



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL

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



CARTA PATENTE N.º PI 0714305-2

Patente de Invenção

O INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL concede a presente PATENTE, que outorga ao seu titular a propriedade da invenção caracterizada neste título, em todo o território nacional, garantindo os direitos dela decorrentes, previstos na legislação em vigor.

(21) Número do Depósito : PI 0714305-2

(22) Data do Depósito : 18/07/2007

(43) Data da Publicação do Pedido : 24/01/2008

(51) Classificação Internacional : B23K 35/22

(30) Prioridade Unionista : 18/07/2006 US 11/458209

(54) Título : MÉTODO PARA REVESTIMENTO DURO DE UM SUBSTRATO

(73) Titular : THE NANOSTEEL COMPANY, INC. Endereço: 67 Cedar Street, Suite 101 Providence RI 02903, Estados Unidos (US).

(72) Inventor : DANIEL JAMES BRANAGAN. Endereço: 6845 East Sunnyside Idaho Falls ID 83406, Estados Unidos. Cidadania: Norte Americana.; CRAIG M. MARSHALL. Endereço: 3588 Dayton Street Iona ID 83427, Estados Unidos.; BRIAN MEACHAM. Endereço: 1274 Boise Avenue Idaho Falls ID 83402, Estados Unidos.

Prazo de Validade : 20 (vinte) anos contados a partir de 18/07/2007, observadas as condições legais.

Expedida em : 16 de Setembro de 2014.

Assinado digitalmente por
Júlio César Castelo Branco Reis Moreira
Diretor de Patentes



MÉTODO PARA REVESTIMENTO DURO DE UM SUBSTRATO

CAMPO DA INVENÇÃO

A presente revelação se refere às ligas de formação de vidro à base de ferro e a um método de produzir as ligas para produzir insumo para uma variedade de técnicas de aplicação de revestimento duro de cobertura de solda. O presente pedido também se refere às químicas de ligas visadas que podem ser processadas em produtos industriais utilizando estratégias de processamento industrial, convencional sem a necessidade de misturar macroscopicamente para formar um macrocompósito.

ANTECEDENTES

Materiais de cobertura de solda podem ser macrocompósitos que podem ser desenvolvidos mediante partida com partículas duras as quais podem incluir carbureto (isto é, WC, VC, Cr_3C_2 , Cr_{23}C_6 , TiC, HfC, etc.), boretos (TiB_2 , ZrB_2 , etc.), carbureto de boros ($\text{M}(\text{BC})_2$, $\text{M}(\text{BC})_3$, $\text{M}_{23}(\text{BC})_6$, etc.), nitretos (isto é, BN, TiN, Al_3N , etc.), e/ou outras fases duras específicas como diamante, etc. que podem ser incorporadas em várias frações de volume (isto é, tipicamente de 15 a 90% at. de partículas duras) a um aglutinante apropriado o qual pode ser à base de níquel (ou liga de níquel), à base de cobalto (ou liga de cobalto), ou à base de ferro (ou liga de ferro). O aglutinante pode prover uma matriz para conter as partículas duras mediante umedecimento de sua superfície suficientemente de modo que ele é capturado enquanto não se dissolvendo completamente. O aglutinante também pode prover uma medida de dureza/resistência à rachadura para habilitar o compósito a ter desempenho adequado em serviço.

SUMÁRIO

Uma modalidade exemplar se refere a uma composição de liga metálica que pode ser usada para aplicações de cobertura de solda de revestimento duro. A composição de
5 liga pode incluir de 35 a 65% at. de um metal de base composto de ferro e manganês; de 10 a 50% at. de elementos intersticiais, selecionados a partir de boro, carbono, silício ou combinações dos mesmos; de 3 a 30% at. de um metal de transição selecionado a partir de cromo,
10 molibdênio, tungstênio ou combinações dos mesmos; e de 1 a 15% at. de nióbio. A composição pode formar uma matriz dúctil de α -Fe e/ou γ -Fe incluindo fases de boreto complexo, carburetos complexos ou carbureto de boros.

Uma modalidade exemplar adicional também se refere a
15 uma composição de liga metálica a qual pode ser usada para aplicações de cobertura de solda de revestimento duro. A composição de liga pode incluir de 44,2 a 55,4% at. de um metal de base; composto de ferro e manganês, 20,2 a 39,3% at. de um elemento intersticial selecionado do grupo de
20 boro, carbono, silício e combinações dos mesmos, 13,3 a 20,5% at. de um metal de transição selecionado do grupo de cromo, molibdênio, tungstênio e suas combinações, e de 3,2 a 4,4% at. de nióbio.

Uma modalidade exemplar adicional se refere a um
25 método de revestimento duro de um substrato. O método pode incluir prover uma composição compreendendo de 35 a 65% at. de um metal de base composto de ferro e manganês, de 10 a 50% at. de um elemento intersticial selecionado do grupo de boro, carbono, silício e combinações dos mesmos, de 3 a 30%
30 at. de um metal de transição selecionado do grupo de cromo,

molibdênio, tungstênio e combinações dos mesmos, e de 1 a 15% at. de nióbio, e soldagem da composição sobre um substrato.

DESCRIÇÃO RESUMIDA DOS DESENHOS

5 A descrição detalhada abaixo pode ser mais bem-entendida com referência às figuras anexas as quais são providas para fins ilustrativos e não devem ser consideradas como limitando qualquer aspecto da invenção.

10 A Figura 1 ilustra varreduras DTA exemplares de LIGA 6 a qual pode ser solidificada em duas taxas diferentes de esfriamento; a curva superior ilustra taxas elevadas de esfriamento e a curva inferior ilustra taxas baixas de esfriamento. Observar que os picos de transformação de vidro para cristalino podem ser claramente vistos.

15 A Figura 2 é um gráfico ilustrando a percentagem atômica de químicas de liga de solda exemplar como uma função de Fe+ Mn (bloco esquerdo), B+C+Si (metade esquerda), Cr+Mo+W (metade direita), e Nb (bloco direito).

20 A Figura 3 ilustra varreduras DTA exemplares de pó atomizado a gás de LIGA 5 o qual foi solidificado em duas taxas diferentes de esfriamento; curva superior, pó de 15 a 53 μm , curva inferior, pó de 53 a 250 μm . Observar que os picos de transformação de vidro para cristalino podem ser claramente vistos.

25 As Figuras 4a e 4b ilustram padrões de difração de Raio-X experimentais exemplares (a) e refinados de Rietveld (b) para uma cobertura de solda PPAW de LIGA 5 depositada a 1,59 quilogramas-hora.

30 As Figuras 5a e 5B ilustram padrões de difração de Raio-X experimentais exemplares (a) e refinados de Rietveld

(b) de uma cobertura de solda PTAW de LIGA 5 depositada a 8,16 quilogramas-hora.

As Figuras 6a e 6b ilustram micrografias via elétrons retroespalhados SEM exemplares de uma amostra PTAW de LIGA 5 que foi soldada a 1,59 quilogramas/hora; (a) baixa ampliação, (b) elevada ampliação.

A Figura 7a e a Figura 7b ilustram micrografias via elétrons retroespalhados SEM exemplares de uma amostra PTAW de LIGA 5 a qual foi soldada a 8,15 quilogramas/hora; (a) baixa ampliação, (b) elevada ampliação.

As Figuras, 8a e 8b, ilustram micrografias de elétrons secundários SEM exemplares de uma amostra PTAW de LIGA 5 a qual foi soldada a 1,59 quilogramas/hora; (a) baixa ampliação, (b) elevada ampliação.

A Figura 9 ilustra uma imagem de depósito de revestimento duro GMAW de LIGA 5, exemplar na forma de uma chapa de desgaste de cobertura de solda de duas passagens.

As Figuras 10a e 10b ilustram coberturas de solda GMAW de LIGA 5 exemplares após teste de desgaste; (a) amostra de uma passagem, (b) amostra de duas passagens.

As Figuras 11a e 11b ilustram varreduras de difração de Raio-X experimentais exemplares (a) e refinadas de Rietveld (b) de uma amostra GMAW de LIGA 5.

As Figuras 12a, 12b, 12c e 12d ilustram micrografias via elétrons retroespalhados SEM exemplares mostrando uma estrutura de solda GMAW exemplar de LIGA 5; (a) estrutura apresentando baixa ampliação; (b) elevada ampliação da fase de matriz, (c) elevada ampliação da fase primária de carbureto de boro, tipo 1, e (d) elevada ampliação da fase de carbureto de boro, tipo 2.

A Figura 13 ilustra uma micrografia de elétrons retroespalhados SEM exemplar de uma cobertura de solda GMAW de passagem única de LIGA 5 mostrando a mudança em microdureza de Vickers a partir do substrato para o metal de base.

A Figura 14 ilustra uma micrografia de elétrons retroespalhados SEM exemplar de uma cobertura de solda GMAW de passagem dupla de LIGA 6 mostrando a mudança em microdureza de Vickers a partir do substrato para o metal de base.

DESCRIÇÃO DETALHADA

A presente invenção se refere aos modelos de liga que podem formar massas fundidas líquidas de uma natureza homogênea. As químicas de ligas visadas podem ser processadas em produtos industriais utilizando estratégias de processamento industrial convencional sem a necessidade de misturar macroscopicamente para formar um macrocompósito. Por exemplo, para produzir pós, podem ser usados métodos tais como atomização para fracionar as massas fundidas líquidas em partículas de pó. As partículas de pó podem ser então dimensionadas para produzir tamanhos de pó visados para diversas estratégias de aplicação de cobertura. Adicionalmente, as partículas podem ser usadas isoladamente, em conjunto com ou em combinação com os pós comercialmente disponíveis para formar arames de núcleo e eletrodos de bastão para vários processos de soldagem.

Os modelos de liga para revestimento duro podem ser formulados em torno de formulações químicas de formação de vidro. A composição de liga metálica pode ser composta de um metal de base, ao menos um elemento intersticial, ao

menos um metal de transição e nióbio. O metal de base pode incluir ferro e manganês e pode estar presente na liga na faixa de 35 a 65 por cento em peso atômico (% at.) da composição, incluindo todos os valores e incrementos na
5 mesma. O elemento intersticial pode incluir, por exemplo, boro, carbono e/ou silício, o qual pode estar presente na liga na faixa de 10 a 50% at. da composição, incluindo todos os valores e incrementos na mesma. O metal de transição pode incluir, por exemplo, cromo, molibdênio e/ou
10 tungstênio, os quais podem estar presentes na faixa de aproximadamente 3 a 30% at. da composição, incluindo todos os valores e incrementos na mesma. Adicionalmente, o nióbio pode estar presente na faixa de 1 a 15% at. da composição. Em uma modalidade exemplar o metal de base pode estar
15 presente na faixa de 44,2 a 55,4% at., um ou mais elementos intersticiais podem estar presentes na faixa de 20,2 a 39,3% at., um ou mais metais de transição podem estar presentes na faixa de 13,3 a 20,5% at. e nióbio pode estar presente na faixa de 3,2 a 4,4% at..

