



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

(11) PI 0518400-2 B1

(22) Data do Depósito: 02/12/2005

(45) Data de Concessão: 16/01/2018



(54) Título: MÉTODO DE PRODUÇÃO DE UM MATERIAL DE ARMAZENAMENTO DE HIDROGÊNIO, LIGA HIPOEUTÉTICA DE MAGNÉSIO-NÍQUEL E MATERIAL DE ARMAZENAMENTO DE HIDROGÊNIO FORMADO A PARTIR DE UMA LIGA DE MAGNÉSIO-NÍQUEL FUNDIDA

(51) Int.Cl.: C22C 23/00; C22C 1/02

(30) Prioridade Unionista: 07/12/2004 AU 2004907006

(73) Titular(es): HYDREXIA PTY LIMITED

(72) Inventor(es): ARNE KRISTIAN DAHLE; KAZUHIRO NOGITA

**MÉTODO DE PRODUÇÃO DE UM MATERIAL DE ARMAZENAMENTO DE
HIDROGÊNIO, LIGA HIPOEUTÉTICA DE MAGNÉSIO-NÍQUEL E MATERIAL
DE ARMAZENAMENTO DE HIDROGÊNIO FORMADO A PARTIR DE UMA LIGA
DE MAGNÉSIO-NÍQUEL FUNDIDA**

CAMPO DA INVENÇÃO

[001] Esta invenção se refere aos materiais de armazenamento de hidrogênio e especificamente se refere a uma liga fundida que pode ser usada como material para armazenamento de hidrogênio.

HISTÓRICO DA INVENÇÃO

[002] Conforme a população mundial se expande e a atividade econômica aumenta, existem sinais sempre crescentes de que o aumento das concentrações atmosféricas de dióxido de carbono estão aquecendo a terra causando alterações climáticas. Embora o eventual esgotamento do petróleo e das fontes de energia de combustível fóssil no mundo inevitavelmente necessitará descobrir outras fontes econômicas de energia, os sinais mais evidentes de aquecimento global têm aumentado a pressão para que os sistemas de energia global abandonem os combustíveis ricos em carbono, cuja combustão produz gases de monóxido de carbono e dióxido de carbono.

[003] A energia do hidrogênio está atraindo um grande interesse e espera-se que eventualmente seja uma substituição para os combustíveis à base de petróleo. Contudo ainda existem várias questões técnicas e barreiras que devem ser superadas antes do hidrogênio poder ser adotado como combustível prático, o obstáculo principal sendo o desenvolvimento de um sistema viável de armazenamento de hidrogênio. Embora o hidrogênio possa ser

armazenado como um gás comprimido ou um líquido, o primeiro ocupa um grande volume e o último requer intensa energia para produção, reduzindo qualquer benefício ambiental. Além disso, ambos o hidrogênio gasoso e o líquido são potencialmente perigosos, em caso dos recipientes de armazenamento sob pressão serem rompidos.

[004] Um método mais compacto e seguro de armazenar hidrogênio é dentro de materiais sólidos. Quando infiltrados com hidrogênio em pressões relativamente baixas, os metais e compostos inter-metálicos podem absorver grandes quantidades de hidrogênio de uma forma sólida e segura. O hidrogênio armazenado pode ser liberado quando necessário, simplesmente por aquecimento da liga. O armazenamento do hidrogênio como um hidreto sólido pode prover um armazenamento de porcentagem em peso maior que o do gás comprimido. Contudo, um material de armazenamento de hidrogênio desejável deve ter uma alta capacidade de armazenamento com relação ao peso do material, uma temperatura de dessorção apropriada, boa cinética, boa capacidade de reversão e ser de custo relativamente baixo.

[005] O magnésio puro possui capacidade de transporte de hidrogênio teórica suficiente em 7,6% em peso. Contudo o hidreto resultante é muito estável e a temperatura deve ser aumentada para 278°C para que o hidrogênio seja liberado. Essa temperatura de dessorção torna tais materiais economicamente não atrativos. Uma temperatura de dessorção mais baixa é desejável não apenas para reduzir a quantidade de energia necessária para liberar hidrogênio, porém para permitir a utilização eficiente do calor de exaustão dos veículos para liberar o hidrogênio. Comparado ao magnésio

puro, o composto Mg_2Ni possui uma capacidade de armazenamento de hidrogênio de 3,6% em peso, porém de modo importante, a temperatura necessária para liberação de hidrogênio é aumentada para menos que aquela do magnésio puro. Acredita-se que o mecanismo de armazenamento de hidrogênio envolva a formação de partículas de hidreto (sólidas), isto é, MgH_2 e Mg_2NiH_4 na microestrutura.

[006] Recentemente, técnicas de fundição tixotrópica seguidas por refusão e saturação parciais foram usadas [Y.J.Kim, T.W.Hong: Materials Transactions 43 (200) 1741-1747] para produzir ligas de Mg-Ni hipoeutéticas consistindo em dendritos ricos em magnésio circundados por Mg-Mg₂Ni eutético, refinado. Essas ligas absorvem grandes quantidades de hidrogênio, semelhante ao magnésio puro e revelam apenas um platô de absorção de hidrogênio simples na curva de pressão-composição-temperatura (PCT), isto é, platôs não separáveis para cada fase. Acredita-se que o níquel e/ou a fase Mg_2Ni atuem como um catalisador, aperfeiçoando a cinética de transferência do hidrogênio nas fases sólidas ricas em magnésio através da formação de MgH_2 .

[007] Essa concretização tem encorajado a pesquisa [vide revisão de S. Orimo e H. Fuji, Applied Physics A 72 (2001) 167-186] usando técnicas de nano tecnologia e de metalurgia de pó para produzir materiais com grandes áreas interfaciais internas. Essas técnicas são atraentes porque resultam em grandes áreas de interface e introduzem defeitos cristalográficos, tais como deslocamentos e geminados, que distribuiriam catalisadores em potencial através da microestrutura, permitindo que os mesmos tenham uma influência difundida na cinética da reação. Infelizmente,

técnicas de metalurgia de pó em nano escala oferecem controle limitado em relação à estrutura cristalográfica das fases (isto é, interfaces, geminados, etc.) o pó seria altamente explosivo e seria proibitivamente caro para produção em massa e em grande escala dos componentes de armazenamento de hidrogênio comercial. Nenhuma pesquisa reportada até hoje considera métodos pelos quais o alto desenvolvimento dos componentes de armazenamento de hidrogênio podem ser produzidos usando processos de custo mais barato e mais aplicáveis à produção em massa.

[008] É um objetivo da presente invenção prover uma liga de MgNi fundível com capacidade de armazenamento de hidrogênio aperfeiçoada.

[009] Referência à qualquer técnica anterior no relatório descritivo não é, nem deverá ser tida como um conhecimento ou qualquer forma de sugestão de que essa técnica anterior faça parte do conhecimento geral comum na Austrália ou qualquer outra jurisdição.

SUMÁRIO DA INVENÇÃO

[010] De acordo com um aspecto, a invenção pode prover um método de produção de um material de armazenamento de hidrogênio incluindo as etapas de formação de fusão de magnésio-níquel possuindo adições de pelo menos um elemento de refinamento, o elemento de refinamento sendo capaz de promover uma estrutura eutética refinada com geminação aumentada na fase intermetálica de magnésio-níquel e solidificação da fusão de magnésio-níquel em um material de armazenamento de hidrogênio com a referida estrutura eutética refinada.

[011] Em uma modalidade preferida, a fusão de magnésio-

níquel é formada pelas etapas de adição de níquel à fusão de magnésio para produzir uma liga de magnésio-níquel hipoeutética (isto é, superior a zero - 23,5% em peso de Ni), homogeneização da fusão de magnésio-níquel e adição do elemento ou elementos de refinamento à fusão sob uma atmosfera de proteção nas razões de adição superiores a zero e até 2% em peso e preferivelmente superior a zero e inferior a 500 ppm.

[012] O elemento de refinamento possui um raio atômico dentro da faixa de cerca de 1-1,65 vezes o do magnésio. Fica entendido que os elementos de refinamento com raios atômicos dentro dessa faixa proverão a estrutura eutética refinada discutida acima. Os elementos de refinamento são selecionados do grupo compreendendo Zr, Na, K, Ba, Ca, Sr, La, Y, Yb, Rb, Cs e elementos de terra raros, tais como Eu. Zircônio é adicionado para granular o refino de cristais de magnésio e quando usado requer pelo menos um a mais dos elementos do grupo.

[013] Em outro aspecto, a invenção pode prover um método para produzir um material de armazenamento de hidrogênio compreendendo as etapas de formação de fusão de magnésio-níquel hipoeutética possuindo adições de pelo menos um elemento de refinamento possuindo um raio atômico dentro da faixa de 1-1,65 vezes o do magnésio, o elemento de refinamento sendo provido na fusão em taxas de adição superiores a zero e até 2% em peso e preferivelmente inferiores a 2.400 e mais preferivelmente inferiores a 500 ppm e fundição da fusão de magnésio-níquel.

[014] A etapa de solidificação em ambos aspectos é uma etapa de fundição, onde o metal é fundido por um

procedimento apropriado, tal como derramamento em moldes metálicos pré-aquecidos que resfriam o derramamento. A etapa de solidificação pode ser outro processo de solidificação controlada. Contudo, uma vez que a liga tenha se fundido, ela é então submetida a ativação e uso como um material de armazenamento de hidrogênio. A liga é preferivelmente usada na condição de fundição.

