uma taxa de resfriamento controlada. O processo de endurecimento pode incluir processos conhecidos tais como resfriamento rápido e têmpera, cementação, nitretação, carburação, nitrocarburação, carbonitretação, endurecimento por indução e similares. Alternativamente, um processo de sinterização/endurecimento em uma alta taxa de resfriamento pode ser utilizado. Caso o tratamento térmico inclua carburação, a quantidade de grafite adicionada pode ser na faixa de 0,15- 0,35% em peso.

[0035] Outros tipos de tratamentos pós-sinterização podem ser utilizados, tais como laminação superficial ou martelagem, que introduz tensões compressivas residuais, aumentando a vida útil sob fadiga.

Propriedades do componente acabado

[0036] A presente invenção fornece um novo material de baixa liga que tem alta resistência à tração de pelo menos 1.000 MPa, de

preferência acima de 1.020 MPa, e mais preferivelmente acima de 1.040 MPa, em uma densidade sinterizada de pelo menos 7,0 g/cm³, de preferência pelo menos 7,1 g/cm³. Este nível de densidade sinterizada e resistência à tração pode ser atingido, por exemplo, por compactação a 600 MPa e em seguida sinterização a 1.120°C por 20 minutos e subsequente resfriamento rápido com óleo e têmpera.

[0037] Com o pó de baixa liga atomizado à água da presente invenção, é possível produzir componentes sinterizados que têm uma microestrutura caracterizada por uma quantidade limitada/baixa de austenita rica em Ni enodada em uma matriz que compreende martensita. A matriz pode compreender também martensita e bainita e/ou perlita. A matriz caracteriza-se também por ter Mo distribuído de forma não homogênea.

[0038] Descobriu-se também surpreendentemente que a capacidade de usinagem dos componentes de acordo com a invenção, em seu estado como sinterizados, é muito melhor do que aquela dos componentes como sinterizados fabricados a partir de materiais de liga mais alta.

EXEMPLO 1

[0039] Os pós de aço baseados em ferro ligados foram produzidos misturando elementos ligantes com pó de ferro puro, e por tratamento térmico da mistura de pós em atmosfera redutora, unindo as partículas de elementos ligantes menores por difusão para as partículas maiores. A Tabela 1 indica as composições químicas dos diferentes pós. Os tamanhos de partículas de todos pós (A, B, Ref. 1-3) eram abaixo de 150 µm. Os pós A, B eram ambos baseados em pó de ferro ASC100.29, disponível na Höganäs AB, e eram unidos por difusão com um pó que contém Ni (partículas finas de Ni essencialmente puro Ni) e pós que contém Mo (partículas finas de óxidos de Mo). Ref. 1 era baseado em pó de ferro ASC100.29, disponível na Höganäs AB, e era

unido por difusão com um pó que contém Ni (partículas finas de Ni essencialmente puro) e um pó que contém Mo (partículas finas de óxidos de Mo). Ref. 2 era baseado em pó de ferro ASC100.29, disponível na Höganäs AB, e era unido por difusão com um pó fino que contém Ni (partículas finas de Ni essencialmente puro), um pó que contém Mo (partículas finas de óxidos de Mo) e um pó que contém Cu (partículas finas de Cu essencialmente puro). Ref. 3 foi preparado como um pó pré-ligado. As análises químicas dos pós unidos por difusão (A, B, Ref.1, e Ref. 2) e do pó pré-ligado (Ref. 3) estão indicadas na Tabela 1.

Tabela 1: Composição química de pós de aço A, B e Referências

Pó	Mo [%]	Ni [%]	Cu [%]	Mn [%]	C [%]	O [%]
A	0,50	0,50	-	0,17	0,002	0,08
B	0,51	0,87	-	0,12	0,002	0,08
Ref. 1	0,89	0,89	-	<0,10	0,002	0,08
Ref. 2	0,50	4,0	1,5	<0,10	0,002	0,08
Ref. 3 (pré-ligado)	0,60	0,45		0,3	0,004	0,13

[0040] Os pós de aço obtidos foram misturados com 0,6% em peso da composição de grafite UF4, da Kropfmühl, e 0,8% de Amide Wax PM, disponível na Höganäs AB, Suécia.