20 **Composição de Ligas Exemplares**

As químicas de ligas exemplares são resumidas na Tabela 1. As ligas podem ser produzidas em uma escala piloto ou em uma escala de produção e então processadas adicionalmente como insumo para revestimento duro para
25 várias estratégias de aplicação de cobertura de solda. Na Figura 2, a percentagem atômica de cada liga é adicionalmente representada graficamente como uma função de Fe + Mn, B + C + Si, Cr + Mo + W, e Nióbio. Desse modo, essas químicas exemplares, embora não totalmente
30 abrangentes, representam químicas que podem realizar

estruturas refinadas específicas tendo propriedades de resistência ao desgaste e dureza, específicas desejadas.

Tabela 1 - Percentagem Atômica de Ligas de Solda GMAW

Liga	Fe + Mn (% at.)	B+C+Si (% at.)	Cr+Mo+W (% at.)	Nb (% at.)
LIGA 1	44,2	39,3	13,3	3,2
LIGA 2	46,6	35,2	14,9	3,3
LIGA 3	49,1	30,9	16,5	3,5
LIGA 4	49,9	29,7	16,3	4,1
LIGA 5	52,2	25,6	18,5	3,7
LIGA 6	52,5	25,8	17,3	4,4
LIGA 7	53,1	24,0	19,2	3,7
LIGA 8	54,2	22,2	19,8	3,8
LIGA 9	55,4	20,2	20,5	3,9

Como aludido acima, a composição de liga pode ser atomizada para prover um pó. Processos de atomização exemplares podem incluir atomização a gás, atomização centrífuga ou atomização à água. As partículas de pó podem ser dimensionadas utilizando-se diversas técnicas tal como peneiragem, classificação e classificação pneumática. Em uma modalidade exemplar, ao menos 50% das partículas de pó podem ficar compreendidas nas faixas de 10 a 300 μm , incluindo todos os valores e incrementos nas mesmas, tal como na faixa de 53 a 106 μm , 53 a 150 μm ou 45 a 180 μm , etc. Deve ser considerado, contudo, que outras faixas de tamanhos de partículas podem ser consideradas e que as faixas podem ser mais estreitas ou mais amplas assim como os tamanhos de partículas maiores ou menores dependendo da aplicação ou da técnica de solda de cobertura de revestimento duro desejada. Por exemplo, durante fusão a laser as partículas de 53 a 106 μm podem ser usadas como

insumo e para soldagem plasma de arco transferido (PTAW), pós de 45 a 180 μm podem ser usados para insumo.

Os pós aqui considerados podem ser usados isoladamente, em combinação com, ou em conjunto com os pós comerciais disponíveis, ou os pós comercialmente disponíveis podem ser usados isoladamente para atingir as químicas visadas específicas e colocar no interior de um arame de núcleo para fazer arames de núcleo de pó de metal. Os arames de núcleo podem ser fabricados em diversos diâmetros na faixa de 0,0254 a 1,27 centímetros, incluindo, mas não limitado a todos os valores e incrementos na mesma tal como 0,114 centímetro, 0,159 centímetro, 0,278 centímetro, 0,318 centímetro, e 0,476 centímetro. Os arames de núcleo podem ser usados como insumos para vários processos de soldagem os quais usam arame. Exemplos de técnicas de revestimento duro de alimentação de arame incluem, mas não são limitados a, soldagem por arco com gás de proteção (GMAW), soldagem a gás inerte de metal (MIG), soldagem a arco submerso, e soldagem a arco aberto. O pó também pode ser usado isoladamente, com pós comercialmente disponíveis, ou em conjunto com os pós comercialmente disponíveis e colocados dentro de um arame de núcleo para fazer eletrodos de bastão de vários diâmetros incluindo, mas não limitado a 0,114 centímetro, 0,159 centímetro, 1,198 centímetro, 0,238 centímetro, 0,318 centímetro, e 0,476 centímetro e soldados através de várias estratégias de revestimento duro incluindo, mas não limitado à soldagem a arco elétrico com eletrodo revestido (SMAW) ou soldagem a bastão de metal.

As ligas podem ser aplicadas a qualquer número de

substratos, incluindo várias ligas de aço. Como aludido acima, as ligas podem ser usadas em vários processos de cobertura tal como soldagem a laser, soldagem plasma de arco transferido (PTAW), soldagem por arco com gás de proteção (GMAW), soldagem a gás inerte de metal (MIG),
5 soldagem a arco submerso, soldagem a arco aberto, soldagem a arco elétrico com eletrodo revestido (SMAW) ou soldagem a bastão de metal.

Além disso, como mencionado acima, as ligas podem ser
10 formuladas para formar composições substancialmente vítreas. Por exemplo, na Figura 1, varreduras DTA exemplares são mostradas para a LIGA 6 a qual foi processada em elevadas e baixas taxas de esfriamento. A curva superior ilustra uma varredura DTA exemplar da LIGA 6
15 produzida em elevadas taxas de esfriamento e a curva inferior ilustra uma varredura DTA exemplar da LIGA 6 produzida em taxas inferiores de esfriamento. O pico de transformação de vidro para cristalino exemplar único em cada curva é visto próximo a uma temperatura máxima de
20 660°C. Uma vez mais, observar que a liga pode ser produzida tanto na forma em pó como na forma de arame para várias aplicações de revestimento duro incluindo laser, PTAW, GMAW e MIG.

A formação das ligas de vidro pode refinar a escala da
25 microestrutura cristalina. O nível de refinamento pode depender de uma variedade de fatores incluindo a capacidade de formação de vidro da liga, a taxa de esfriamento do método de processamento industrial, a admissão total de calor, a espessura do depósito de cobertura de solda, etc.
30 A taxa de esfriamento média do processo de soldagem

industrial pode ser maior (isto é, mais rápida) do que a taxa de esfriamento crítica para formação de vidro metálico do material de insumo, e os depósitos de solda de vidro metálico podem ser formados durante a soldagem. Se a
5 admissão total de calor for insuficiente para causar desvitrificação, as coberturas de vidro metálico podem ser formadas com uma microestrutura em escala angstrom, mas se a admissão total de calor for muito grande, então desvitrificação parcial ou completa pode ocorrer resultando
10 na formação de uma microestrutura composta em nanoescala.

Se a taxa crítica de esfriamento para formação de vidro metálico for maior do que a taxa de esfriamento médio do processo de cobertura de solda industrial escolhido, elevados esfriamentos abaixo do normal podem ainda ser
15 obtidos antes da nucleação e desenvolvimento. Esfriamento abaixo do normal pode ser entendido como sendo a diminuição da temperatura de um líquido além da temperatura de congelamento e ainda mantendo uma forma líquida. O esfriamento abaixo do normal, o qual pode ser de muitas
20 centenas de graus superior àquele obtido nas ligas convencionais, pode resultar em forças de acionamento superiores para nucleação, enquanto uma redução nos processos de difusão dependentes de temperatura pode resultar em uma frequência de nucleação aumentada e tempo
25 reduzido para desenvolvimento de granulação/fase. Desse modo, à medida que o nível de esfriamento abaixo do normal é aumentado, o tamanho de granulação/fase médio resultante pode ser reduzido.

A redução de granulação/fase, e tamanhos de partículas
30 duras, mais miúdas, pode resultar em um aumento na dureza

da cobertura de solda uma vez que menos concentração de tensão pode ocorrer nas partículas individuais e quaisquer rachaduras produzidas podem ser detidas, ligadas nas fases de matriz mais dúcteis. Partículas finas também podem preferivelmente desgastar a matriz de materiais de cobertura de solda de macrocompósito convencional. Por exemplo, pós PTA convencionais podem ser produzidos utilizando material particulado WC grosso de 45 a 180 μm e podem ser adicionados a um pó de matriz à base de níquel o qual pode ser uma liga contendo níquel, cromo, boro, e silício. Embora as partículas WC resultantes de 45 a 180 μm (se nenhuma dissolução ocorrer) possam ser muito duras, comumente a matriz de níquel baseada nessa química pode ser Rc de 35 a 50. Desse modo, se partículas finas, como areia, estiverem presentes, a matriz pode preferencialmente se desgastar resultando em desprendimento das fases duras de WC.

Dependendo do esfriamento abaixo do normal obtido, taxas críticas de esfriamento, admissão total de calor, etc. os tamanhos de partículas duras, menores podem ser formados no local durante a soldagem. No caso extremo de um vidro em desvitrificação, o carbureto duro, boreto, carbureto de boro, e/ou materiais particulados de nitreto podem ser de 5 a 100 nm de tamanho, em outros casos, onde elevado esfriamento abaixo do normal pode ser obtido, a escala das fases de dureza pode ser de 400 a 1000 nm (isto é, 1 μm), e em outros casos onde o esfriamento abaixo do normal limitado pode ser realizado, a escala das fases de dureza pode ser de 1000 nm a 25.000 nm (isto é, 25 μm). Desse modo, em quase todos os casos a escala dos materiais

particulados duros pode ser mais fina do que aquelas obtidas nos materiais de revestimento duro convencionais, comercialmente disponíveis. A distribuição mais fina dos tamanhos de partículas duras pode impedir desgaste preferencial da matriz sob condições abrasivas.

Além de reduções na escala microestrutural, a fração de volume dos precipitados pode ser aumentada para níveis elevados o que pode geralmente não ser conseguido através das abordagens convencionais. Por exemplo, conforme pode ser mostrado pelos exemplos, várias frações de alto volume de precipitados de boreto, carbureto, e/ou carbureto de boro podem ser precipitadas durante soldagem na faixa de acima de 15% e de ao menos até 75% de fase dura. Nos pós de macrocompósito de revestimento duro PTA convencionais, embora qualquer relação de metal duro/aglutinante possa ser facilmente misturada, geralmente apenas até 65% de metal duro podem ser usados devido a problemas com umedecimento incompleto e fragilidade. Em arame de núcleo, devido às restrições de volume, fases menos duras podem ser incorporadas no meio do núcleo de arame de metal. Por exemplo, comumente 35%, 40%, e 45% são as relações de enchimento máximas na composição de arame de núcleo de metal na faixa de 0,0254 centímetro a 1,27 centímetros, incluindo todos os valores e incrementos na mesma tal como 0,114 centímetro, 0,159 centímetro, e 0,278 centímetro respectivamente.

As ligas podem ser utilizadas em taxas de soldagem superiores (isto é, soldagem de alimentação de arame de polegadas por minuto (IPM) ou libras por hora (libras/hora) em sistemas de alimentação de pó). Nos materiais de

cobertura de solda de macrocompósito convencional, taxas superiores de deposição podem precisar de admissão de calor superior o que pode causar problemas uma vez que os materiais particulados duros que são adicionadas na mistura compósita podem frequentemente se decompor, dissolver completamente ou parcialmente, e/ou causar precipitação secundária das fases inferiores as quais ou são mais frágeis, ou mais macias. Nas formulações de liga atualmente consideradas, as partículas duras podem se formar durante a solidificação e, portanto, esses aspectos podem não causar problemas.