[015] Em outra concretização da invenção, é provida uma liga de armazenamento de hidrogênio compreendendo ou consistindo essencialmente em liga de magnésio-níquel hipoeutética possuindo mais de zero e até 2% em peso de um elemento de refinamento, o elemento de refinamento possuindo um raio atômico de cerca de 1-1,65 vezes aquele do magnésio; e o restante de magnésio e impurezas incidentais.

[016] As adições de refinamento são selecionadas do grupo de Zr, Na, K, Ba, Ca, Sr, La, Y, Yb, Rb, Cs e elementos de terra raros com taxas de adição superiores a zero e até 2% em peso e preferivelmente superiores a zero e inferiores a 2.400 ou mais preferivelmente superiores a zero e inferiores a 500 ppm. Os elementos de adição mais preferidos são sódio e zircônio.

[017] Os depositantes verificaram que, por adição de elementos de traço possuindo raios atômicos em torno do magnésio até 1,65 vezes os raios atômicos do magnésio em relação aos sistemas de MgNi hipoeutéticos, os defeitos de cristal geminado são promovidos na fase intermetálica de Mg₂Ni. Acredita-se que o aumento do refinamento e defeitos do cristal na fase Mg₂Ni catalisa a reação de hidratação nas fases sólidas ricas em magnésio da liga, aumentando assim a capacidade da liga de absorver hidrogênio e a cinética de

absorção do hidrogênio.

[018] Adicionalmente conforme o material é produzido por um processo de solidificação de fusão, o mesmo é um processo mais comercialmente viável para produção em grande escala dos componentes de armazenamento de hidrogênio.

Descrição dos Desenhos e Concretização Preferida

[019] Objetivos e vantagens adicionais da presente invenção ficarão claros a partir da descrição que se segue da modalidade preferida e desenhos anexos onde:

A figura 1 é um gráfico de pressão, composição, temperatura de uma liga de magnésio não modificada com 14% de Ni,

A figura 2 é um gráfico resumindo o tempo de ativação a 350°C com 2 MPa para os Exemplos 1-6,

A figura 3 é um gráfico dos dados de absorção de PCT a 350°C e 2 MPa para os Exemplos 1-6,

A figura 4 é um gráfico dos dados de absorção de PCT a 300°C e 2 MPa para os Exemplos 1-6,

A figura 5 é um gráfico dos dados de absorção de PCT a 250°C e 2 MPa para os Exemplos 1-6,

A figura 6 é um gráfico resumindo a capacidade de absorção de PCT a 350°C e 2 MPa,

A figura 7 é um gráfico ilustrando a relação entre absorção e dessorção para liga de Mg 14 Ni não modificada,

A figura 8 é um gráfico dos dados de dessorção a 0,2 MPa para os Exemplos 1-6, e

As figuras 9(a)-9(h) são micrografias SEM das ligas fundidas dos Exemplos 1-6.

[020] O material de armazenamento de hidrogênio é produzido de acordo com a invenção por formação de um

magnésio-níquel hipoeutético por adição de níquel ao magnésio fundido. A adição de níquel pode ser de até 20% em peso e preferivelmente 10-20% em peso de níquel. A fusão é então misturada para prover uma mistura homogeneizada.

[021] A essa liga de magnésio-níquel, são adicionados elementos de traço de material de modificação cristalográfica. Os elementos adicionados são aqueles que refinam a fase de magnésio e promovem uma estrutura eutética refinada com geminação aumentada na fase intermetálica de magnésio-níquel.

[022] A faixa de elementos que satisfazem os dois critérios acima possui raios atômicos ao redor daquele do magnésio e até 1,65 vezes aquele do magnésio e incluem Zr, K, Na, Ba, Ca, Sr, La, Y, Yb, Rb, Cs e elementos de terra raros. Os elementos preferidos usados são sódio e/ou zircônio.

[023] A fusão é novamente agitada para homogeneizar a mistura e manter sob uma atmosfera de proteção durante a etapa de homogeneização. A atmosfera de proteção é qualquer atmosfera que impede o magnésio de entrar em combustão. As atmosferas típicas incluem SF₆ e HFC-134a.

[024] O metal é então fundido por um procedimento de fusão apropriado, tal como, derramamento nos moldes metálicos pré-aquecidos.

[025] Embora não desejando estar restrito a uma teoria de operação específica, é considerado que o aumento nos defeitos do cristal, áreas interfaciais e densidade de deslocamentos catalisa a reação de hidratação nas fases sólidas ricas em magnésio da liga, assim aumentando a capacidade e cinética da liga para absorção do hidrogênio.

Exemplos

[026] A absorção de hidrogênio da liga de hidreto metálico é caracterizada por emprego de dados de pressão, composição, temperatura em equilíbrio (PCT). Esses dados são obtidos por manutenção de uma amostra de liga em temperatura constante, enquanto medindo precisamente a quantidade de hidrogênio sorvida e a pressão na qual a sorção ocorre. A quantidade de hidrogênio sorvido é expressa em termos de composição de liga, tanto como uma razão atômica de átomos de hidrogênio para o número de átomos na liga de metal de base ou quanto como a capacidade do hidrogênio no material em uma base de porcentagem em peso.

[027] A PCT significa "pressão-composição-isoterma" e mostra a capacidade de absorção de hidrogênio máxima possível em uma temperatura fixa. A absorção A_t de pressão é mais alta que aquela na dessorção e a região de "platô" indica a faixa apropriada para aplicações de armazenamento/liberação práticas.

[028] A maior parte do hidrogênio é absorvida em uma faixa onde existe pouca mudança de pressão. Essa região de pressão constante próxima é conhecida como platô de pressão. A formação de hidreto metálico é também acompanhada de histerese, que aparece como a diferença entre a curva de absorção superior e a curva de dessorção inferior.

Exemplo 1

[029] Uma liga de magnésio não modificada contendo 14% em peso de Ni foi submetida a uma atmosfera de hidrogênio de 2 MPa a 350°C por um período de 20 horas. Os dados de temperatura, composição, pressão foram registrados e mostrados na figura 1.

[030] A partir da figura 1, o tempo de ativação (A_t) da liga pode ser determinado. O "Tempo de Ativação" indica quão rápido uma liga se torna "pronta" para uso como uma liga de absorção de hidrogênio. Tempos de ativação mais curtos poupam energia e são indicativos de diferenças de material fundamental no desempenho cinético das ligas. Observe que a ativação é geralmente necessária apenas uma vez no ciclo de vida de uma liga de armazenamento de hidrogênio. Uma vez que a liga for ativada, o tempo de absorção de hidrogênio é significativamente reduzido conforme evidenciado pelos últimos ciclos de operação.

Exemplos 2-6

[031] A liga de níquel de magnésio do Exemplo 1 foi modificada por adição de um elemento de refinamento.

[032] A tabela 1 mostra o elemento de refinamento e a taxa de adição daquele elemento.

Tabela 1

Exemplo	Elemento de Refinamento	Taxa de adição
2	Na	2.400 ppm
3	Na	600 ppm
4	Ca	800 ppm
5	Eu	600 ppm
6	Zr	2% em peso

[033] O tempo de ativação desses exemplos é resumido na figura 2. A partir desses resultados, pode ser visto que o tempo de ativação pode ser reduzido em cerca de 40% em relação ao da liga não modificada (de 8 horas a 3,8 horas). Consequentemente, para as ligas pelo menos até as taxas de adição, o tempo de ativação pode ser significativamente reduzido. Isso possui significado prático, porém de modo

mais importante, é indicativo do desempenho de cinética superior da liga modificada.

[034] O gráfico mostrado na figura 3 foi produzido, quando os dados coletados nos exemplos acima foram analisados com referência apenas à curva de absorção.

[035] Curvas de PCT (apenas absorção) a 350°C mostram que todas as seis amostras podem absorver cerca de 7% em peso de hidrogênio. Existe uma pequena diferença entre as amostras. Mg 100% puro absorve 7,6% em peso de hidrogênio e 7% em peso de absorção de hidrogênio está próximo dos limites teóricos para uma amostra de Mg com 14% em peso de Ni. As fases primárias de Mg são consideradas como as fases de absorção de hidrogênio e regiões eutéticas são consideradas como possuindo uma função catalítica aperfeiçoando a cinética de hidrogênio.

[036] As ligas dos Exemplos 1-6 foram então caracterizadas a 300°C e 250°C com os resultados de absorção mostrados nas figuras 4 e 5 respectivamente.

[037] Em temperaturas mais baixas, existe uma diminuição da capacidade de absorção, porém, uma diferença grande no desempenho entre ligas. A curva PCT (apenas absorção) a 300°C mostra claramente o aperfeiçoamento da absorção de hidrogênio de 5,7% em peso (não modificado) para 6,6% em peso (Na alto, adição de Ca e Zr) ou 6,8% em peso (Na baixo).

[038] A figura 6 é um resumo da capacidade máxima de absorção de hidrogênio obtida dos resultados mostrados na figura 5. Pode ser visto que a 350°C, a capacidade de armazenamento de hidrogênio máxima é semelhante (ao redor de 7% em peso) para todas as amostras fundidas.

[039] A 250°C as ligas modificadas são superiores e a capacidade de hidrogênio máxima pode ser aumentada em mais de 1% em peso em relação à liga não modificada (de 5,3% em peso a 6,5% em peso).

[040] Mesmo a 200°C (até condição de 2 MPa), as amostras mostraram absorção de aproximadamente 5,5% em peso de hidrogênio.