[0041] As composições de pós obtidas foram transferidas para uma matriz e compactadas para formar componentes verdes em uma pressão de compactação de 600 MPa. Os componentes verdes compactados foram sinterizados em um forno com correia transportadora de laboratório em uma temperatura de 1.120°C por 20 minutos em uma atmosfera de 90% de nitrogênio e 10% de hidrogênio.

[0042] Os espécimes sinterizados foram aquecidos em uma atmosfera com um potencial de carbono de 0,6% a 840°C por 20 minutos, e em seguida, resfriamento rápido com óleo. Os espécimes foram ainda submetidos a uma têmpera ao ar a 200°C por 60 minutos.

[0043] Os espécimes sinterizados foram testados quanto à resistência à tração e alongamento de acordo com ASTM E9-89C e dureza, HRC de acordo com SS-EN ISO 6508-1. A energia de Impacto foi estada de acordo com EN10045-1.

[0044] A Tabela 2 indica as quantidades adicionadas de grafite à composição antes de produzir as amostras do teste, e os resultados da análise química dos espécimes sinterizados a 1.120°C e tratados termicamente. Ela indica também resultados do teste de resistência à tração, teste de energia de impacto, e teste de dureza.

Tabela 2: Quantidade de grafite adicionada, C analisado, resultados do teste de tração, teste de energia de impacto e teste de dureza.

Compo sição do pó basea da em pó	Graf ite adici ona do [%]	C [%]	O [%]	Densid ade sinteriz ada [g/cm ³]	Limit e de Elasti cidad e [MPa]	Resis tênci a à traçã o [MPa]	Alon gam ento [%]	Durez a [HRC]	Eergi a de impa cto [J]
A	0,6	0,56	0,06	7,10	1040	1042	0,20	34,0	9,3
B	0,6	0,55	0,06	7,11	1050	1093	0,27	35,9	11,0
Ref. 1	0,6	0,57	0,06	7,09	1044	1050	0,21	36,2	9,4
Ref. 2	0,6	0,51	0,04	7,08	837	1015	0,57	30,5	13,3
Ref. 3	0,6	0,59	0,08	6,99	-	873	0,12	33,4	5,8

[0045] As amostras de baixa liga baseadas nos pós A e B apresentam um limite de elasticidade que é similar à resistência das amostras baseadas em Ref. 1 depois do tratamento térmico. Elas apresentam um limite de elasticidade que é mais alto do que a resistência das amostras baseadas na Ref. 2 de alta liga, e elas apresentam uma resistência à tração que é mais alta do que aquela das amostras baseadas na Ref. 3 pré-ligada. O teor mais alto de Mo em Ref. 1 não produz qualquer efeito positivo.

[0046] As amostras de baixa liga baseadas nos pós A e B apresentam uma resistência à tração que é similar ou mais alta do que a resistência das amostras baseadas em Ref. 1 depois do tratamento térmico. Elas apresentam uma resistência à tração que é mais alta do que a resistência das amostras baseadas em Ref. 2 de alta liga, e elas apresentam uma resistência à tração que é mais alta do que a resistência das amostras baseadas na Ref. 3 pré-ligada. Nem neste caso o teor mais alto de Mo em Ref. 1 produz qualquer efeito positivo.

[0047] O alongamento das amostras preparadas a partir de A e B é similar ou mais alto do que o alongamento das amostras baseadas em Ref. 1. Ele é mais alto do que o alongamento de materiais pré-ligados, mas é mais baixo do que o alongamento das amostras baseadas em Ref. 2 de alta liga. Em comparação com as amostras baseadas em Ref. 3 pré-ligada, o alongamento é melhor.