Quando aplicadas a um substrato, as ligas podem exibir valores de dureza superiores a aproximadamente 64 Rc e todos os valores e faixas superiores a 64 Rc. A dureza máxima da liga pode ocorrer dentro de 250 micrômetros da superfície de metal de base. Além disso, utilizar uma composição exemplar de 44,2 a 55,4% at. de um metal de base, 20,2 a 39,3% at. de ao menos um elemento intersticial, 13,3 a 20,5% at. de ao menos um metal de transição; e 3,2 a 4,4% at. de nióbio, uma dureza superior a aproximadamente Rc 68 pode ser obtida. Além disso, quando aplicadas em um substrato as ligas podem exibir resistência ao desgaste conforme medido pelo Procedimento A da ASTM G65 (6.000 ciclos) tendo uma perda de massa inferior a 0,20 g, incluindo todos os valores e incrementos tal como 0,1, 0,08, etc. Uma vez mais, utilizando uma composição exemplar de 44,2 a 55,4% at. de um metal de base, 20,2 a 39,3% at. de ao menos um elemento intersticial, 13,3 a 20,5% at. de ao menos um metal de transição e 3,2 a 4,4% at. de nióbio uma resistência ao desgaste inferior a 0,08 g pode ser

obtida. Adicionalmente, conforme mencionado acima, as ligas podem incluir uma matriz dúctil consistindo em fases de α -Fe e/ou γ -Fe incluindo fases de boretos complexos (isto é, M_2B e M_3B , em que M pode ser um metal de transição presente na composição de liga), carburetos complexos (M_1C_1 e $M_{23}C_6$, em que M pode ser um metal de transição presente na composição de liga) e/ou carbureto de boros. Modalidades exemplares das propriedades de desgaste e dureza de liga são descritas adicionalmente abaixo.

10 **Dureza da Cobertura de Solda**

A dureza das coberturas de solda das ligas mostradas na Figura 1 foi medida com Rockwell C. Nas Tabelas 2, 3, 4 e 5, a dureza é mostrada das coberturas de solda de passagem única e de passagem dupla as quais foram soldadas utilizando GMAW. Observar que a dureza da LIGA 5 é mostrada em depósitos de revestimento duro feitos de arames de três diferentes diâmetros; 0,159 centímetro, 0,114 centímetro, e 0,278 centímetro. Além disso, observar que os dados de cobertura de solda de 0,278 centímetro são para amostras soldadas na condição de arco aberto (isto é, nenhum gás de cobertura). Nas Tabelas 6 e 7, as durezas das coberturas de solda PTAW de passagem única e de passagem dupla são mostradas. Conforme pode ser visto, todas as ligas mostradas com as exceções da LIGA 9 a qual era muito macia e LIGA 1 a qual era muito frágil para obter leituras precisas, exibiram dureza elevada superior a 64 Rc. Além disso, uma grande fração dessas ligas obteve uma dureza superior a Rc 68 enquanto que poucas ligas incluindo a LIGA 6, LIGA 2, LIGA 3, e LIGA 5 excederam Rc 70.

30 Além disso, observar que as elevadas durezas obtidas

como delineado nessas tabelas foram obtidas não apenas nas amostras de passagem dupla, mas também nas amostras de passagem única, independente do efeito da diluição. Em materiais de cobertura de solda convencionais, frequentemente elevada dureza e resistência ao desgaste podem não ser obtidas até que pelo menos a segunda ou terceira camada de cobertura, a qual pode ser devido aos efeitos de diluição a partir do material de substrato de base o qual é soldado. Observar que para todas as amostras nas Tabelas 2 a 7, a soldagem foi realizada em aço A36 "em bruto" de modo que pouca ou nenhuma adição é captada pela soldagem. A dureza de passagem única elevada nas ligas pode não ser porque a diluição pode não ocorrer, mas em vez disso porque as ligas são "ligadas acima do normal", isto é, as ligas consideram que a diluição pode ocorrer e as ligas podem ser ajustadas conformemente, permitindo que dureza máxima seja obtida.

Tabela 2 - Dureza de Passagem Única das Coberturas de Solda

GMAW

Dureza (Re)	LIGA 2	LIGA 3	LIGA 5 (0,159 cm)	LIGA 5 (0,114 cm)	LIGA 5 (0,278 cm)
ponto n°1	67,6	73,0	72,1	70,0	72,2
ponto n°2	69,7	72,0	70,8	69,0	72,6
ponto n°3	67,5	72,8	70,3	70,0	72,1
ponto n°4	70,7	72,9	70,7	70,0	72,2
ponto n°5	71,1	72,6	71,5	70,0	71,3
ponto n°6	71,3	72,0	72,0	70,0	71,9
ponto n°7	68,5	72,6	72,5	70,0	72,8
ponto n°8	70,0	72,8	70,7	70,0	71,9
ponto n°9	71,6	72,0	71,3	69,0	72
ponto n°10	71,8	72,8	72,3	69,0	71,5

Média	70,0	72,6	71,4	69,7	72,05

Tabela 3 - Dureza de Passagem Dupla de Coberturas de Solda**GMAW**

Dureza (Re)	LIGA 2	LIGA 3	LIGA 5 (0,159 cm)	LIGA 5 (0,114 cm)	LIGA 5 (0,278 cm)
ponto n°1	66,4	73,5	72,0	70,5	72,4
ponto n°2	70,2	74,3	70,7	72,1	71,9
ponto n°3	65,3	73,2	71,0	71,5	70,4
ponto n°4	66,9	73,7	71,9	71,8	71,5
ponto n°5	67,1	72,7	71,4	71,7	71,7
ponto n°6		74,8	70,9	69,7	72,1
ponto n°7		73,0	70,9	72,5	
ponto n°8		70,5	71,6	71,7	
ponto n°9		71,4	71,9	71,2	
ponto n°10		73,5	71,8	70,8	
Média	67,2	73,1	71,4	71,4	71,7

Tabela 4 - Dureza de Passagem Única de Coberturas de Solda**GMAW**

Dureza (Re)	LIGA 6	LIGA 7	LIGA 8	LIGA 9	LIGA 1
ponto n°1	69,6	66,0	63,0	59,0	frágil
ponto n°2	69,8	66,0	65,0	60,0	
ponto n°3	69,2	68,0	64,0	58,0	
ponto n°4	69,2	68,0	66,0	56,0	
ponto n°5	69,2	68,0	66,0	57,0	
ponto n°6	68,5	69,0	64,0		
ponto n°7	69,6				
ponto n°8	69,2				
ponto n°9	69,6				
ponto n°10	70,6				

Média	69,5	67,5	64,7	58,0	Frágil
-------	------	------	------	------	--------

Tabela 5 - Dureza de Passagem Dupla de Coberturas de Solda**GMAW**

Dureza (Re)	LIGA 6	LIGA 7	LIGA 8	LIGA 9	LIGA 1
Ponto n°1	71,0	67,0	63,0	63,3	Frágil
Ponto n°2	71,1	68,0	67,0	61,8	
ponto n°3	71,6	66,0	66,0	64,4	
ponto n°4	70,6	68,0	66,0	60,9	
ponto n°5	70,7	66,0	65,0	62,4	
ponto n°6	70,8	69,0	66,0	62,7	
ponto n°7	72,0			62,6	
ponto n°8	71,7			61,1	
ponto n°9	71,8			62,1	
Ponto n°10	71,8			63,8	
Média	71,3	67,3	65,5	62,5	Frágil

Tabela 6 - Dureza de Passagem Única de Coberturas de Solda**PTAW**

Dureza (Re)	LIGA 5	LIGA 6	LIGA 4
Ponto n°1	64,9	60	72,8
Ponto n°2	65,8	63,3	73,3
Ponto n°3	66,3	61	72,8
Ponto n°4	64	66	73
Ponto n°5	63,9	62,3	73
Ponto n°6	64,2	65,9	73,2
Ponto n°7	65,6	67,8	72,9
Ponto n°8	62,8	64,7	73,2
Ponto n°9	62,6	68,2	73,3
Ponto n°10	62,5	66,2	72,9
Média	64,3	64,5	73,0

Tabela 7 - Dureza de Passagem Dupla de Coberturas de Solda

PTAW			
Dureza (Re)	LIGA 5	LIGA 6	LIGA 4
Ponto n°1	60,0	63,5	70,3
Ponto n°2	63,3	63,7	71,5
Ponto n°3	61,0	64,1	73,5
Ponto n°4	66,0	62,2	73,4
Ponto n°5	62,3	64,1	73,8
Ponto n°6	65,9	66,2	73,5
Ponto n°7	67,8	66,2	73,8
Ponto n°8	64,7	67,7	73,5
Ponto n°9	68,2	66,8	73,6
Ponto n°10	66,2	66,6	74,0
Média	64,5	65,1	73,1

Resistência ao Desgaste da Cobertura de Solda

A resistência ao desgaste das coberturas de solda foi medida utilizando uma Máquina de Teste de Fricção e Desgaste Falex seguido pelo padrão da ASTM G65 de abrasão com a areia de roda de borracha de acordo com as condições do Procedimento A. Observar que o Procedimento A envolve teste por uma duração de 6000 ciclos. Após realizar o teste de Procedimento A da ASTM G65, outro teste subsequente de Procedimento A foi realizado diretamente na escoriação de desgaste do primeiro teste. Nas Tabelas 8 e 9, os resultados de perda de massa da ASTM G65 selecionados são mostrados para as amostras de sobreposição de solda PTAW de passagem única e de passagem dupla GMAW, respectivamente. Observar que as perdas de massa medidas eram indicativas de taxas de desgaste muito elevadas com todas as amostras

mostrando perdas de massa que estavam abaixo de 0,20 g. Em casos específicos, incluindo as ligas LIGA 3, LIGA 4, LIGA 5, LIGA 6 as perdas de massa medidas estavam abaixo de 0,18 g que corresponde a taxas de desgaste extremamente baixas.

5 **Tabela 8 - Perda de Massa do Procedimento A da ASTM G65 em Coberturas GMAW**

	LIGA 3	LIGA 5	LIGA 6	LIGA 9
ASTMG65	Soldas de Passagem Única - perda de massa (g)			
1°s 6.000 ciclos	0,054	0,062	0,090	0,0887
2°s 6.000 ciclos	0,047	0,047	0,083	0,0895
	Soldas de Passagem Dupla - perda de massa (g)			
ASTMG65	LIGA 3	LIGA 5	LIGA 6	LIGA 9
1°s 6.000 ciclos	0,056	0,046	0,072	0,102
2°s 6.000 ciclos	0,039	0,069	0,071	0,067

Tabela 9 - Perda de Massa do Procedimento A da ASTM G65 em

Coberturas PTAW

	LIGA 5	LIGA 6	LIGA 4
ASTMG65	Soldas de Passagem Única - perda de massa (g)		
1°s 6.000 ciclos	0,067	0,079	0,084
2°s 6.000 ciclos	0,054	0,066	0,078
	Soldas de Passagem Dupla - perda de massa (g)		
ASTMG65	LIGA 5	LIGA 6	LIGA 4
1°s 6.000 ciclos	0,086	0,082	0,071
2°s 6.000 ciclos	0,052	0,074	0,058

EXEMPLOS

10 Os exemplos a seguir são providos para fins de informação e não devem ser considerados como limitando o

escopo da presente invenção ou das reivindicações anexas, abaixo.