[041] Com relação à temperatura de dessorção, geralmente, a uma pressão fixa, a temperatura de absorção é menor que a temperatura de dessorção. As temperaturas exatas variarão, dependendo da pressão. A figura 7 mostra a relação entre adsorção e dessorção para liga de Mg 14Ni não modificada a 0,2 MPa. A temperatura de partida de adsorção 1 é geralmente maior que a temperatura final de adsorção 2. Quando a liga então atravessa o ciclo de dessorção, a temperatura de partida de dessorção 3 pode ser vista como maior que a temperatura final de dessorção 4.

[042] Na representação das ligas modificadas dos Exemplos 2-6 em relação às ligas não modificadas, pode ser visto que a temperatura final de dessorção (região de platô na figura 8) a 0,2 MPa diminui aproximadamente 20°C com a modificação. De fato, a temperatura de dessorção para a liga de Mg Ni pode ser reduzida por adições de elementos de traço.

[043] A adição dos elementos de modificação aumenta a quantidade de áreas interfaciais internas do material, a quantidade de falhas de empilhamento e a densidade dos deslocamentos/geminações na liga de magnésio-níquel solidificada. Acredita-se que o elemento de refinamento possa ter um raio atômico na faixa mencionada acima, de modo

a obter os efeitos metalúrgicos no metal como metal fundido.

[044] O aumento nos deslocamentos causados pelas adições é ilustrado nas micrografias SEM, figuras 9(a)-9(h). A figura 9(a) é a SEM para Mg 14 Ni não modificado; a figura 9(b) é a SEM para a mesma liga com adição de Zr; a figura 9(c) é a SEM para adição baixa de sódio; a figura 9(d) é a SEM para adição alta de sódio; a figura 9(e) é a SEM para adição de cálcio; e a figura 9(f) é a SEM para adição de Eu. A figura 9(g) é a liga Mg 14 Ni não modificada de ampliação maior; a figura 9(h) é a adição baixa de sódio em ampliação mais alta da figura 9(g).

[045] A figura 9 mostra imagens de elétron secundárias SEM de ligas hipoeutéticas Mg-14% em peso de Ni de (a) e (g) não modificadas; (b) 2% em peso de adição de Zr; (c) e (h) 600 ppm de adição de Na, (d) 2.400 ppm de adição de Na, (e) 800 ppm de adição de Ca e (f) ligas de adição de Eu a 600 ppm. A parte preta nas figuras representa dendritos de Mg primários e a parte preta pequena e o contraste branco representam a estrutura eutética Mg-Mg₂Ni. As imagens demonstram claramente uma microestrutura eutética fibrosa muito refinada em todas as amostras modificadas em comparação à microestrutura eutética grosseira na amostra não modificada.

[046] Todas amostras modificadas mostram um aperfeiçoamento relativo de aproximadamente 1% em peso para a capacidade máxima de absorção de hidrogênio. O refinamento da estrutura, mesmo em níveis de traço de adição é considerado notável os rendimentos dos espaçamentos eutéticos abaixo de 1 μm e freqüentemente abaixo de 500 nm. Assim, um material em escala nano é obtido através da

combinação de uma modificação de liga e um método de fusão.

REIVINDICAÇÕES

1. Método de produção de um material de armazenamento de hidrogênio, **caracterizado** pelo fato de que inclui as etapas de:

formação de uma fusão de magnésio-níquel hipoeutética, em que a fusão de magnésio-níquel contém níquel dentro da faixa superior a zero até 20%;

adição de até 2% em peso de um elemento de refinamento à fusão sob uma atmosfera de não oxidação, o elemento de refinamento possuindo um raio atômico na faixa de 1-1,65 vezes o raio atômico do magnésio;

pelo menos um elemento selecionado do grupo consistindo em Zr, Na, K, Ba, Ca, Sr, La, Y, Yb, Rb, Cs e Eu, onde Zr é usado apenas em combinação com pelo menos um outro elemento do referido grupo; e

fundição da fusão para produzir o material de armazenamento de hidrogênio.

2. Método, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que a fusão de magnésio-níquel contém níquel dentro da faixa de 10-20% em peso.

3. Método, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que o elemento de refinamento é adicionado a uma razão de adição de até 2.400 ppm.

4. Liga de magnésio-níquel hipoeutética, **caracterizada** pelo fato de que consiste em:

níquel em uma quantidade superior a zero até 20% em peso;

mais de zero e até 2% em peso de um elemento de refinamento, o elemento de refinamento possuindo um raio atômico na faixa de 1 a 1,65 vezes o raio atômico do

magnésio;

o elemento de refinamento sendo pelo menos um elemento selecionado do grupo consistindo em Zr, Na, K, Ba, Ca, Sr, La, Y, Yb, Rb, Cs e Eu;

onde Zr é usado apenas em combinação com pelo menos um outro elemento do referido grupo; e

o restante de magnésio e impurezas incidentais.

5. Liga, de acordo com a reivindicação 4, **caracterizada** pelo fato de que o níquel está presente em uma quantidade de 10-20% em peso.

6. Liga de magnésio-níquel, de acordo com a reivindicação 4, **caracterizada** pelo fato de que o elemento de refinamento está presente em taxas de adição superiores a zero e até 2.400 ppm.

7. Liga de magnésio-níquel, de acordo com a reivindicação 4, **caracterizada** pelo fato de que a liga como fusão possui uma estrutura eutética refinada com geminação na fase intermetálica de magnésio-níquel.

8. Material de armazenamento de hidrogênio formado a partir de uma liga de magnésio-níquel fundida, a liga sendo uma liga de magnésio-níquel hipoeutética, **caracterizado** pelo fato de que inclui:

níquel em uma quantidade superior a zero até 20% em peso;

mais de zero e até 2% em peso de um elemento de refinamento, o elemento de refinamento possuindo um raio atômico na faixa de 1 a 1,65 vezes o raio atômico do magnésio;

o elemento de refinamento sendo pelo menos um elemento selecionado do grupo consistindo em Zr, Na, K, Ba,

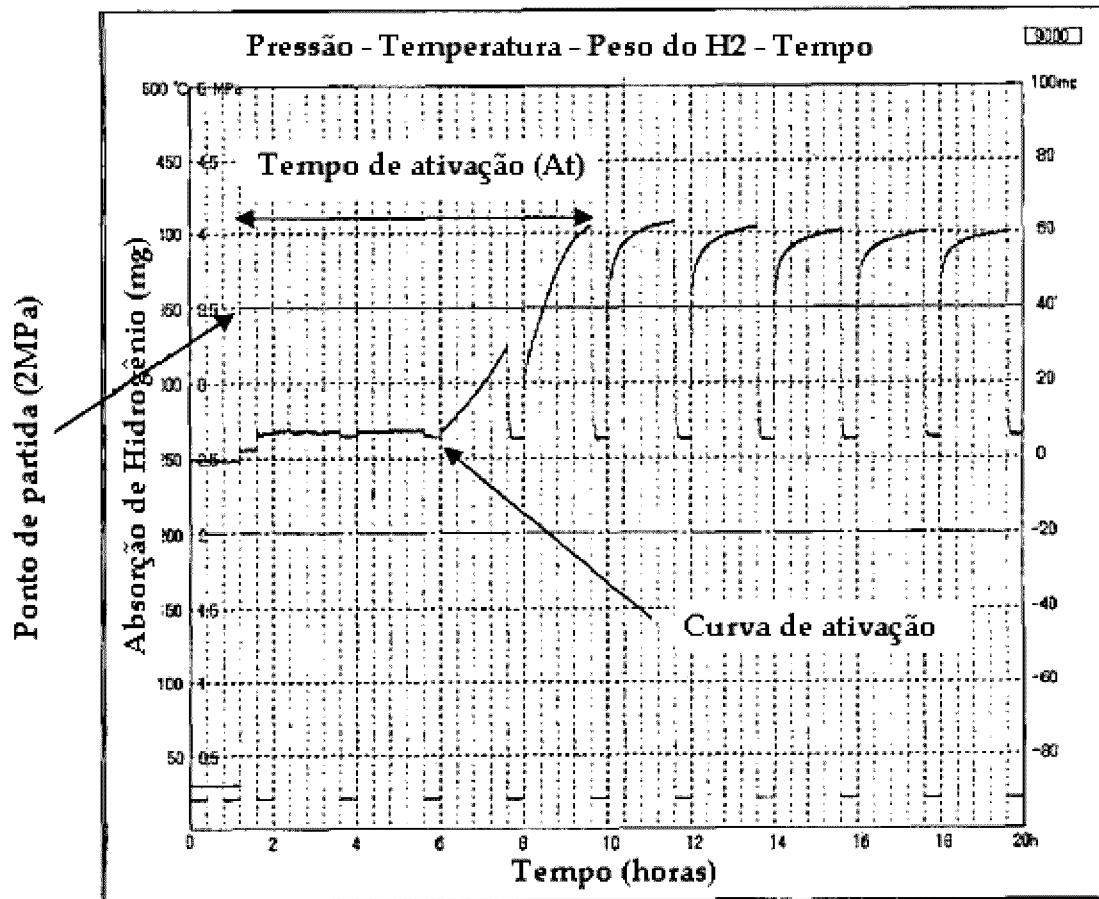
Ca, Sr, La, Y, Yb, Rb, Cs e Eu;

