



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

(11) PI 1012832-8 B1



(22) Data do Depósito: 15/06/2010

(45) Data de Concessão: 29/01/2019

(54) Título: MÉTODO DE FABRICAR CHAPAS DE METAL EM PÓ

(51) Int.Cl.: B22F 3/16; B22F 3/18.

(30) Prioridade Unionista: 17/06/2009 US 12/456,493.

(73) Titular(es): THE GATES CORPORATION.

(72) Inventor(es): YAHYA HODJAT; ROGER LAWCOCK; ROHITH SHIVANATH.

(86) Pedido PCT: PCT US2010001713 de 15/06/2010

(87) Publicação PCT: WO 2010/147640 de 23/12/2010

(85) Data do Início da Fase Nacional: 06/12/2011

(57) Resumo: MÉTODO DE FABRICAR CHAPAS POR METALURGIA DO PÓ É descrito um método de fabricar chapas por metalurgia do pó compreendendo alimentar uma massa predeterminada de pó metálico em uma fita móvel (101), restringir o pó metálico envolvendo o pó metálico com paredes limites vibratórias (201, 202) estendendo-se paralelas à direção do movimento da fita, laminar o pó metálico à temperatura ambiente para formar uma tira compacta verde (GS), sinterizar continuamente a tira compacta verde em um forno (400), formar a tira compacta verde em uma parte em forma de rede (NS) ainda no forno, e resfriar a parte em forma de rede em um ambiente não oxidante (404) a uma temperatura superior a 1.000 graus Celsius.

"MÉTODO DE FABRICAR CHAPAS DE METAL EM PÓ"

Campo da Invenção

[001]A invenção diz respeito a um método de fabricar chapas de metal em pó compreendendo alimentar uma massa pré-determinada de pó metálico em uma esteira móvel, restringir o pó metálico envolvendo o pó metálico com paredes limites vibratórias estendendo-se na direção do movimento da esteira, laminar o pó metálico à temperatura ambiente para formar uma tira compacta verde, sinterizar continuamente a tira compacta verde em um correia transportadora em um forno, formar a tira compacta verde em uma tira próxima da forma final ainda no forno, e resfriar a tira próxima da forma final em um ambiente não oxidante a uma temperatura superior a 1.000 graus Celsius.

Antecedentes da Invenção

[002]A técnica existente para fabricar certas chapas de metal em pó, incluindo placas de célula de combustível, é usar um pó compreendendo 95% de Cr e 5% de Fe. O pó é compactado em uma prensa na forma desejada. O compacto verde é sinterizado em um forno a 1.120 °C. A parte sinterizada é então forjada/cunhada (ré-forjamento) em uma prensa para aumentar a densidade e então finalmente ressinterizada a 1.400 °C.

[003]Representativa da técnica é a patente US 6.436.580 (2002) que revela um método de fabricar chapa fina metálica porosa compreendendo espalhar pó metálicos em uma correia de alimentação ou um chapa de suporte que é continuamente alimentada; a correia de alimentação ou uma chapa de suporte na qual os pós metálicos foram espalhados passa através de forno de sinterização; e os pós metálicos são sinterizados, com pós metálicos adjacentes não comprimidos parcialmente em contato mútuo e com folgas presentes entre eles. Consequentemente, porções de contato dos pós metálicos são mutuamente integradas e as folgas são formadas como poros finos.

[004]O que é necessário é um método de fabricar chapas de metal em pó compreendendo alimentar uma massa pré-determinada de pó metálico em uma esteira móvel, restringir o pó metálico envolvendo o pó metálico com paredes limites

vibratórias estendendo-se na direção do movimento da esteira, laminar o pó metálico à temperatura ambiente para formar uma tira compacta verde, sinterizar continuamente a tira compacta verde em um correia transportadora em um forno, formar a tira compacta verde em uma tira próxima da forma final ainda no forno, e resfriar a tira próxima da forma final em um ambiente não oxidante a uma temperatura superior a 1000 graus Celsius. A presente invenção atende esta necessidade.

Sumário da invenção

[005]O aspecto primário da invenção é um método de fabricar chapas de metal em pó compreendendo alimentar uma massa pré-determinada de pó metálico em uma esteira móvel, restringir o pó metálico envolvendo o pó metálico com paredes limites vibratórias estendendo-se na direção do movimento da esteira, laminar o pó metálico à temperatura ambiente para formar uma tira compacta verde, sinterizar continuamente a tira compacta verde em um correia transportadora em um forno, formar a tira compacta verde em uma tira próxima da forma final ainda no forno, e resfriar a tira próxima da forma final em um ambiente não oxidante a uma temperatura superior a 1000 °C.