Exemplo n°1: Cobertura de Solda PTA

A LIGA 5 foi atomizada com gás inerte utilizando argônio pra produzir um pó com uma distribuição de 1 a 250 μm com um tamanho médio (d50) de 92,5 μm . Na Figura 3, varreduras DTA são mostradas de dois tamanhos diferentes de pó, 15 a 53 μm e 53 a 250 μm . Em ambos os casos, picos de vidro/cristalino foram encontrados mostrando que os pós iniciais eram pelo menos parcialmente amorfos (isto é, continham vidro metálico). O pó foi peneirado em vários tamanhos diferentes, mas selecionados decrescentemente para produzir um pó de insumo de 53 a 150 μm apropriado para soldagem PTAW. O pó de insumo foi soldado plasma a arco transferido para formar depósitos de revestimento duro, de passagem única, em aço A36 utilizando um sistema de solda PTA GAP 375 Eutética. O pó foi soldado em duas diferentes taxas de depósito de 1,59 e 8,16 quilogramas/hora. A dureza Rockwell C e a resistência ao desgaste de roda de borracha de areia seca ASTM G65 (Procedimento A) dos depósitos foram medidas e são mostradas na Tabela 10. Conforme mostrado, dureza muito elevada (\approx Rc 70) e taxas de desgaste muito baixas (perda de massa de \approx 0,05-0,07 g) foram obtidas.

Tabela 10 - Dureza/Resistência ao Desgaste da Cobertura de Solda PTAW da LIGA 5

Liga	Libras/Hora	Dureza Rc média	ASTM G65 1°s 6.000 ciclos perda de massa (g)	ASTM G65 2°s 6.000 ciclos perda de massa (g)

LIGA 5	3,5	69,9	0,0673	0,0543
LIGA 5	18,0	70,7	0,0550	0,0502

A microestrutura dos depósitos de cobertura de solda foi analisada utilizando difração de Raio-X para identificar principalmente as fases presentes mediante uso de elétrons retroespalhados no SEM para mostrar principalmente o tamanho e a distribuição das fases presentes. Os diagramas de difração de Raio-X foram analisados adicionalmente utilizando análise Rietveld para identificar as fases presentes. Nas Figuras 4a e 4b padrões de difração de Raio-X experimentais exemplares (a) e refinados de Rietveld para uma cobertura de solda PTAW de LIGA 5 depositados a 1,59 quilogramas/hora são mostrados. Nas Figuras 5a e 5b padrões de difração de Raio-X experimentais exemplares (a) e refinados de Rietveld (b) da cobertura de solda PTAW de LIGA 5 depositados a 8,16 quilogramas/hora são mostrados. Na Tabela 11, as fases e os parâmetros de treliça identificados são mostrados para ambas as amostras de 1,59 e 8,16 quilogramas/hora. Observar que para ambas as amostras, as mesmas fases foram encontradas, mas com diferentes parâmetros de treliça. Os resultados mostram que uma faixa de boretos complexos (isto é, M_2B e M_3B) e carburetos complexos (isto é, M_1C_1 e $M_{23}C_6$) existiam em uma matriz dúctil consistindo em ambas as fases α -Fe e γ -Fe.

Tabela 11 - Parâmetros de Treliça/Grupo de Espaço/Fases

25

Identificadas para PTAW de LIGA 5

Fase Identificada	Grupo de Espaço	Parâmetro de Treliça de Amostra de 1,59 kg/hora (\AA)	Parâmetro de Treliça de Amostra de 8,16 kg/hora (\AA)
alfa-Fe	Im-3m	a = 2,870	a = 2,875

gama-Fe	Fm-3m	a = 3,596	a = 3,600
M ₂ B	I4/mcm	a = 5,141 c = 4.206	a = 5,139 c = 4,237
M ₃ B	1-4	a = 8,593 c = 4,343	a = 8,601 c = 4,348
M ₁ C ₁	Fm3m	a = 4,451	a = 4,456
M ₂₃ C ₆	Fm-3m	a = 10,221	a = 10,227

Micrografias via elétrons retroespalhados SEM são mostradas para as amostras PTAW de LIGA 5 de 1,59 e 8,16 quilogramas/hora nas Figuras 6a, 6b, 7a e 7b. As Figuras 6a e 6b ilustram micrografias via elétrons retroespalhados SEM de uma amostra PTAW de LIGA 5 a qual foi soldada a 1,59 quilogramas/hora em a) baixa ampliação e b) elevada ampliação. As Figuras 7a e 7b ilustram micrografias via elétrons retroespalhados SEM de uma amostra PTAW de LIGA 5 a qual foi soldada a 8,16 quilogramas/hora em a) baixa ampliação e b) elevada ampliação. Nessas figuras, uma gama de precipitados de carbureto e boreto podem ser encontradas as quais são de diversos formatos incluindo formato cúbico, formato tetragonal, e formato irregular. Observar que os estudos EDS, limitados, das várias fases formadas, indicam que muitas dessas fases contêm ambos: boro e carbono, indicando que mais propriamente do que boretos ou carburetos complexos distintos, elas podem ser consideradas fases de carbureto de boro complexo. A escala dessas fases de carbureto de boro varia mas tipicamente é considerada como estando em três classes de tamanho, fases de formato retangular primárias grandes de 2 a 10 μm de largura e de 10 a 60 μm de comprimento, de formato cúbico médio de 2 a 10 μm de tamanho, e precipitados secundários pequenos de 300 nm a 1000 nm de tamanho.

A escoriação de desgaste foi examinada após testes de desgaste ASTM G65 utilizando elétrons secundários. Elétrons secundários são úteis uma vez que eles podem ilustrar mudanças de altura na amostra. Nas Figuras 8a e 8b, imagens de elétrons secundários são mostradas em duas ampliações diferentes da superfície de escoriação de desgaste após teste de desgaste da ASTM G65 da amostra PTA de LIGA 5 de 1,59 quilogramas/hora. Conforme mostrado, no nível de microescala, nenhum desgaste preferencial das fases individuais pode ser encontrado, mas em vez disso se desenvolve uma escoriação de desgaste uniforme. Observar que a areia padrão no teste da ASTM G65 é AFS 50/70 que é uma areia grossa com tamanho de 212 a 300 μm . Como as fases de boreto duro, carbureto, e carbureto de boro encontradas na amostra PTA de LIGA 5 são muito mais finas do que a escala de comprimento da areia de teste, desgaste preferencial da matriz mais macia (isto é, $\alpha\text{-Fe}$ e $\gamma\text{-Fe}$) pode não ocorrer.

Exemplo nº2: Cobertura de Solda GMAW

A LIGA 5 foi produzida como um arame de núcleo de metal contínuo de 0,159 centímetro de diâmetro (1,6 mm) que pode ser um insumo apropriado para revestimento duro. O arame de núcleo de LIGA 5 foi depositado como uma cobertura de revestimento duro sobre substratos A36 utilizando sistemas de soldagem Miller Delta-Fab MIG. O revestimento duro foi depositado sobre uma ampla faixa de parâmetros, mas para os resultados nesse exemplo os parâmetros que foram usados são mostrados na Tabela 12. Na Figura 9, uma imagem de uma chapa de desgaste de cobertura de solda GMAW de duas passagens (dimensões externas de 20,32 cm por 20,32

cm) da LIGA 5 é mostrada.

Tabela 12 - Parâmetros de Solda para GMAW de LIGA 5

Atual	DCRP
Volts	23
Alimentação de Arame	Arame 250 ipm
Gás de proteção	75%de Ar-25% de CO ₂
Stickout	1,27 cm

A dureza das amostras de cobertura de solda GMAW de passagem única e de passagem dupla da LIGA 5 foi medida utilizando Rockwell C e os resultados são resumidos na Tabela 13. Conforme mostrado, dureza muito elevada foi obtida com a média estando acima de RC 71. Nas Figuras 10a e 10b são mostradas imagens das amostras GMAW de LIGA 5 de a) 1 passagem e b) 2 passagens e os resultados dos testes de desgaste são mostrados após o Procedimento A da ASTM G65 na Tabela 14. Observar que adicionalmente, uma segunda medição de 6.000 ciclos foi realizada na escoriação de desgaste da primeira medição. Conforme mostrado, taxas de desgaste muito baixas foram obtidas com as perdas de massa encontradas a partir de 0,05 a 0,07 g.

Tabela 13 - Dureza Rc nas Amostras de Cobertura de Solda de LIGA 5

Dureza Rc	LIGA 5 (1-passagem)	LIGA 5 (2-passagens)
Ponto 1	72,1	72,0
Ponto 2	70,8	70,7
Ponto 3	70,3	71,0
Ponto 4	70,7	71,9
Ponto 5	71,5	71,4
Ponto 6	72,0	70,9
Ponto 7	72,5	70,9

Ponto 8	70,7	71,6
Ponto 9	71,3	71,9
Ponto 10	72,3	71,8
Média	71,4	71,4

**Tabela 14 - Resultados de Desgaste do Procedimento A da
ASTM G65 de LIGA 5**

Amostra	Procedimento A da ASTM G-65 perda de massa (g)	
	1ºs 6.000 ciclos	2ºs 6.000 ciclos
GMAW de LIGA 5 1 passagem	0,06	0,05
GMAW de LIGA 5 2 passagens	0,05	0,07

A microestrutura dos depósitos de cobertura de solda foi analisada utilizando difração de Raio-X para identificar as fases presentes e mediante uso de elétrons retroespalhados na SEM para mostrar o tamanho e a distribuição das fases presentes. Os diagramas de difração de raio-X foram analisados adicionalmente utilizando análise de Rietveld para identificar as fases presentes. Na Figura 11a um diagrama de difração de raio-X é mostrado da amostra GMAW de passagem dupla de LIGA 5. Após refinamento de Rietveld na Figura 11b, as fases foram identificadas na liga e são mostradas na Tabela 15. Os resultados mostram que uma faixa de boretos complexos (isto é, M_2B) e carburetos complexos (M_1C_1 e $M_{23}C_6$) existe em uma matriz dúctil consistindo em ambas as fases, α -Fe e γ -Fe.

**Tabela 15 - Parâmetros de Treliça/Grupo de Espaço/Fases
Identificadas para GMAW de LIGA 5**

Fase Identificada	Grupo de Espaço	Parâmetro de Treliza (Å) de Amostra de 1,59 kg/hora
alfa-Fe	Im-3m	a = 2,880
gama-Fe	Fm-3m	a = 3,596
M ₂ B	I4/mcm	a = 5,002 c = 4,201
M1C1	Fm3m	a = 4,461
M ₂₃ C ₆	Fm-3m	a = 10,850

Micrografias via elétrons retroespalhados SEM são mostradas em uma faixa de ampliação para as amostras GMAW de LIGA 5 nas Figuras 12a, 12b, 12c e 12d. Nessas figuras, vários precipitados de carbureto e boreto podem ser encontrados que são de vários formatos incluindo formato cúbico, tetragonal, e irregular. Observar que os estudos EDS, limitados das várias fases formadas indicam que muitas dessas fases contêm ambos, boro e carbono, indicando que mais propriamente do que boretos ou carburetos complexos distintos, elas podem ser mais bem consideradas como fases de carbureto de boro complexo. A escala dessas fases de carbureto de boro varia mas tipicamente é considerada como estando em três classes de tamanho, fases de formato retangular grande primário de 5 a 20 µm de largura e de 50 a 175 µm de comprimento, formato cúbico médio de 10 a 20 µm de tamanho; e precipitados pequenos secundários de 500 nm a 1,5 µm de tamanho.

Exemplo nº3 - Cobertura de Solda GMAW - Efeitos de Diluição

Duas ligas, LIGA 5 e LIGA 6, foram soldadas GMAW separadamente em substratos de aço A36. Os parâmetros de solda são mostrados na Tabela 12. As amostras de cobertura

de solda foram cortadas e montadas em seção transversal. Medições de microdureza Vickers (HV300) foram realizadas em intervalos regulares em uma linha a partir de dentro do metal de base e então ascendente através da massa da cobertura de solda. Os resultados dos cursos de microdureza são mostrados na Tabela 16. O metal de base A36 é macio com dureza média de ≈ 215 enquanto que as coberturas de solda são muito mais duras com dureza tipicamente de 940 a 1330. Conforme mostrado pelos dados na tabela, a dureza da cobertura de solda é obtida em 1 ou 2 medições de dureza afastado da camada de diluição.