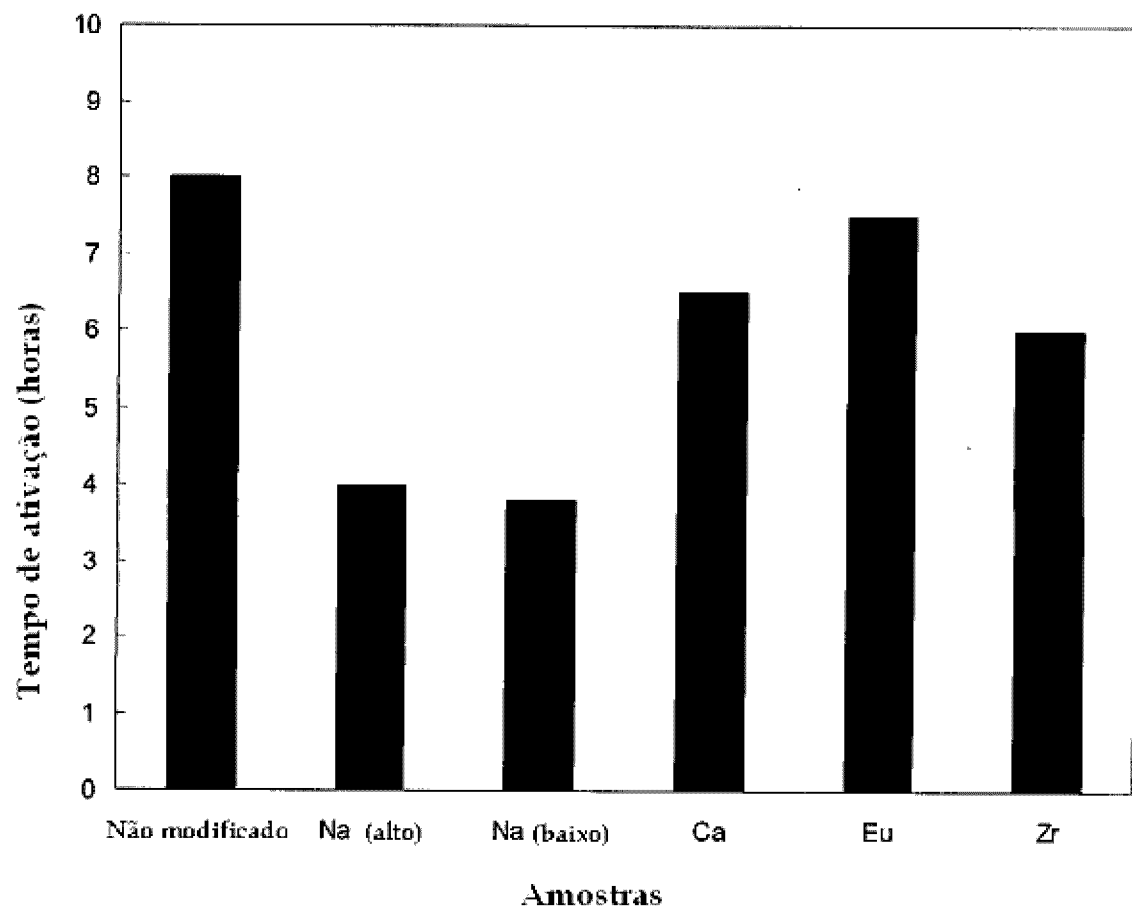
onde Zr é usado apenas em combinação com pelo menos um outro elemento do referido grupo; e

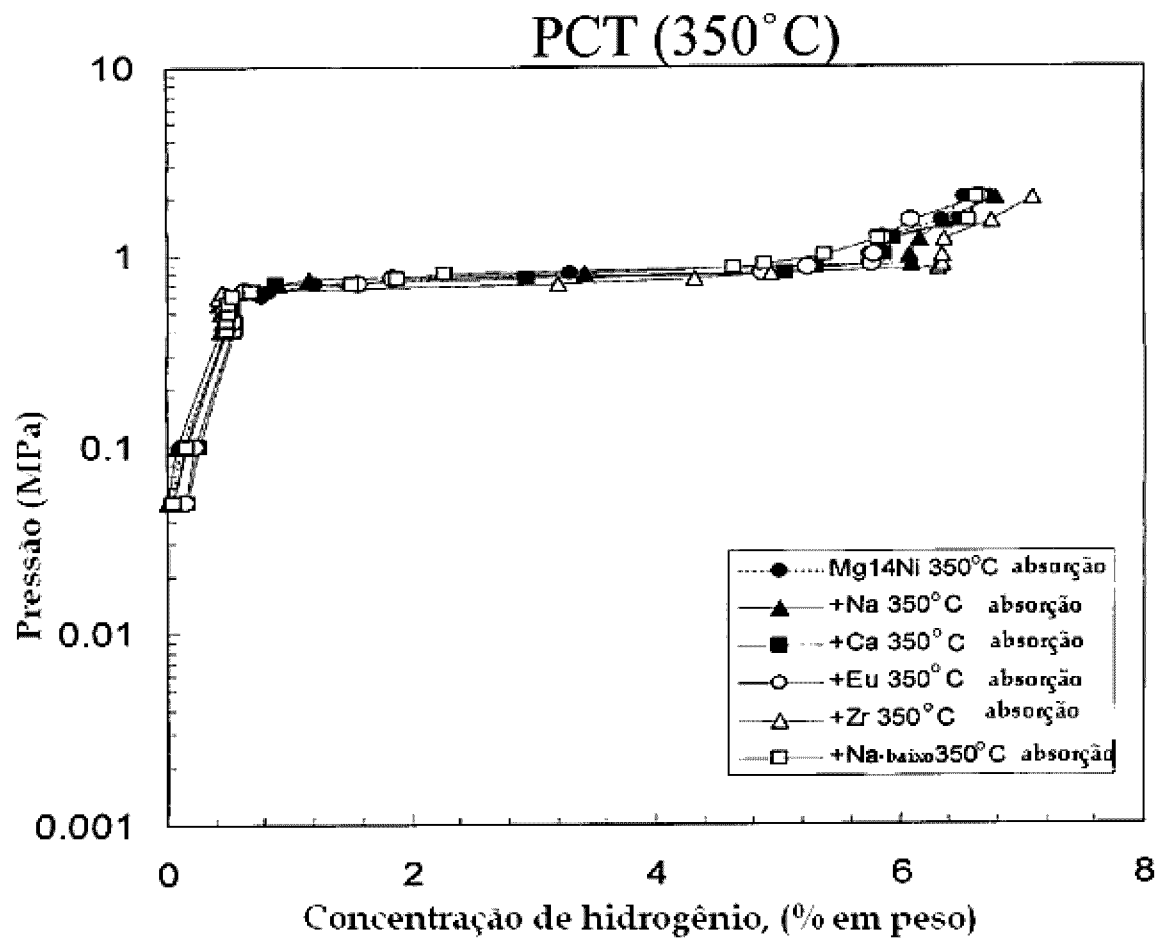
o restante sendo magnésio e impurezas incidentais.

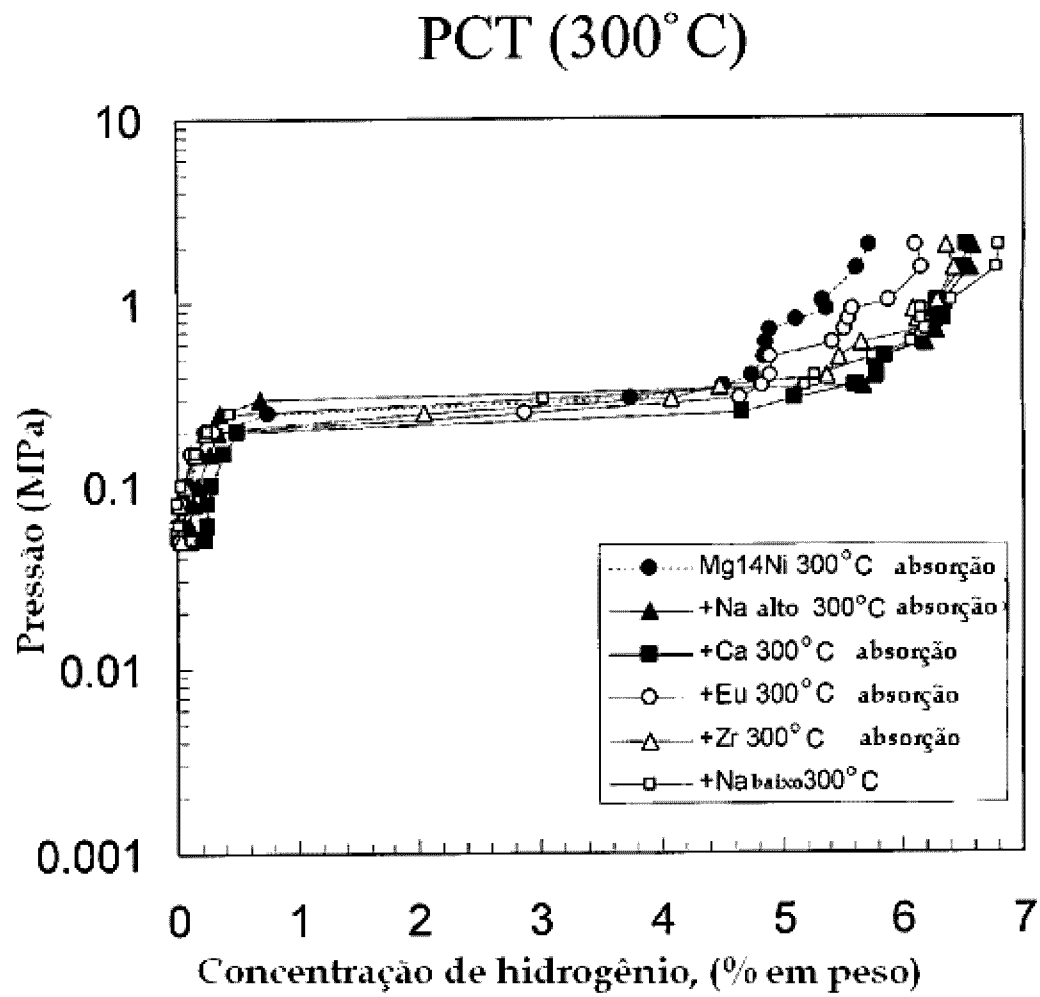
9. Material de armazenamento de hidrogênio, de acordo com a reivindicação 8, **caracterizado** pelo fato de que a liga, como fusão, possui uma estrutura eutética refinada com geminação na fase intermetálica de magnésio-níquel.