[006]Outros aspectos da invenção serão salientados ou ficarão óbvios pela descrição seguinte da invenção e dos desenhos anexos.

[007]A invenção compreende um método de fabricar chapas de metal em pó compreendendo alimentar uma massa pré-determinada de pó metálico em uma esteira móvel, restringir o pó metálico envolvendo o pó metálico com paredes limites vibratórias estendendo-se paralelas à direção do movimento da esteira, laminar o pó metálico à temperatura ambiente para formar uma tira compacta verde, sinterizar continuamente a tira compacta verde em um forno, formar a tira compacta verde em uma tira próxima da forma final ainda no forno, e resfriar a tira próxima da forma final em um ambiente não oxidante a uma temperatura superior a 1.000 graus Celsius.

Descrição Resumida dos Desenhos

[008]Os desenhos anexos, que estão incorporados e que formam uma parte da especificação, ilustram modalidades preferidas da presente invenção e, junto com

uma descrição, servem para explicar os princípios da invenção.

A figura 1 é uma tabela de tecnologias anteriores de célula de combustível.

A figura 2 é uma vista lateral esquemática do processo inventivo.

A figura 3 é uma vista esquemática de topo do processo inventivo.

A figura 4A é uma vista lateral dos cilindros de laminação a frio.

A figura 4B é uma vista lateral dos cilindros de laminação a quente.

A figura 5 é um gráfico mostrando uma curva de resfriamento da parte.

A figura 6 é uma vista lateral da superfície do cilindro.

A figura 7 é uma vista em perspectiva do sistema.

Descrição Detalhada da Modalidade Preferida

[009]Células de combustível são um dos mais promissores sistemas de geração de energia para o futuro. Tipicamente, uma célula de combustível de óxido sólido (SOFC) consiste no eletrodo de combustível (anodo) e no eletrodo de oxigênio (catodo) que são interconectados por um eletrólito condutor iônico. Os eletrodos são eletricamente acoplados a uma carga elétrica por meio de condutores (fios) fora da célula. Células de combustível de óxido sólido podem ser operadas em uma faixa de temperatura de aproximadamente 800°C a 1.000°C em hidrogênio com 5% ou 50% de água a densidades de corrente variando de 0,25 A cm⁻² a 1 A cm⁻². A célula de combustível tipicamente usa hidrogênio como o combustível. Dessa maneira, as placas de célula de combustível de chapas produzidas por metalurgia do pó têm que ser fabricadas com esta condição de desenho em mente.

[010]A figura 1 é uma tabela descrevendo tecnologias anteriores de célula de combustível. Como se pode ver na figura 1, cada célula tem certas exigências de material. Como para a figura 1, um dos tipos de células de combustível é a célula de combustível de óxido sólido (SOFC). Existem seis ligas comuns para o material de interconexão de células de combustível tipo SOFC. O tipo a base de cromo pode ser composto de 95% cromo, 5% ferro, com ou sem ítria.

[011]Esta invenção melhora o processo de fabricação das placas de célula de combustível SOFC a base de cromo, também conhecidas como placas de

interconexão, ou qualquer outro material que não pode ser feito em uma chapa metálica e cunhado convencionalmente por causa de sua falta de conformabilidade ou ductilidade. Por causa das propriedades esperadas das placas de célula de combustível, o tipo a base de cromo é preferido por alguns fabricantes de célula de combustível.

[012]O processo inventivo compreende alimentação do pó, fundição da esteira e laminação do pó. A combinação de todos os três processos, mais o uso de paredes vibratórias no alimentador, é uma maneira inventiva de fabricar eficiente e rapidamente placas de célula de combustível de densidade uniforme e de espessura uniforme.

[013]Diferente de outros possíveis materiais, tais como diferentes graus de aço inoxidável que podem ser feitos na forma de tira e subsequentemente cunhados (estampados) em uma prensa, o 95% de Cr - 5% de Fe não pode ser feito na forma de chapa metálica e não pode ser cunhado por causa de ter propriedades de conformabilidade muito ruins. Consequentemente, a técnica existente para fabricar essas chapas é misturar pó de 95% de Cr com 5% de Fe; separadamente compactar o pó em um prensa de pó metálico na forma desejada; sinterizar as partes em um forno a 1.120 graus Celsius; forjar/cunhar (ré-forjamento) a parte em uma prensa para aumentar a densidade e re-sinterizar a 1.400 graus Celsius. Cada etapa discreta envolve repetidamente manusear e movimentar cada parte.

[014]O processo inventivo substitui o processo de fabricação da tecnologia anterior com o processo revelado que é mais simples, mais eficiente e menos caro. Adicionalmente, ele exige menos capital em equipamento e pode ser realizado em uma célula de fabricação contínua. Adicionalmente, a formação das chapas a alta temperatura remove substancialmente toda porosidade na parte acabada.