Nas Figuras 13 e 14, micrografias de elétrons retroespalhados SEM exemplares são mostradas da LIGA 5 e da LIGA 6 respectivamente na interface da cobertura de solda/metal de base e então ascendente para a cobertura de solda. Observar que a diferença nas leituras de dureza pode facilmente ser discernida do tamanho do entalhe de dureza e os pontos individuais estão localizados a partir do número de ponto na Tabela 16. No caso de passagem única da LIGA 5, pode ser visto que a elevada dureza é obtida em 41 micrômetros a partir da interface do metal de base. Observar que Rc 68 é aproximadamente equivalente a HV300 de 940 de modo que esse pode ser considerado um ponto de dureza muito elevado no metal de cobertura de solda. Nas soldas de passagem dupla, da LIGA 6, o espaçamento de ponto de microdureza era maior, mas é evidente que a elevada dureza foi obtida no ponto de 210 μm afastado da interface de metal de base, mas uma vez que a microestrutura parece similar na faixa de distância a partir de 41 a 210 μm , é muito provável que a elevada

dureza tenha sido obtida de uma forma similar para a amostra de LIGA 5, isto é, antes do ponto de 210 μm .

Tabela 16 - Microdureza de Vickers em Coberturas de Solda

GMAW		
Dureza de Vickers (HV300 - kg/mm^2)	LIGA 5 (amostra de 1 passagem)	LIGA 6 (amostra de 2 passagens)
Material de Cobertura de Solda		
Ponto 17	1122	828
Ponto 16	1139	1162
Ponto 15	1159	945
Ponto 14	1082	940
Ponto 13	1153	1216
Ponto 12	1001	943
Ponto 11	1169	1326
Ponto 10	1070	1250
Ponto 9	1069	1008
Ponto 8	1098	953
Ponto 7	974	989
Ponto 6	224	866
Ponto 5	214	269
Ponto 4	214	219
Ponto 3	193	211
Ponto 2	201	217
Ponto 1	191	226
Metal de Base - Aço A36		

- 5 Com base nos parâmetros de solda GMAW, seria esperado que a camada de diluição do material de solda seria de aproximadamente 30%. Como a espessura de passagem única é de aproximadamente 0,381 cm, então a camada de diluição esperada deveria se estender até $\approx 1150 \mu\text{m}$. Desse modo,
- 10 enquanto a camada de diluição, a qual é controlada pela difusão não existe, as coberturas de solda foram projetadas

de modo que quando soldadas nos substratos de aço de base a diluição não diminuiria a dureza. Observar que esses resultados estão de acordo com os resultados de desgaste e de dureza de passagem única e de passagem dupla
5 apresentados para um grande número dessas ligas nas Tabelas 2 a 9. Em ligas GMAW convencionais, frequentemente 2, 3, ou mais passagens podem ser necessárias para se atingir a dureza máxima e resistência ao desgaste máximo, mas nas ligas apresentadas nessa revelação a dureza/desgaste,
10 máxima pode ser alcançada em uma camada.

A descrição anterior é provida para ilustrar e explicar a presente invenção. Contudo, a descrição acima não deve ser considerada como limitando o escopo da invenção apresentado nas reivindicações anexas.

REIVINDICAÇÕES

1. Método para revestimento duro de um substrato caracterizado por compreender as etapas de:

prover uma composição compreendendo de 35 a 65% at. de
5 um metal de base compreendendo ferro e manganês, de 10 a
50% at. de um elemento intersticial selecionado do grupo de
boro, carbono, silício ou combinações dos mesmos, de 3 a
30% at. de um metal de transição selecionado do grupo de
cromo, molibdênio, tungstênio e combinações dos mesmos, e
10 de 1 a 15% at. de nióbio; e

soldagem da dita composição sobre um substrato para
formar uma composição substancialmente vítrea contendo
fases de precipitado, em que a dita composição possui uma
temperatura de congelamento e resfriamento abaixo do normal
15 pela redução da temperatura da dita composição para abaixo
da dita temperatura de congelamento e manutenção da
composição na forma líquida;

em que quando a dita composição é aplicada ao dito
substrato a dita composição possui uma dureza de depósito
20 de solda maior que ou igual a 64 Rc e exibe uma dureza
máxima dentro de 250 micrômetros da superfície do
substrato, em que a dita composição forma uma matriz dúctil
de α -Fe e/ou γ -Fe incluindo fases de carburetos de boro e
possui frações de volume dos ditos precipitados de
25 carbureto de boro maior que 15% e até 75%, em que as ditas
fases de precipitado exibem um tamanho de grão na faixa de
400 nm a 25 μ m e em que as ditas fases de carbureto de boro
também estão presentes nas classes de tamanho compreendendo
um ou mais dos seguintes:

30 (a) fases retangulares de 5 μ m a 20 μ m de largura e 50

µm a 175 µm de comprimento;

(b) fases retangulares de 2 µm a 10 µm de largura e 10 µm a 60 µm de comprimento;

(c) fases cúbicas de 2 µm a 10 µm de tamanho; e

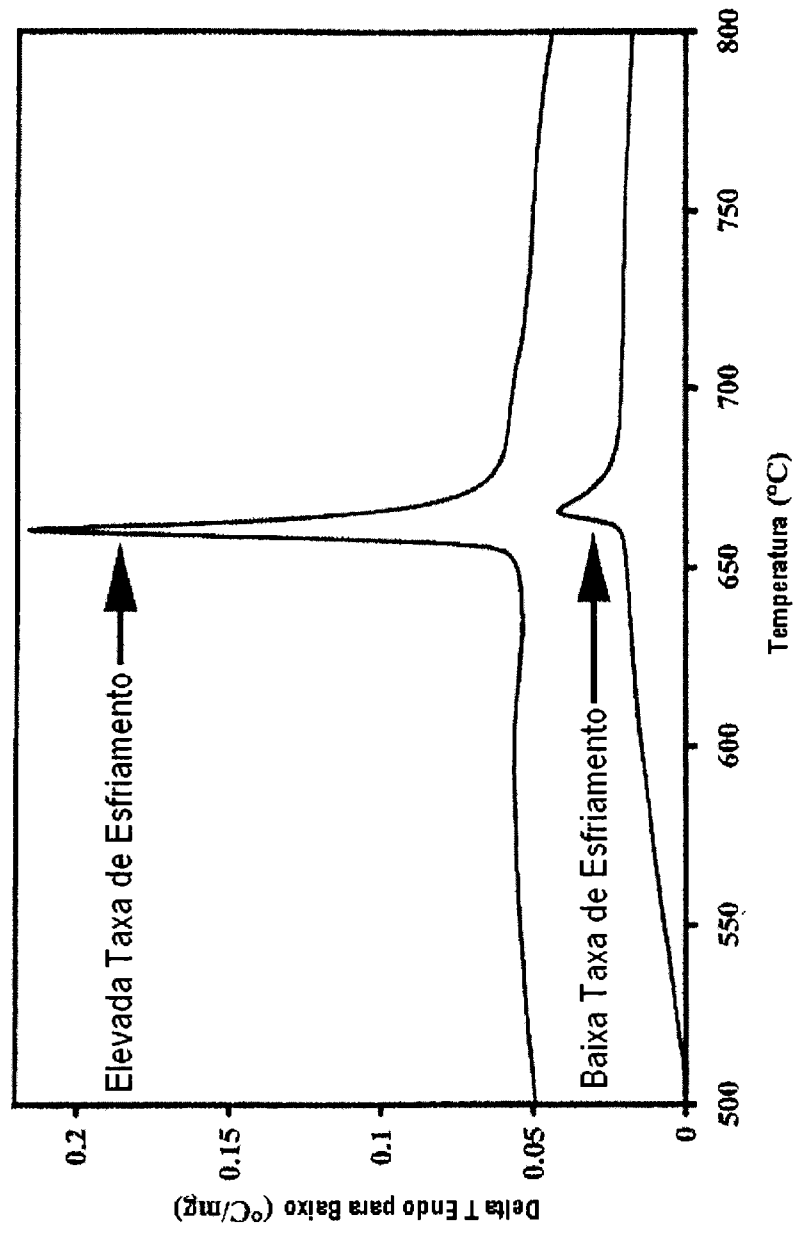
5 (d) fases cúbicas de 10 µm a 20 µm de tamanho.

2. Método, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por compreender ainda atomizar a dita composição e formar um pó, em que o dito pó possui um tamanho de partícula na faixa de 15 µm a 250 µm.

10 3. Método, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por compreender ainda formar a dita composição em um arame de núcleo tendo um diâmetro na faixa de 0,0254 a 1,27 centímetros.

15 4. Método, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por compreender ainda formar a dita composição em um eletrodo de bastão tendo um diâmetro na faixa de 0,0254 a 1,27 centímetros.

5. Método, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a dita soldagem compreende
20 ainda um processo selecionado do grupo que consiste em soldagem a laser, soldagem plasma de arco transferido (PTAW), soldagem por arco com gás de proteção (GMAW), soldagem a gás inerte de metal (MIG), soldagem a arco submerso, soldagem a arco aberto, soldagem a arco elétrico
25 com eletrodo revestido (SMAW), soldagem a bastão de metal e combinações das mesmas.