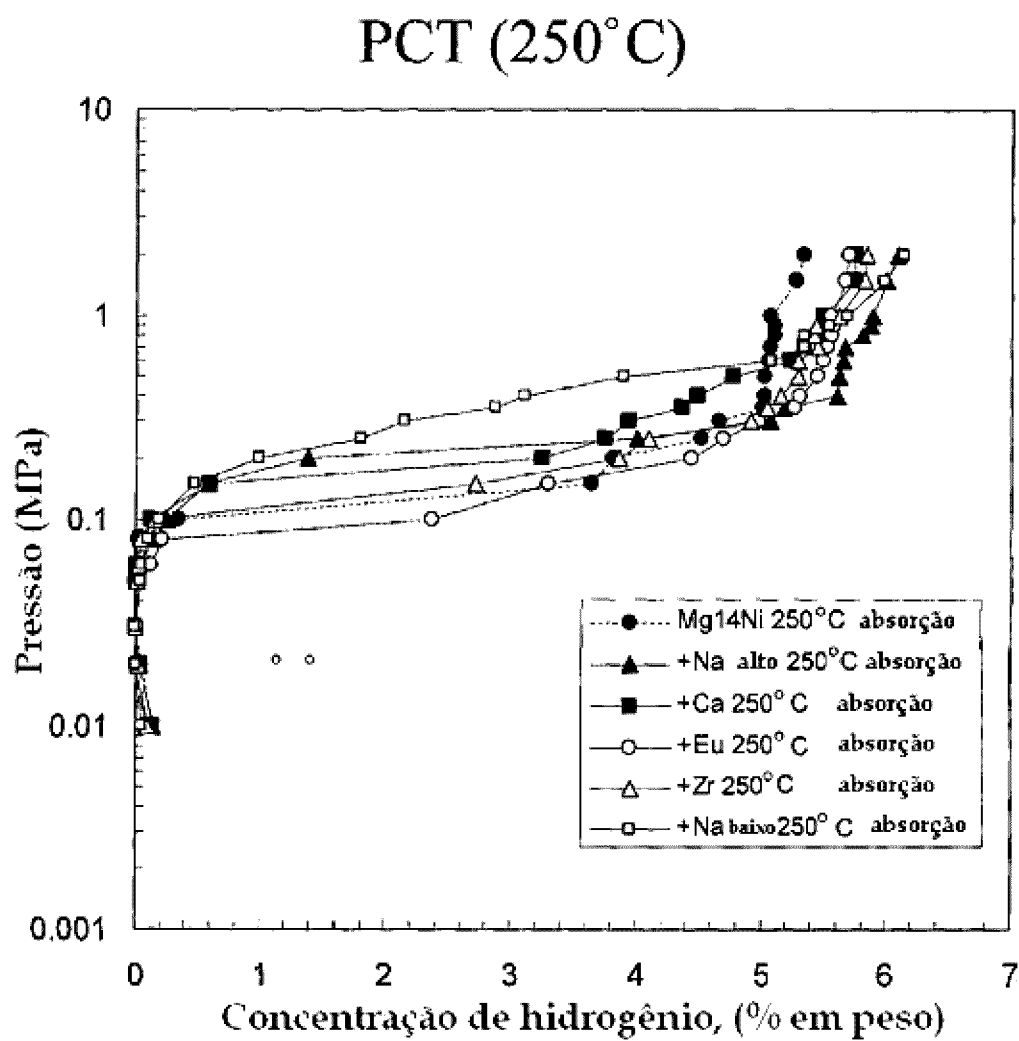
10. Material, de acordo com a reivindicação 8, **caracterizado** pelo fato de que o teor de níquel da liga de magnésio-níquel hipoeutética é de 10-20% em peso.