[015]A figura 2 é uma vista lateral esquemática do processo inventivo. O processo usa um pó compreendendo uma mistura de 95% de Cr com 5% de Fe. O pó é compactado formando o pó em uma tira compacta verde de material similar a uma chapa metálica por alimentação do pó, fundição da esteira e laminação do pó. O processo gera uma tira compacta verde com uma densidade uniforme e espessura

uniforme com a largura desejada.

Processo

[016]Primeiro, geralmente na região (1), alimentação de pó 100 é utilizada para alimentar o pó metálico uniformemente em uma cavidade da matriz com uma cabeça móvel de varredura 101. O pó é tipicamente armazenado em um silo 102 que alimenta por gravidade a cabeça 101. A cabeça 101 é alimentada por um alimentador vibratório 104.

[017]No processo inventivo, a alimentação de pó metálico é feita em uma esteira de plástico móvel (ou outro material adequado) 200 onde o pó metálico é restrito pelas paredes laterais (201, 202). As paredes laterais 201, 202 são paralelas à direção de alimentação. O alimentador de pó 101 descarrega continuamente pó metálico, mantendo assim a tira sempre cheia com uma quantidade uniforme de pó metálico. O sistema de acionamento da esteira 200 é sincronizado e assistido pelo correia transportadora 204 que encaixa o lado de baixo da esteira 200. Fundição da esteira é tipicamente usada para alimentar pós cerâmicos em um forno de cura. Em cada extremidade da tira, o lado do começo (alimentação de entrada) é restrito por uma parede 203, e a outra extremidade por dois cilindros 301, 302, vide figura 2.

[018]As paredes laterais dão ao sistema de alimentação de pó metálico a altura necessária para alimentar por completo o pó metálico na esteira. As paredes (201, 202) também impedem que o pó solto caia nos lados. Uma parede 204 também controla o pó à medida que ele escoar na esteira.

[019]A fim de que as paredes (201, 202, 204) não criem muito atrito ou grudem o pó metálico, elas vibram todo o tempo. As paredes (201, 202) terminam nos cilindros 300, mas a esteira é puxada para os cilindros, e através deles, a saber, pelo cilindro 302.

[020]A figura 3 é uma vista esquemática de topo do processo inventivo. Em seguida, é realizada laminação do pó laminar. Embora os cilindros 301, 302 laminem uma tira plana verde, um tem uma saliência de topo plano 302 e o oposto tem uma canalura de base plana 303, vide figura 4A. A largura plana (D) é a largura da esteira

plástica 200 que é a largura da tira compacta verde (GS) à medida que ela sai dos cilindros 301, 302. A esteira plástica 200 é desprendida da tira verde depois da laminação.

[021]Em seguida, no geral na região (2), a tira compacta verde contínua (GS) é alimentada em um forno 400 suportado por um correia transportadora móvel a alta temperatura 402. A tira compacta verde GS desloca através de uma porta 401 que é usada em fornos de sinterização de pó metálico de forma a ter um ambiente do forno sem oxigênio. O comprimento de deslocamento da tira GS é grande o bastante para levá-la para uma temperatura de 1.400 graus Celsius (ou qualquer outra temperatura desejada) e entregá-la os cilindros em forma de rede 501, 502 que estão dentro do forno 400. A laminação a quente da tira GS ocorre na temperatura de sinterização. O tempo de permanência no forno na temperatura de sinterização é aproximadamente 30 minutos.

[022]A espessura da tira verde GS na primeira operação de laminação 300 é calculada e ajustada para entregar o peso exato (massa) de material (mais uma fração de aproximadamente um por cento por segurança, se necessário) a uma largura constante na operação de laminação final nos cilindros 500. A mudança de densidade é levada em conta quando se vai da tira compacta verde fria para a tira próxima da forma final quente. Em decorrência disto, o controle adequado do fluxo de massa do alimentador 101 é importante. O controle do volume do metal na tira GS é menos crítico já que o volume e espessura serão reduzidos pela laminação a quente em 500, que reduz ou elimina completamente as porosidades.

[023]Os cilindros em forma de rede 500 aplicam os mesmos princípios das saliências 503 e entalhes 504, vide figura 4B, para garantir que a compactação lateral seja precisa e eliminar rebarba lateral, que representa perda. Cada superfície 503 e 504 compreende os recursos superficiais adequados para imprimir a forma adequada e recursos na parte acabada em forma de rede NS. Em termos de confinamento lateral, isto é similar a uma operação de laminação para a maioria dos metais onde os lados são mantidos constantes.