*FIG. 1*

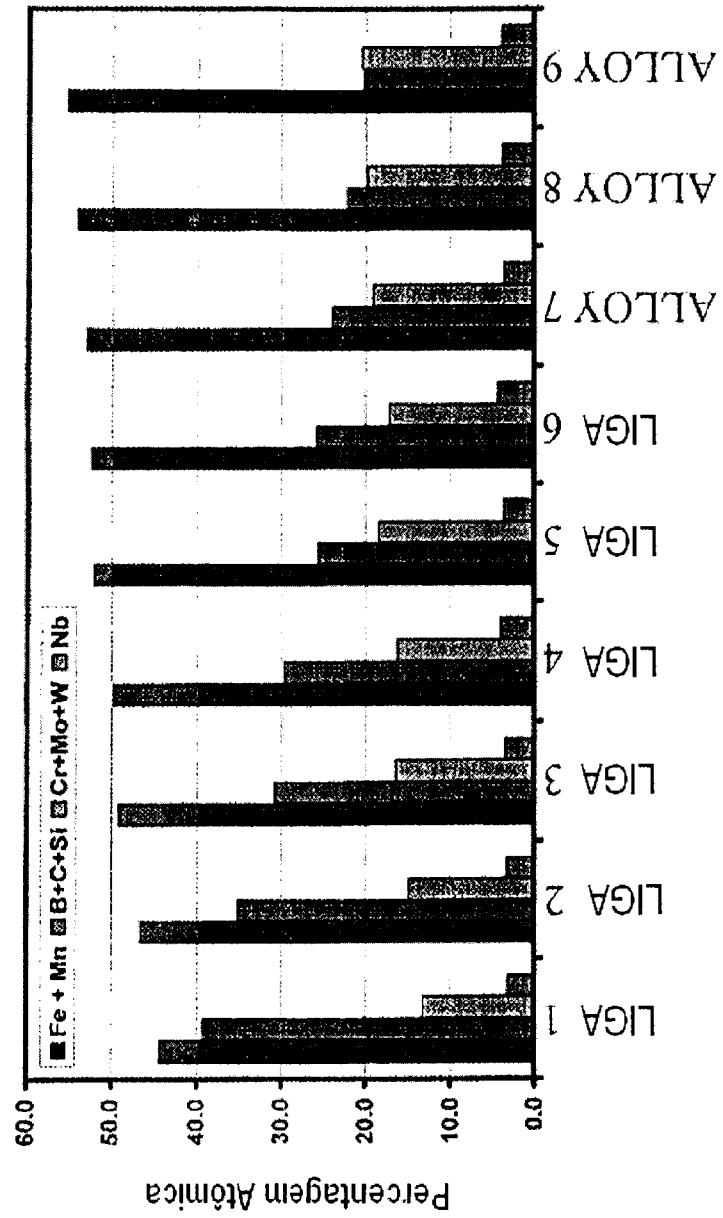


FIG. 2

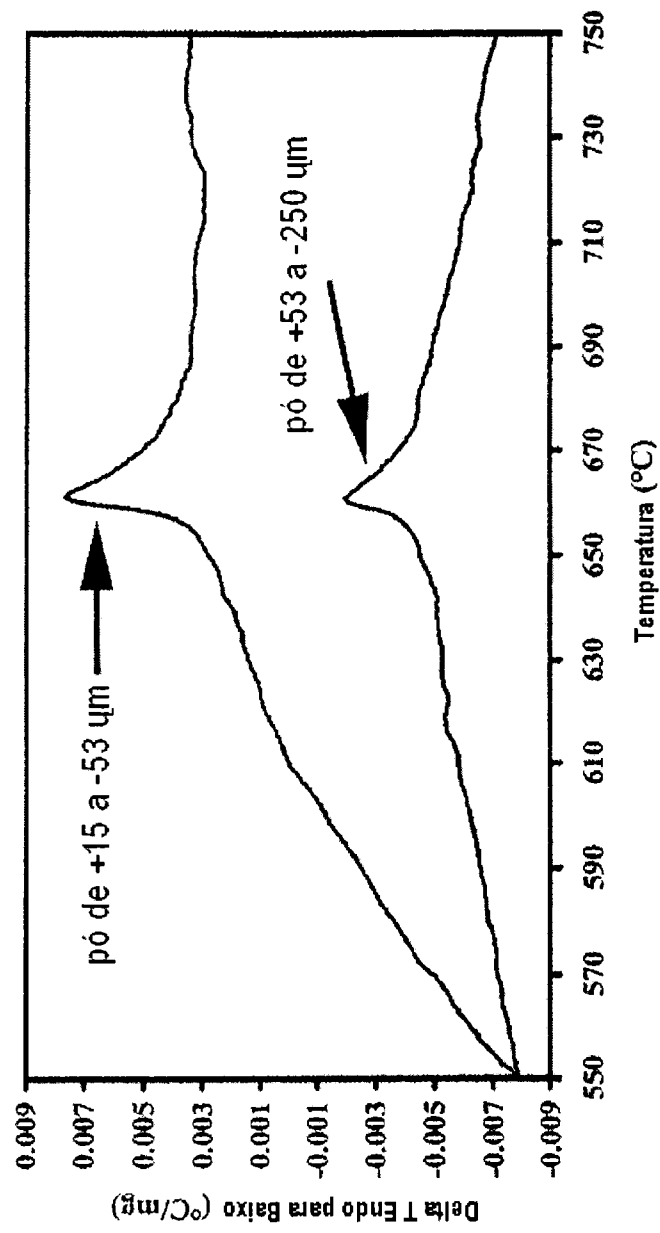
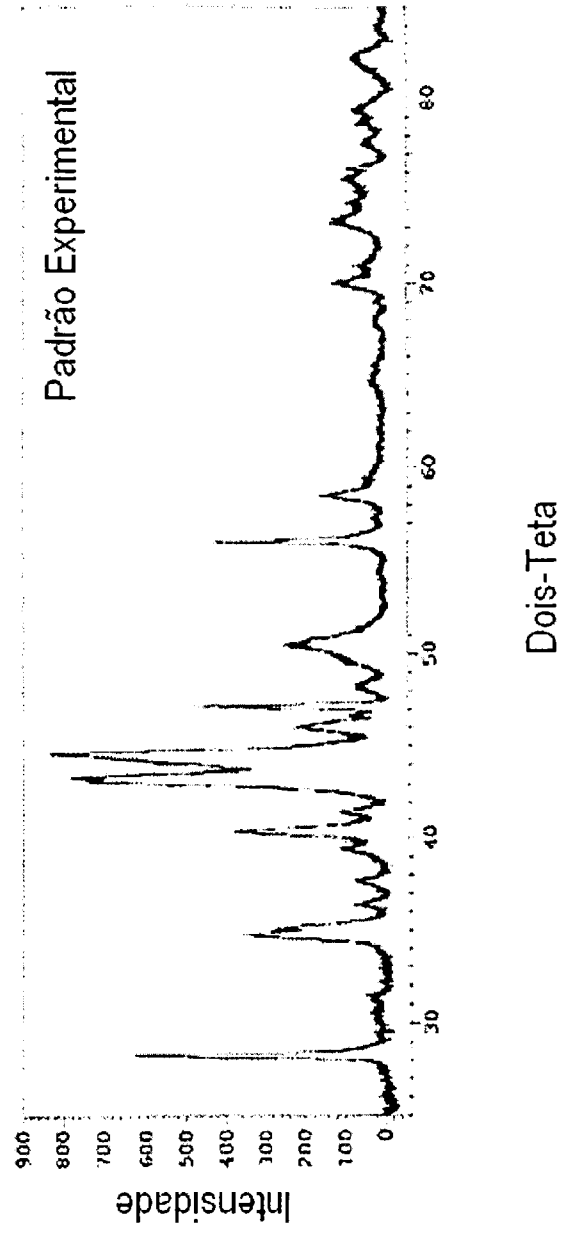
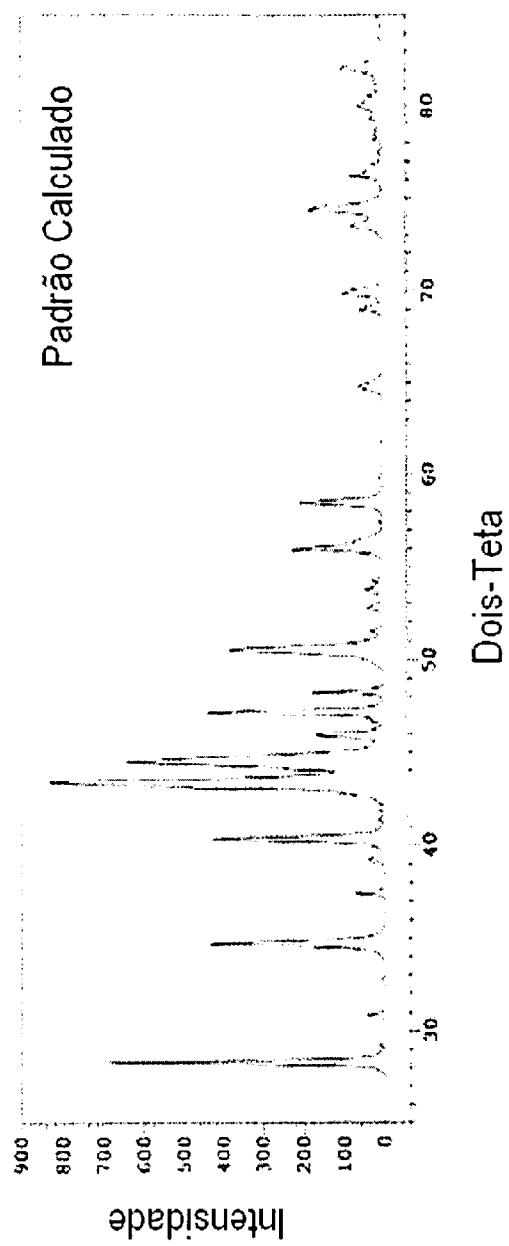
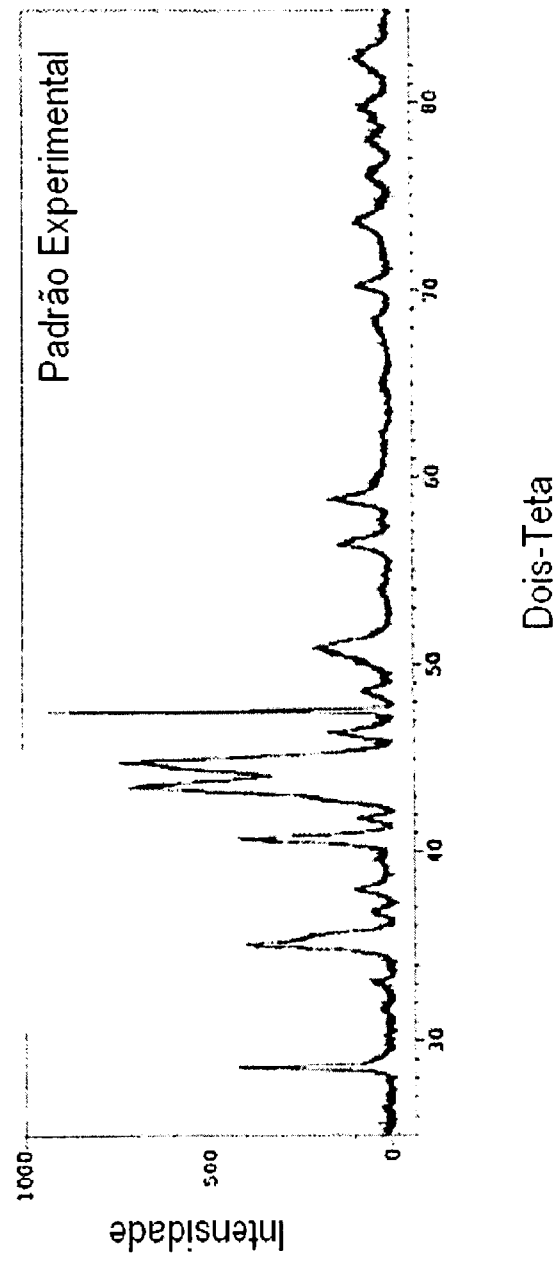
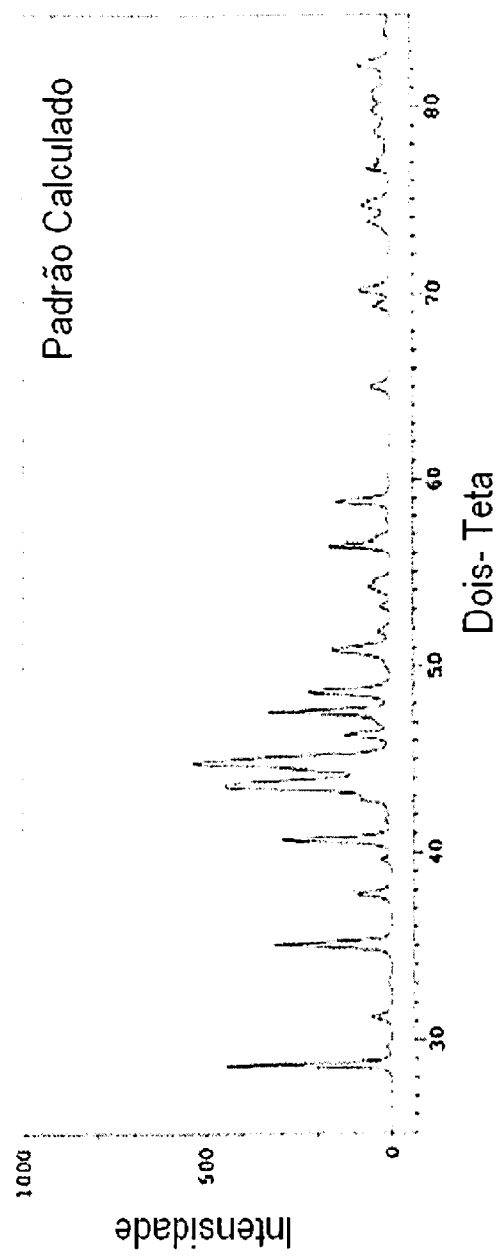