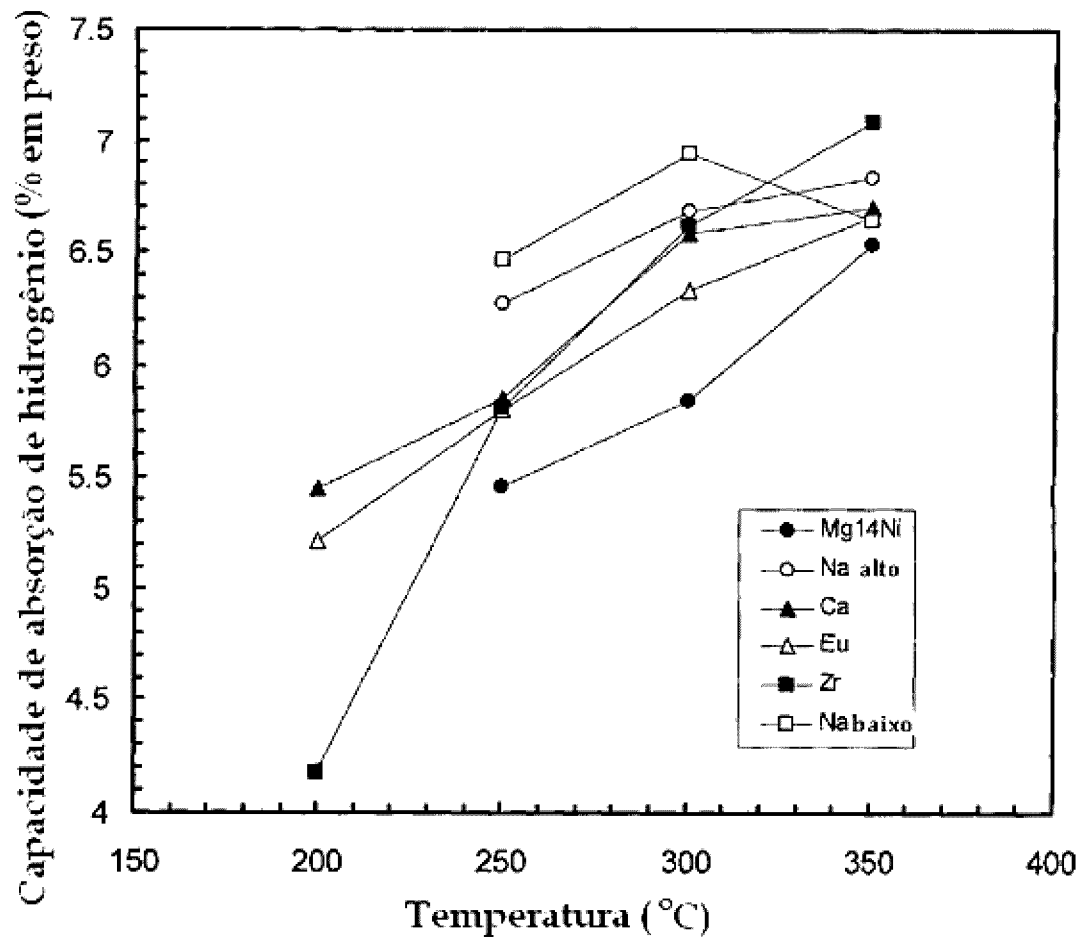
**Fig 1**

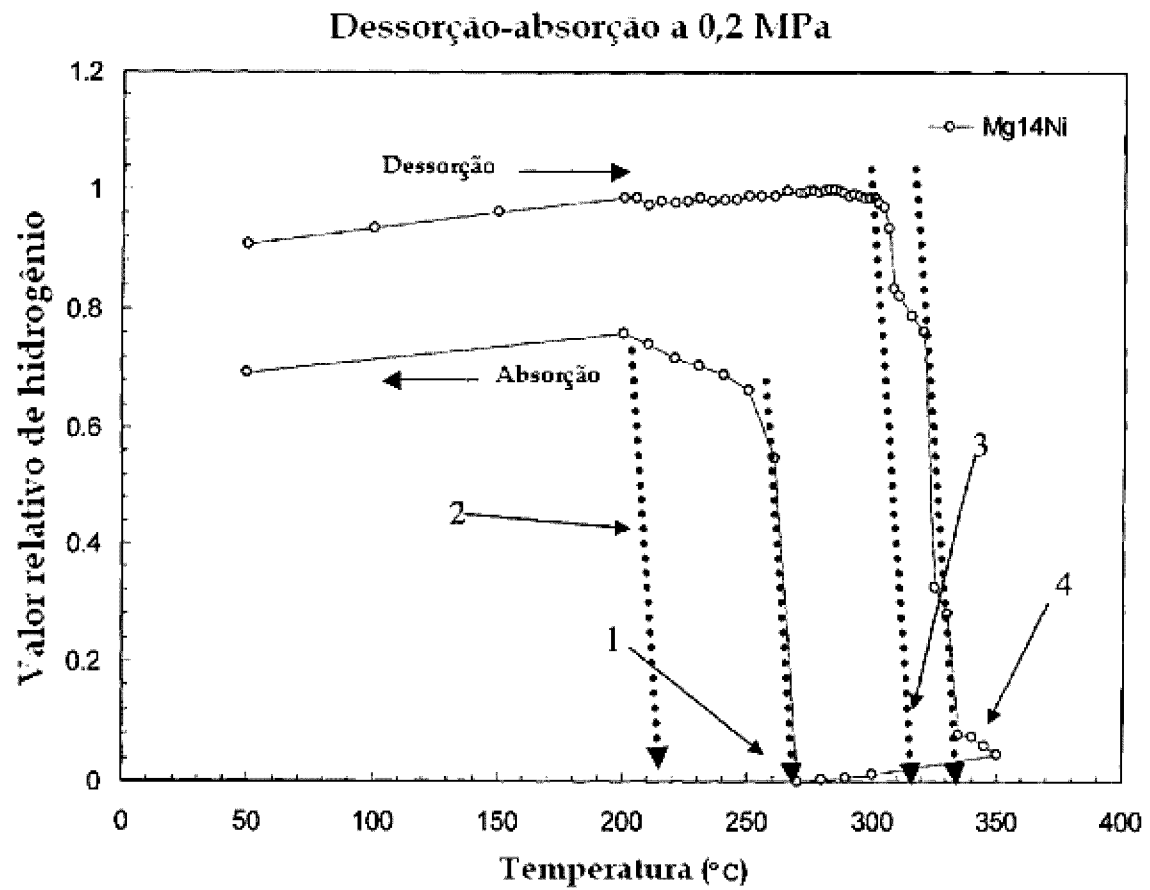
**Fig.2**

**Fig 3**

**Fig 4**

**Fig.5**

**Fig 6**

**Fig 7**

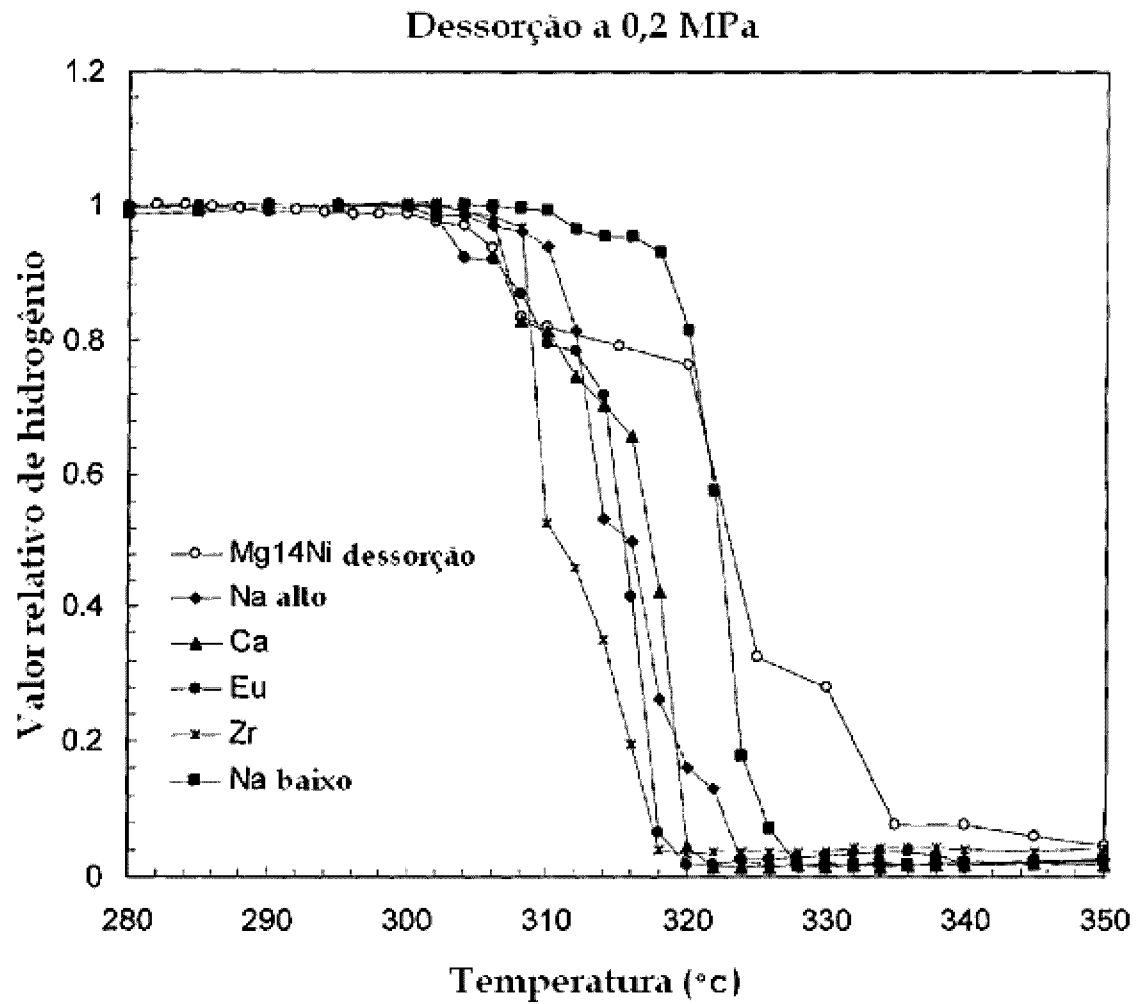
**Fig 8**



Fig. 9 (a)

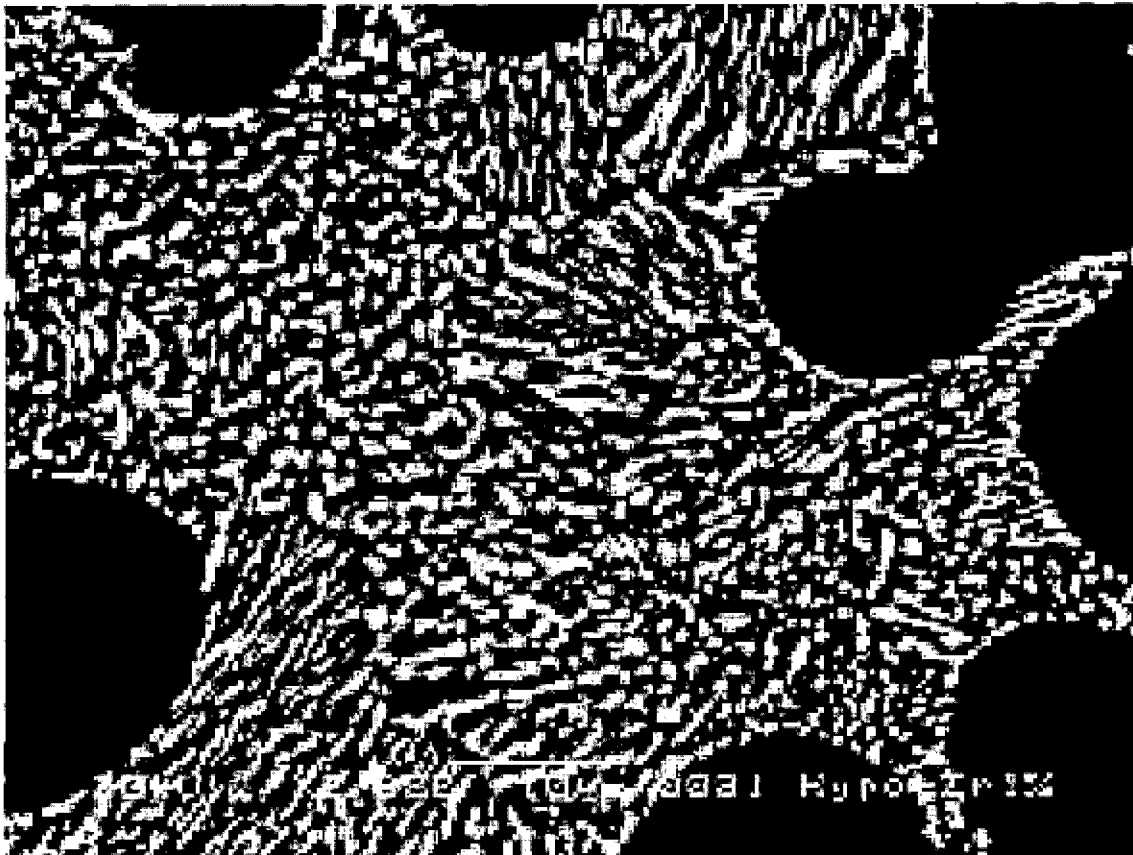


Fig. 9 (b)