[0048] A dureza das amostras preparadas a partir de A e B é similar à dureza das amostras preparadas a partir de Ref. 1. Nenhum efeito positivo é observado por causa do alto teor de Mo. A dureza é mais alta do que a dureza das amostras baseadas em Ref. 2 de alta liga graças a menos austenita rica em Ni retida na microestrutura predominantemente martensítica. A dureza também é mais alta do que para as amostras baseadas no material pré-ligado Ref. 3.

[0049] Os resultados do teste de energia de impacto das amostras preparadas a partir de A e B são similares aos resultados do teste de energia de impacto das amostras preparadas a partir de Ref. 1. Ele é um tanto mais baixo do que os resultados do teste de energia de impacto das amostras preparadas a partir de Ref. 2, e ele é mais alto do que os resultados do teste de energia de impacto das amostras preparadas a partir de Ref. 3.

EXEMPLO 2

[0050] Amostras foram produzidas e testadas de acordo com o

Exemplo 1, com a exceção da temperatura de sinterização, que foi 1.250°C. A Tabela 3 indica as quantidades adicionadas de grafite à composição antes de produzir as amostras do teste, e os resultados da análise química dos espécimes sinterizados a 1.250°C e tratados termicamente. Ela indica também os resultados do teste de resistência à tração, teste de energia de impacto, e teste de dureza.

Tabela 3: Quantidade de grafite adicionada, C analisado, resultados do teste de tração, teste de energia de impacto e teste de dureza.

Composição de pó baseada no pó	Grafite adicionada [%]	C [%]	O [%]	Densidade sinterizada [g/cm ³]	Limite de elasticidade [MPa]	Resistência à tração [MPa]	Alongamento [%]	Dureza [HRC]	Energia de impacto [J]
A	0,6	0,59	0,03	7,16	1146	1220	0,32	38,2	15,2
B	0,6	0,62	0,02	7,18	1168	1275	0,38	38,9	18,0
Ref. 1	0,6	0,63	0,03	7,15	1171	1279	0,39	38,9	17,5
Ref. 2	0,6	0,49	0,03	7,17	997	1236	0,82	34,0	19,6
Ref. 3	0,6	0,60	0,05	7,06	-	1061	0,12	36,9	12,0

[0051] As amostras de baixa liga baseadas nos pós A e B apresentam um limite de elasticidade que é similar ao limite de elasticidade das amostras baseadas em Ref. 1 depois do tratamento térmico. Elas apresentam um limite de elasticidade que é mais alto do que o limite de elasticidade das amostras baseadas em Ref. 2 de alta liga, e elas apresentam uma resistência à tração que é mais alta do que a resistência à tração das amostras baseadas em Ref. 3 pré-ligado. O teor mais alto de Mo em Ref. 1 não produz qualquer efeito positivo.

[0052] As amostras de baixa liga baseadas nos pós A e B

apresentam uma resistência à tração que é similar à resistência à tração das amostras baseadas em Ref. 1 e Ref. 2 depois do tratamento térmico, e elas apresentam uma resistência à tração que é mais alta do a resistência das amostras baseadas em Ref. 3 pré-ligado. Nem neste caso o teor mais alto de Mo em Ref. 1 produz qualquer efeito positivo.

[0053] O alongamento das amostras preparadas a partir de A e B é similar ao alongamento das amostras baseadas em Ref. 1. Ele é mais alto do que o alongamento de materiais pré-ligados, mas é mais baixo do que o alongamento das amostras baseadas em Ref. 2 de alta liga. Em comparação com as amostras baseadas em Ref. 3 pré-ligado, o alongamento é melhor.

[0054] A dureza das amostras preparadas a partir de A e B é similar à dureza das amostras preparadas a partir de Ref. 1. Nenhum efeito positivo é observado devido ao alto teor de Mo. A dureza é mais alta do que a dureza de Ref. 2 de alta liga graças a menos austenita rica em Ni retida na microestrutura predominantemente martensítica. A dureza é também mais alta do que para as amostras baseadas no pó Ref. 3 pré-ligado.