FIG. 3

*FIG. 4a*

**FIG. 4b**

*FIG. 5a*

*FIG. 5b*

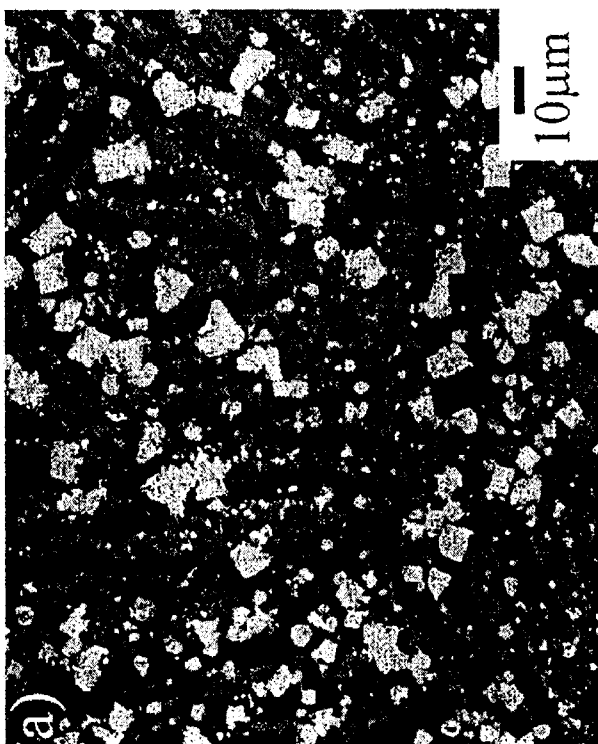


FIG. 6a

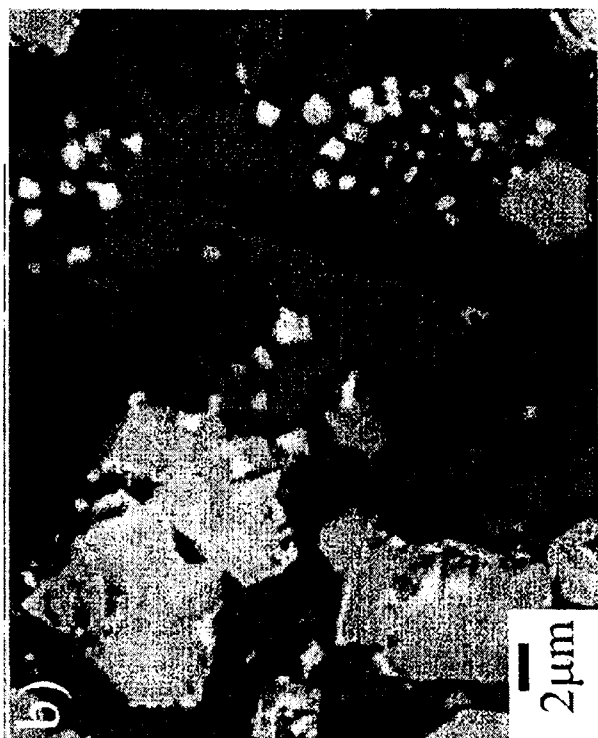


FIG. 6b

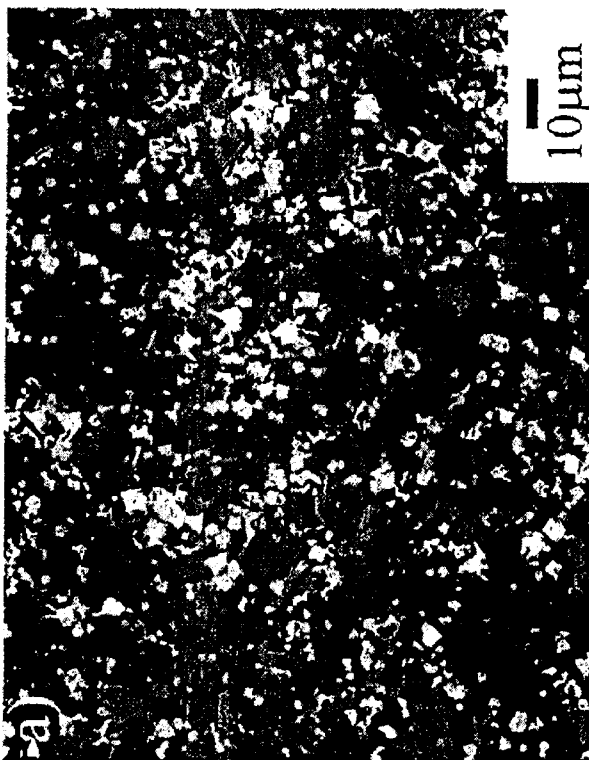


FIG. 7a

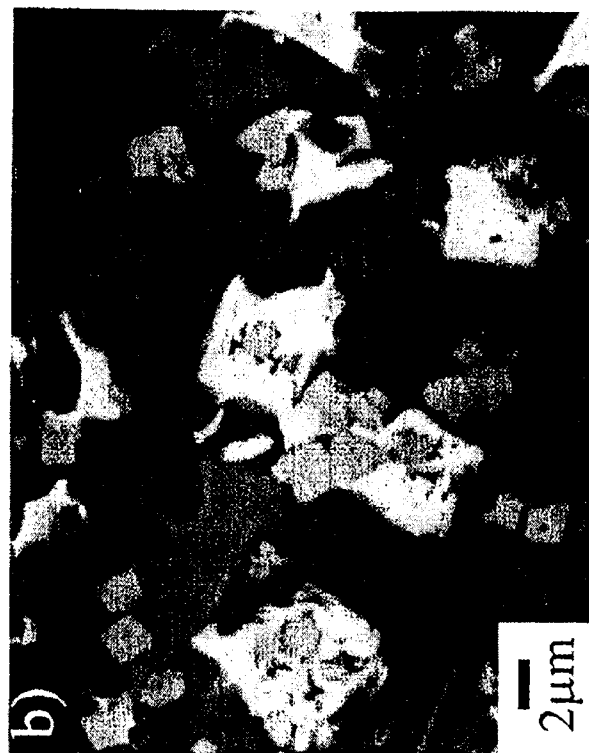


FIG. 7b

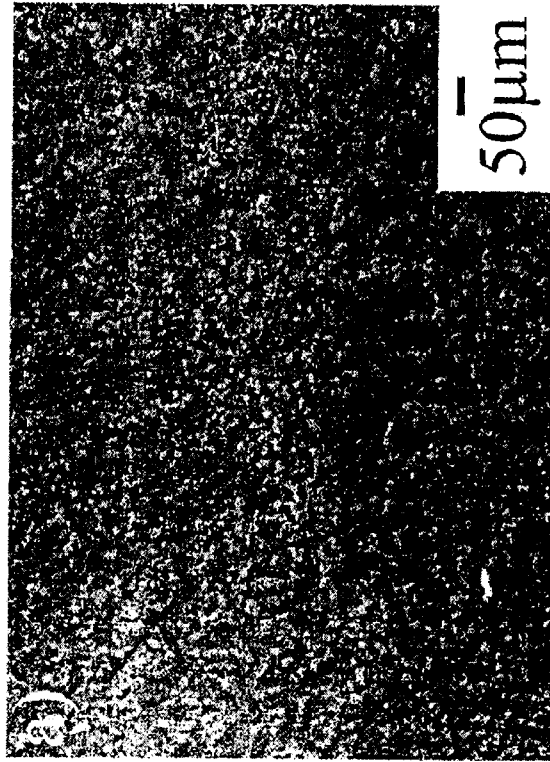


FIG. 8a



FIG. 8b

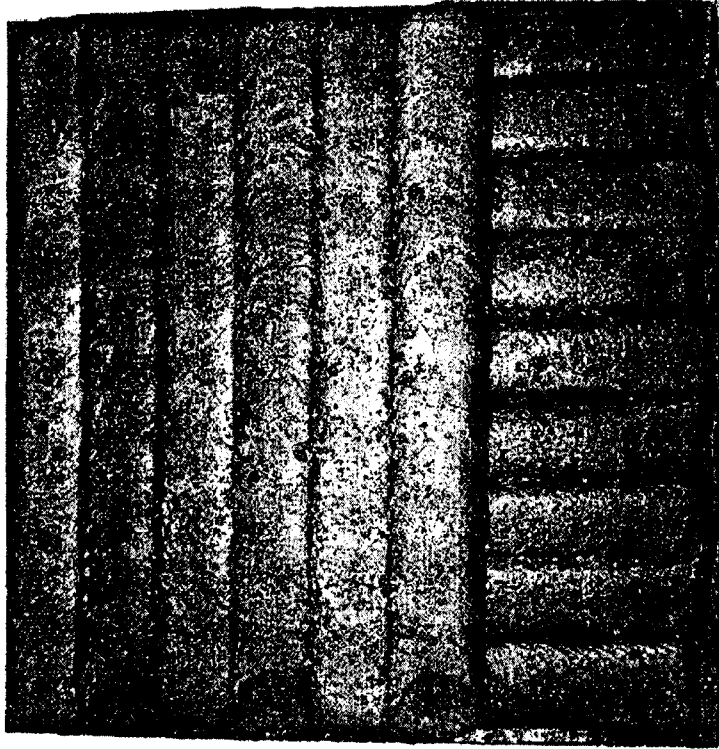


FIG. 9

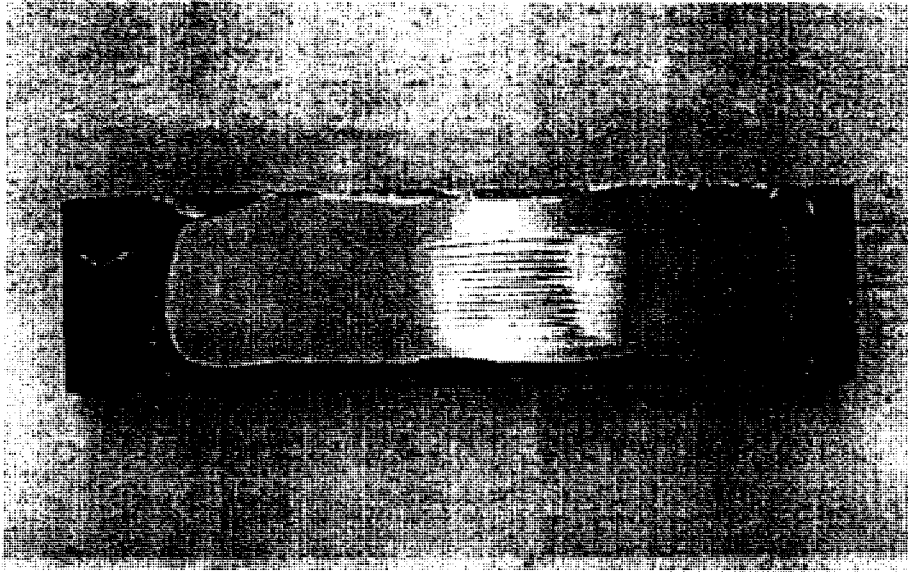


FIG. 10b

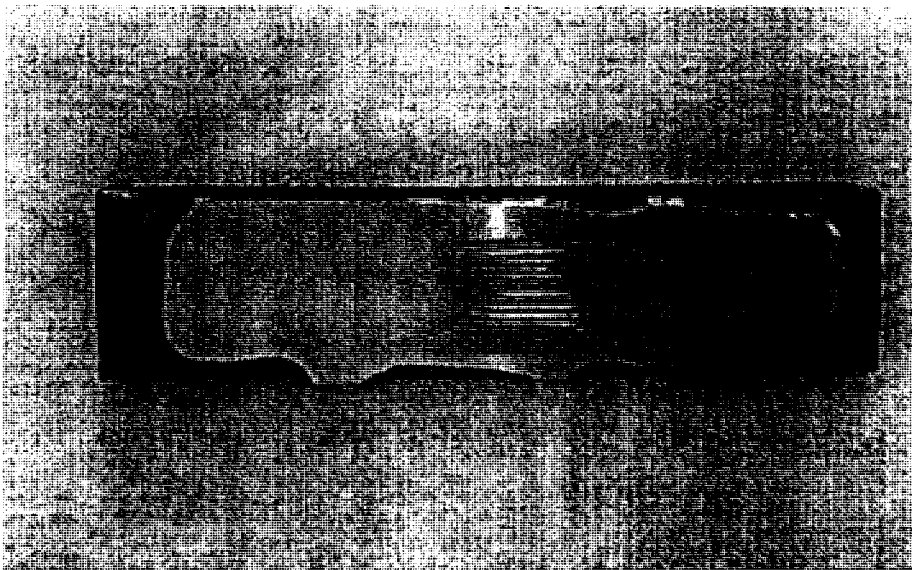
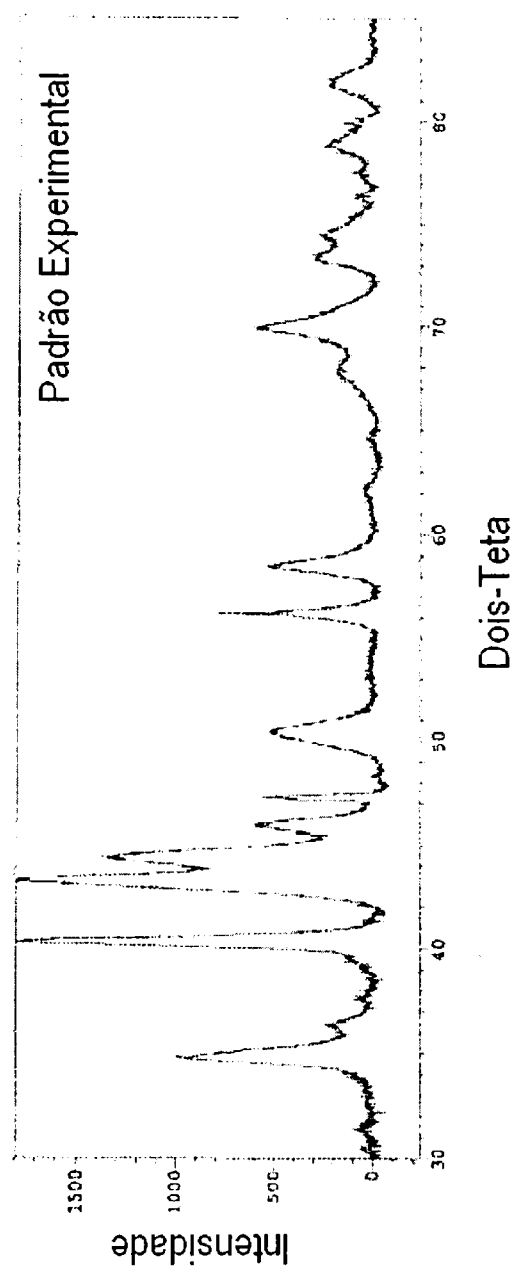


FIG. 10a

*FIG. 11a*

**FIG. 11b**



FIG. 12b



FIG. 12a



FIG. 12d



FIG. 12c

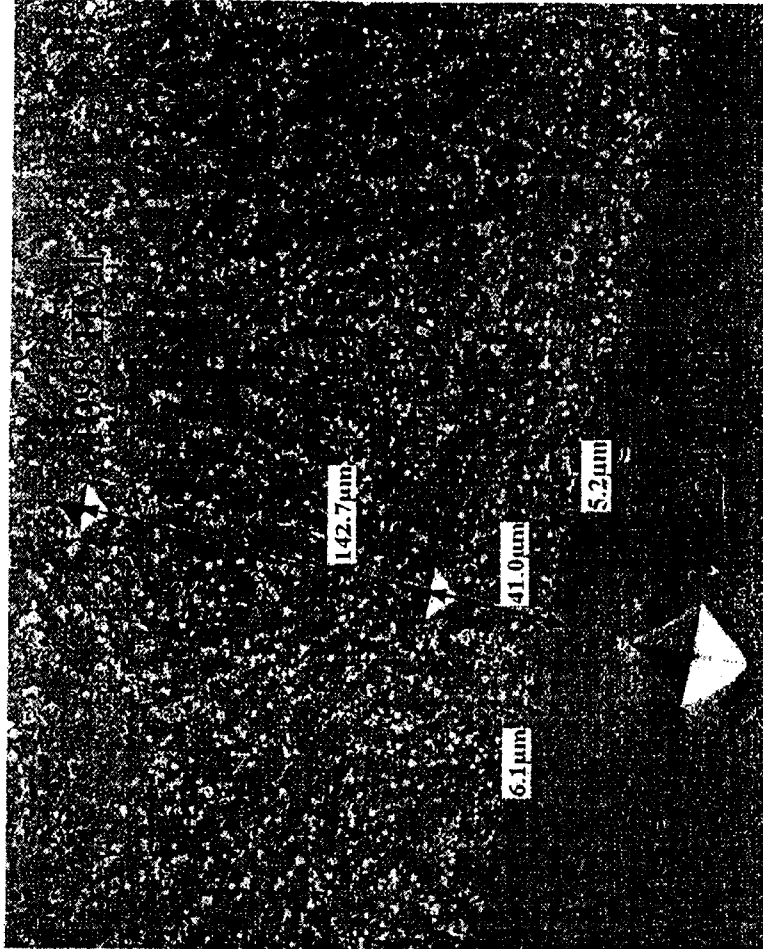


FIG. 13

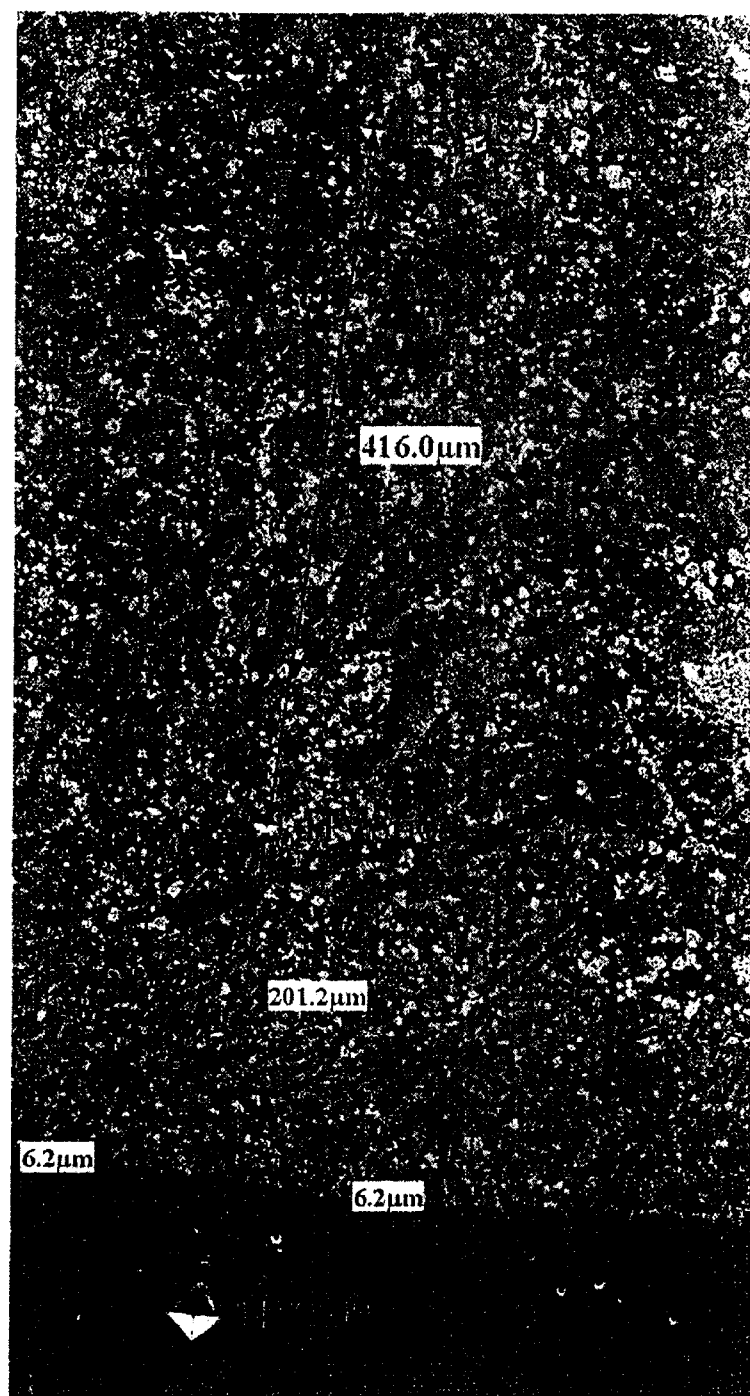


FIG. 14

RESUMO**MÉTODO PARA REVESTIMENTO DURO DE UM SUBSTRATO**

O presente pedido se refere às ligas de formação de vidro à base de ferro e à fabricação das mesmas, na forma de pó, arame de núcleo e eletrodo de bastão para produzir insumo para uma ampla variedade de técnicas de aplicação de revestimento duro de cobertura de solda. As ligas quando soldadas formam estruturas que são extremamente duras e correspondentemente extremamente resistentes ao desgaste. A abordagem novel dessas ligas permite a substituição de ligas de revestimento duro resistentes ao desgaste e de elevada dureza convencionais as quais são frequentemente materiais compósitos feitos de um aglutinante e partículas duras tais como carburetos, boretos, carbureto de boros, nitretos, etc.