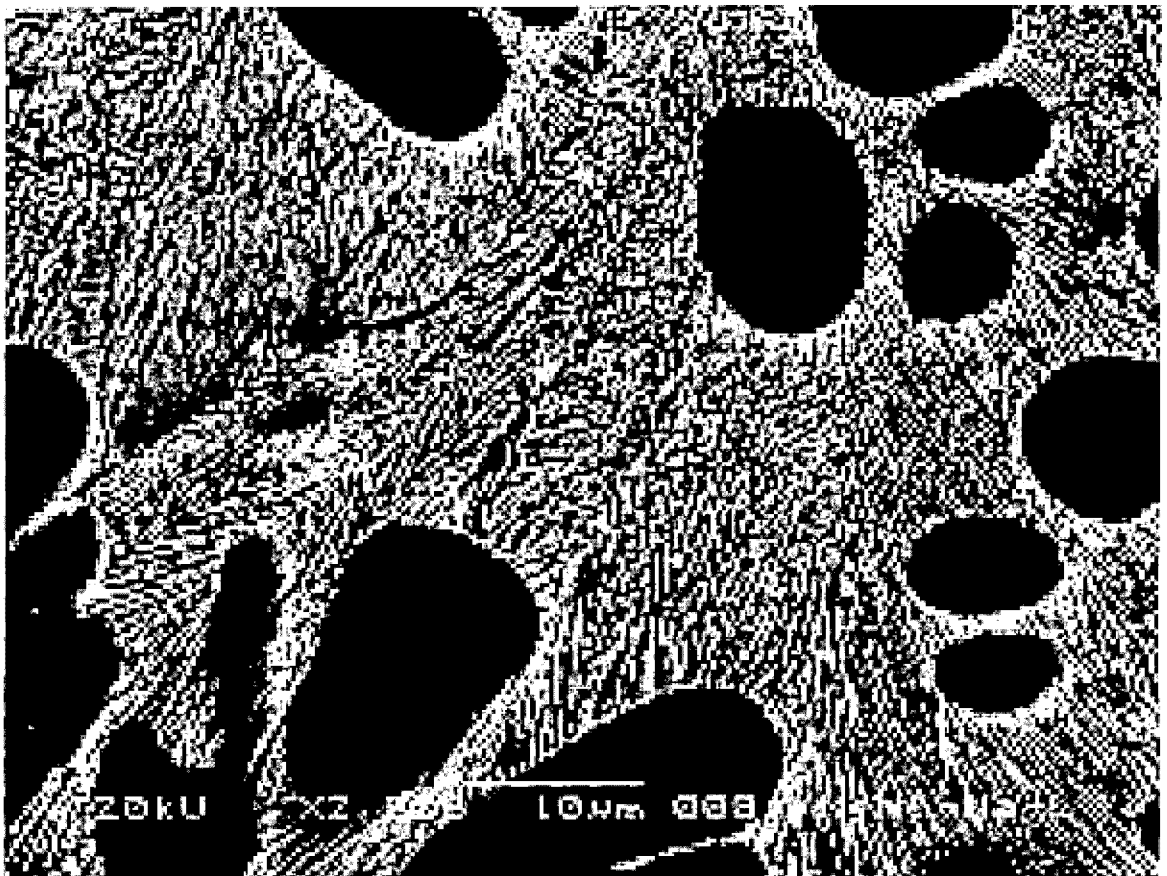


Fig. 9 (c)

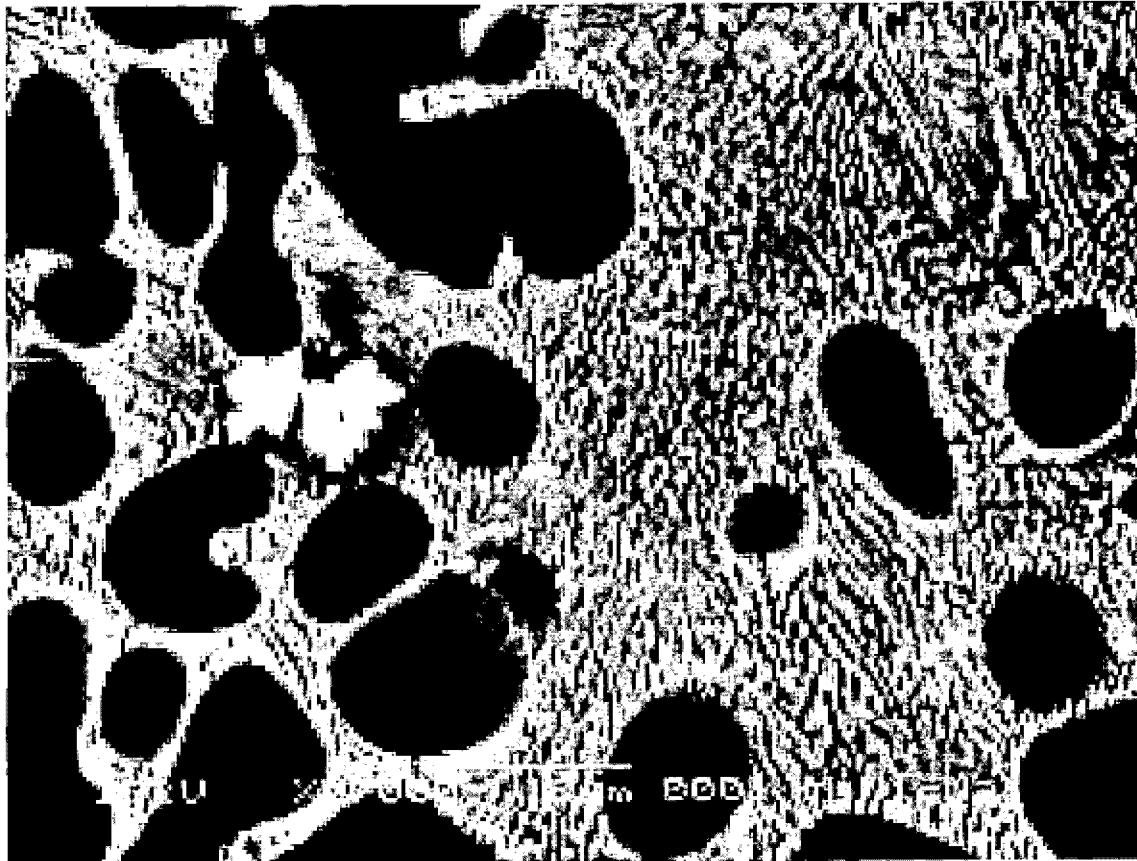


Fig. 9 (d)

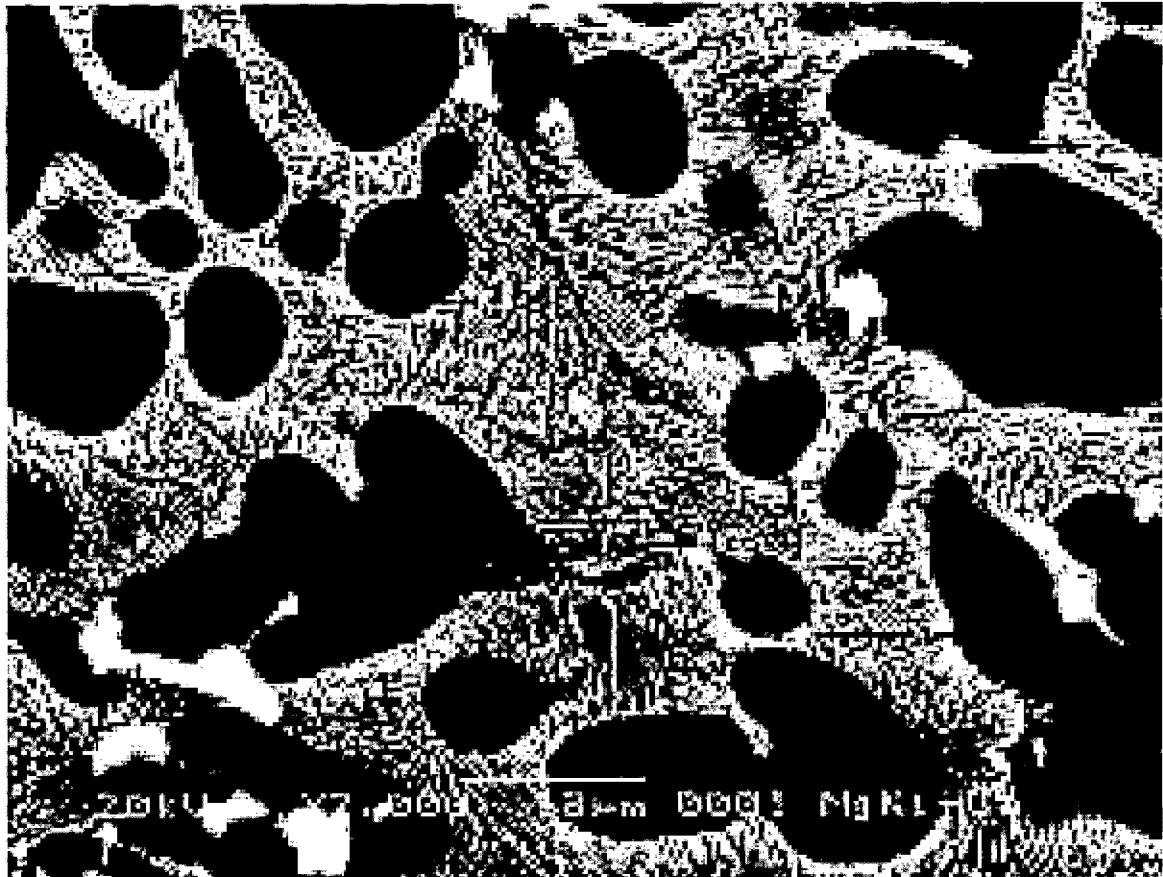


Fig. 9 (e)