[0055] Os resultados do teste de energia de impacto das amostras preparadas a partir de A e B são similares aos resultados do teste de energia de impacto das amostras preparadas a partir de Ref. 1 e Ref. 2, e eles são mais altos do que os resultados do teste de energia de impacto das amostras preparadas a partir de Ref. 3.

[0056] Os resultados indicam que para alta resistência e alta dureza, a maneira mais favorável para adicionar elementos ligantes nos sistema de ligas e para processos de tratamento térmico similares aos descritos nos exemplos, e formação de ligas por difusão. Além disso, quando uma alta resistência e alta dureza são desejadas, a adição de Ni deve ser moderada, pois com altos teores a presença de

austenita retida baixa a dureza e resistência. Além disso, a adição de Mo acima de 0,55% não proporciona qualquer melhora no desempenho mecânico.

[0057] Além disso, as amostras para resistência à tração baseadas nos pós A e Ref. 2 como na Tabela 3, foram avaliadas de forma metalográfica usando LOM padrão e técnicas de gravação. Na figura 1 a imagem metalográfica é captada a partir de uma amostra fabricada a partir do Material A, demonstrando uma estrutura quase a completamente martensítica e muito poucas áreas de austenita rica em Ni enodoadas (observadas como nódos claros na imagem). Na figura 2 a imagem metalográfica é captada a partir de uma amostra Fabricada a partir de Ref. 2, que ilustra uma estrutura martensítica que tem muitas áreas de austenita rica em Ni (observadas como nódos claros na imagem).

EXEMPLO 3

[0058] Amostras baseadas nos pós A e Ref. 2 foram produzidas e testadas de acordo com o Exemplo 1, com as exceções da temperatura de sinterização, que foi 1.250°C, e pelo fato de que as amostras não foram submetidas ao tratamento térmico depois da sinterização, isto é, as amostras estavam no estado conforme sinterizadas. Grafite e/ou o agente intensificador da capacidade de usinagem MnS foram misturados com os pós de acordo com as especificações indicadas na Tabela 4. Os testes de capacidade de usinagem foram realizados nas amostras, perfurando e contando a quantidade de furos perfurados antes da avaria total da broca. Os resultados estão indicados na Tabela 4.

Geometria do teste: Ø80 x 12 mm

Tipo de broca: Dormer Ø3,5, A002

Dados do corte: Velocidade do corte, $V_c = 40$ m/min

Alimentação, $f = 0,06$ mm/rev Profundidade do corte, $a_p = 9,6$ mm

(cego), seco

Tabela 4: Resultados de testes de capacidade de usinagem

Pó base	Grafite [%]	MnS [%]	nº furos/broca	de Brocas usadas	Tempo [min]
A	0,6	-	2400	1	79
A	0,6	0,5	>>2400	1	>79
Ref. 2	0,6	0,5	20	4	1

[0059] Como pode ser observado na Tabela 4, a capacidade de usinagem de componentes como sinterizados baseados no pó A é muito melhor do que aquela das amostras baseadas em Ref. 2. Mesmo as amostras baseadas no pó A sem a adição do MnS foram melhores do que as amostras baseadas em Ref. 2 que têm MnS como agente intensificador da capacidade de usinagem.

REIVINDICAÇÕES

1. Pó de aço baseado em ferro atomizado à água, caracterizado pelo fato de que consiste em % em peso:

0,45-0,90 de Ni,

0,30-0,55 de Mo,

0,1- 0,3 de Mn,

menos do que 0,2 Cu,

menos do que 0,1 de C,

menos do que 0,25 de O,

menos do que 0,5 de impurezas inevitáveis, e

o restante sendo ferro, e

onde o Ni e o Mo foram incorporados à liga por um processo de formação de liga por difusão.

2. Pó, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o teor de Ni está dentro da faixa de 0,45-0,65% em peso.

3. Pó, de acordo com a reivindicação 1 ou 2, caracterizado pelo fato de que o teor de Mo está dentro da faixa de 0,45-0,55% em peso.

4. Pó, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 3, caracterizado pelo fato de que o teor de Mn é maior do que 0,15% em peso.

5. Composição de pó baseado em ferro, caracterizada pelo fato de que consiste em um pó de aço como definido em qualquer uma das reivindicações 1 a 4 misturada com 0,35-1,0% em peso de grafite baseado na composição, e opcionalmente, 0,05-2,0% em peso de lubrificantes baseado na composição, e/ou cobre em uma quantidade de 0-3,0% em peso; e opcionalmente, materiais de fase dura e agentes intensificadores da capacidade de usinagem.

6. Método para produzir um componente sinterizado, caracterizado pelo fato de que consiste nas etapas de:

- a) preparar uma composição de pó de aço baseado em ferro como definida na reivindicação 5;
- b) submeter a composição a uma compactação em uma pressão entre 400 e 2.000 MPa, de preferência 400-1.000 MPa, e mais preferivelmente, 500-800 MPa;
- c) sinterizar o componente verde obtido em uma atmosfera redutora em uma temperatura entre 1.000-1.400°C, de preferência em uma temperatura entre 1.100-1.330°C; e
- d) opcionalmente, submeter o componente sinterizado obtido a um tratamento térmico por resfriamento brusco e têmpera.

7. Componente sinterizado, caracterizado pelo fato de que é produzido a partir da composição como definida na reivindicação 5.

8. Componente, de acordo com a reivindicação 7, caracterizado pelo fato de que apresenta uma resistência à tração de pelo menos 1.000 MPa, de preferência acima de 1.020 MPa, e mais preferivelmente, acima de 1.040 MPa, e uma densidade sinterizada de pelo menos 7,0 g/cm³, de preferência pelo menos 7,1 g/cm³ e tendo de preferência uma microestrutura definida por uma baixa quantidade de austenita rica em Ni enodada em uma matriz que compreende martensita.

1/1

FIG. 1

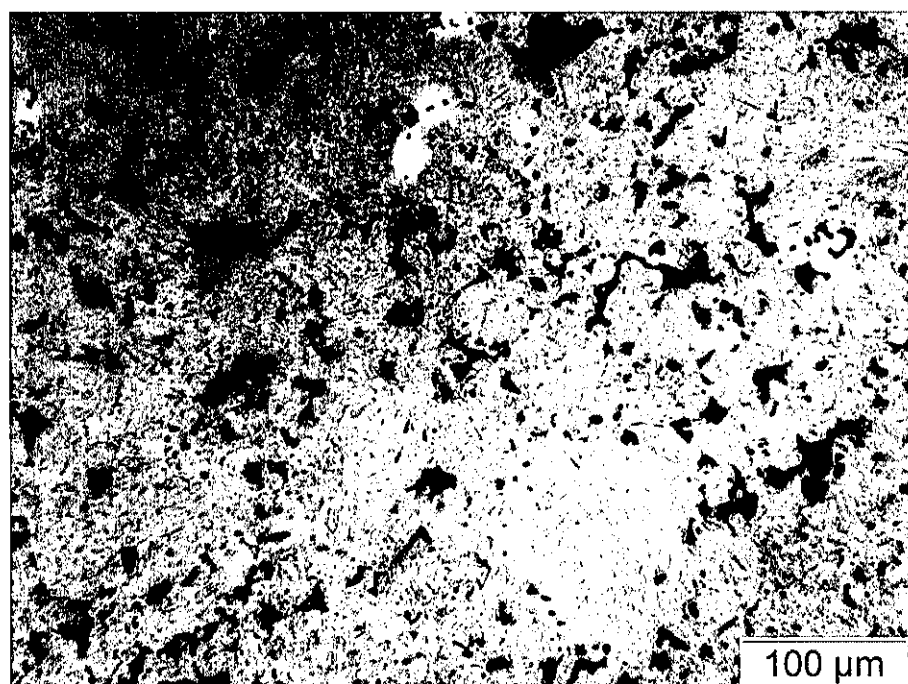


FIG. 2