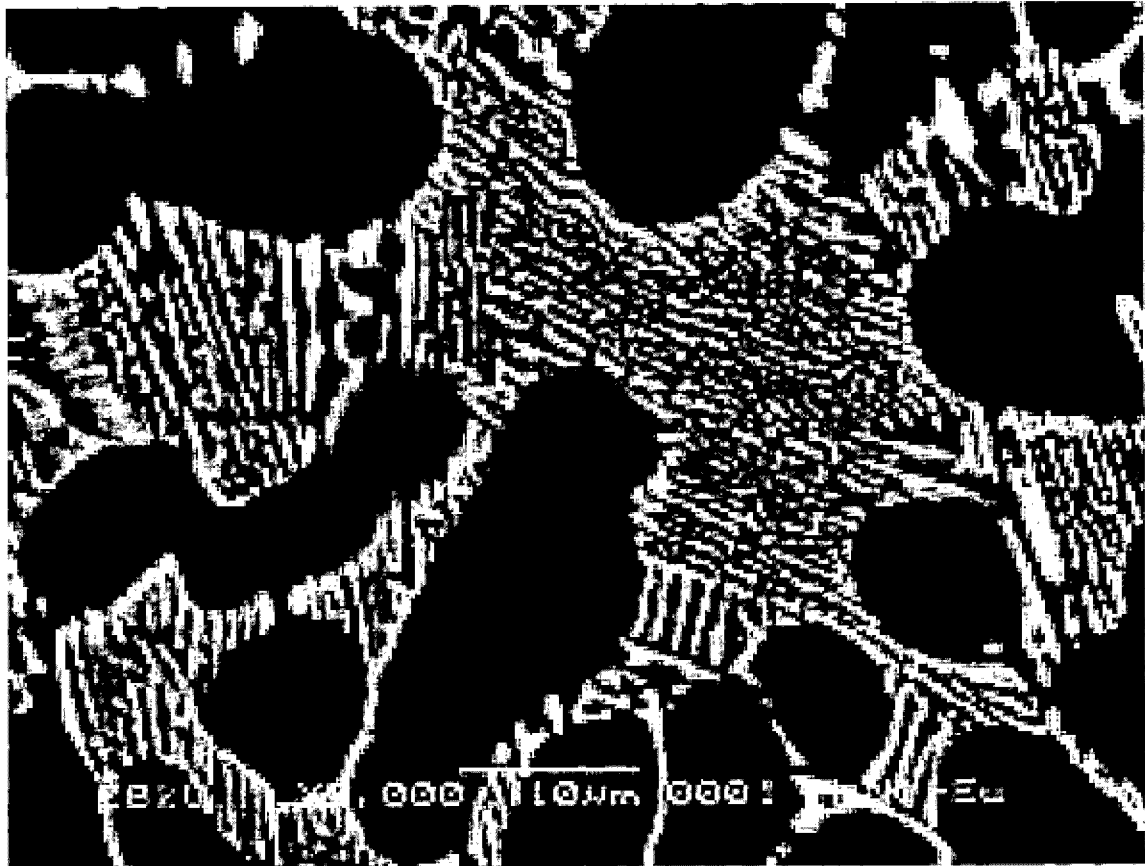


Fig. 9 (f)

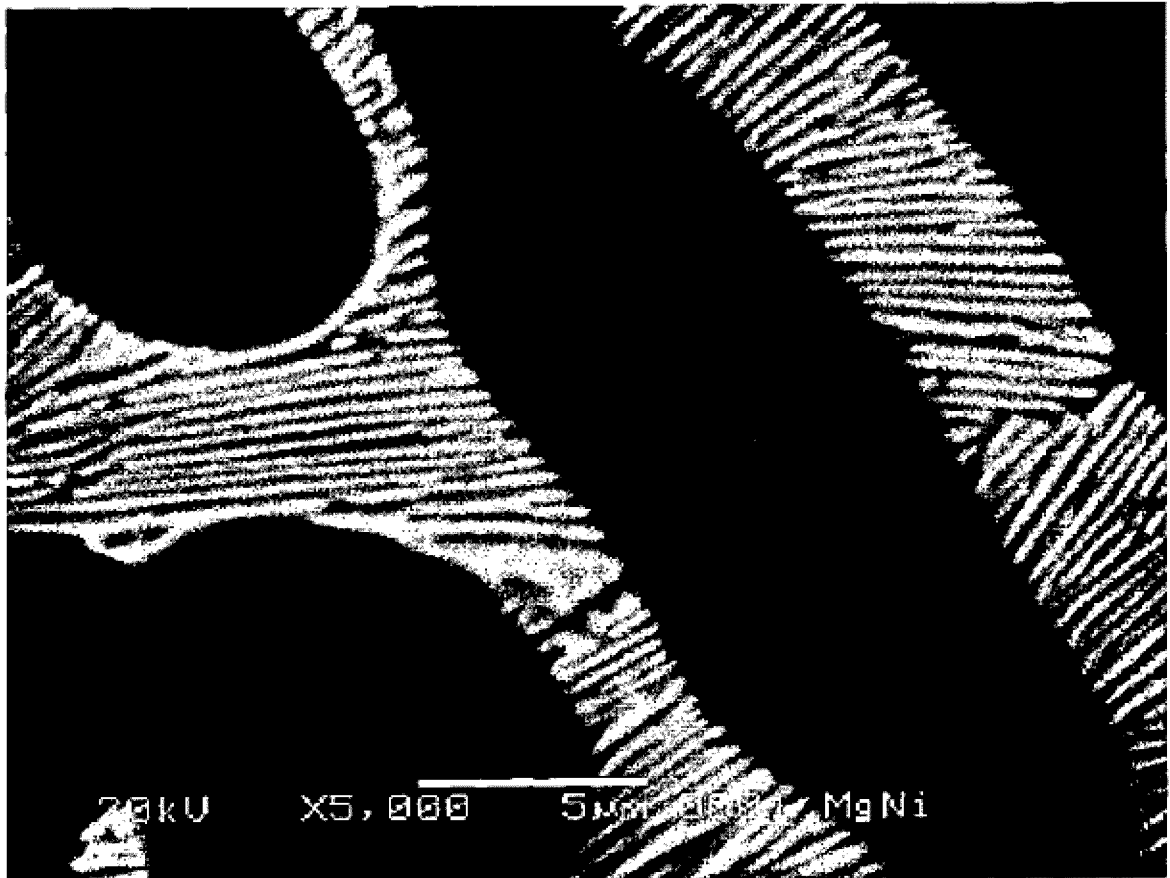


Fig. 9 (g)

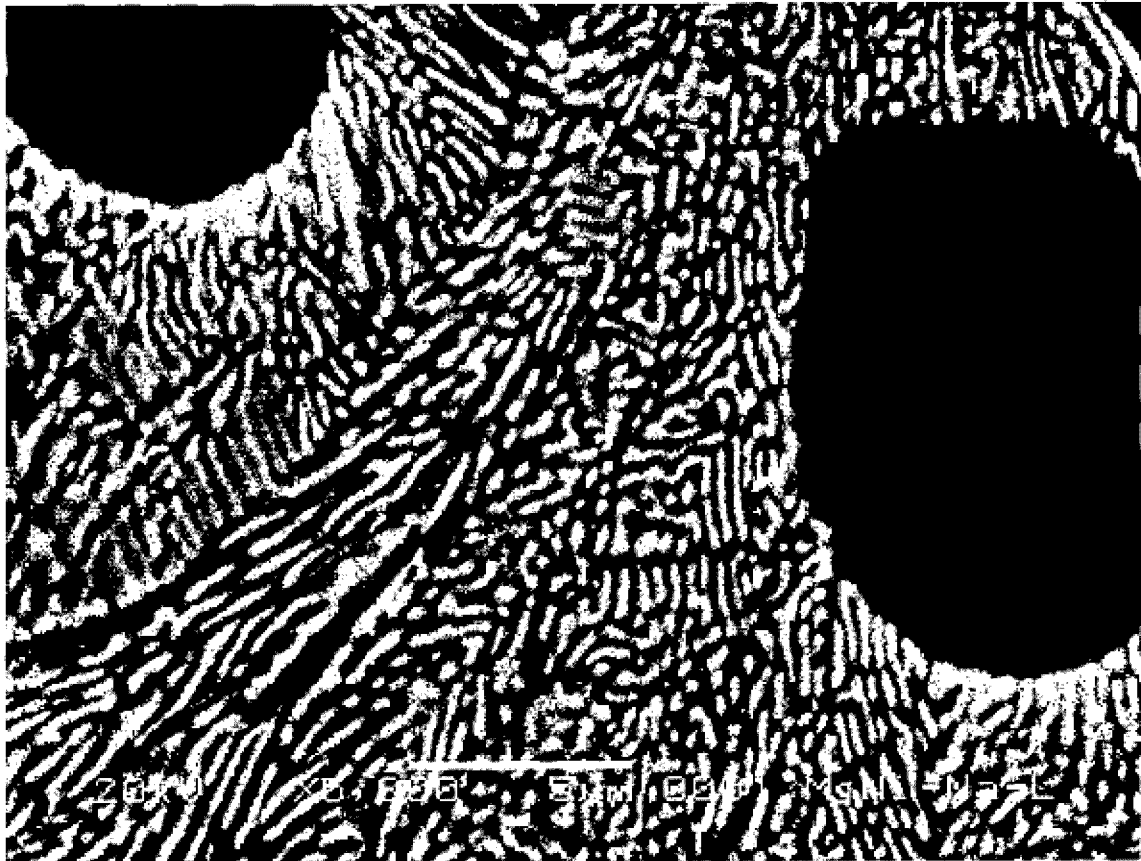


Fig. 9 (h)