[024]A operação de laminação no forno exige que os cilindros (501, 502) sejam internamente resfriados com água com insertos nas áreas de formação. Uma vez que a laminação é feita a altas temperaturas no forno, a compactação é na forma final de rede com pouca ou nenhuma porosidade remanescente na parte acabada. A fim de que a forma final da laminação a quente da rede seja bem sucedida, a tira compacta verde GS tem que ser de densidade uniforme e espessura uniforme.

[025]Depois de a operação de laminação 500 ter terminado, as partes em forma de rede (NS) são resfriadas no ambiente não oxidante 404 do forno e subsequentemente elas saem do forno 600. Novamente, uma atmosfera redutora protetora é necessária para impedir oxidação do material, geralmente na região (3).

[026]Depois de sair do forno, pequenas quantidades de rebarba (se houver) entre partes são removidas por qualquer processo conhecido. Não deve haver rebarba nos lados por causa de restrições nos cilindros 300 e 500. O arranjo de laminação pode ser tanto de dois cilindros, quanto dois cilindros suportados por cilindros de encosto maiores. Isto é similar a laminadores, onde, usando cilindros menores, consegue-se uma força mais concentrada sobre uma menor área superficial, embora os cilindros maiores impeçam a deflexão dos cilindros de menor diâmetro.

[027]Uma vez que a formação por laminação pressiona o pó em uma banda mais localizada e estreita, comparado com cunhagem em uma prensa, é possível gerar tensões compressivas localizadas muito maiores no pó do que uma compactação em prensa, onde toda a parte é sujeita a tensões de formação ao mesmo tempo. Consequentemente, o processo inventivo alcança uma alta compactação, especialmente a altas temperaturas, de forma que porosidade é completamente eliminada.

[028]Usando a tecnologia anterior, prensas de pó metálicos para fabricar tais placas de célula de combustível podem ser muito caras por causa das exigências de alta tonelagem. Entretanto, com o uso do processo inventivo, compactação localizada por laminação de pó exige equipamento mais simples, de menor tonelagem e de menor custo.

[029]A figura 6 é uma vista lateral dos cilindros. Cada cilindro (302, 502)

compreende uma superfície externa 303, 503, respectivamente. Cada superfície 303, 503 é o "negativo" ou inverso da chapa que está sendo laminada. Cada superfície 303, 503 coopera com a superfície 304, 504, respectivamente, vide figuras 4A e 4B. Em uma modalidade alternativa, o cilindro 302 não tem uma superfície com recurso "negativo" e, em vez disso, a superfície é simplesmente plana, como mostrado na figura 4A.

[030]A figura 7 é uma vista em perspectiva do sistema. As partes em forma de rede NS saem do forno em uma tira contínua ou como partes individuais separadas depois da laminação final. As partes são então separadas e processadas para armazenamento ou instalação. O correia transportadora de rolos 405 suporta a tira verde GS. O correia transportadora de rolos 406 suporta as partes em forma de rede NS.

[031]O processo inventivo pode ser modificado de muitas diferentes maneiras. Uma parte significativa do processo é a primeira etapa de gerar uma tira de pó compactado verde com espessura consistente e uniforme e densidade consistente e uniforme, similares à de uma chapa metálica. O processo revelado preceitua um forno e laminação a quente convencionais para o segundo estágio.

[032]Outras alternativas incluem aquecimento por indução, em vez de se usar um forno convencional. Uma atmosfera protetora não oxidante é necessária. O aquecimento por indução elimina a necessidade de usar um forno comprido.

[033]Uma outra alternativa é forjamento a quente, em vez de laminação a quente. A tira verde compactada pode ser alimentada em uma prensa de forjamento depois de ser aquecida no forno, ou de aquecimento por indução. Uma prensa tipo lâmina pode ser usada para cortar um certo comprimento da tira quente que é então alimentada na prensa de forjamento. Isto resulta na entrega de um peso preciso e uniforme do metal na cavidade da matriz. Na modalidade alternativa, a prensa de forjamento fica posicionada no mesmo local dos cilindros 500. Embora laminação a quente seja preferida por causa da necessidade de aplicar pressão localizada, forjamento a alta temperatura de aproximadamente 1.400 graus Celsius (ou qualquer outra temperatura desejada) pode também reduzir significativamente as porosidades.

[034] Ainda em uma outra alternativa, durante o estágio de resfriamento, as partes formadas em rede podem ser introduzidas em uma atmosfera oxidante ao atingir uma temperatura de aproximadamente 1.000 graus Celsius ou menos. Isto permite que a parte seja estabilizada para suas condições de serviço visadas em célula de combustível. Por exemplo, isto pode ser conseguido tendo a saída das partes para uma zona do forno de correia que tem uma temperatura controlada abaixo de 1.000 graus Celsius com um fluxo de ar atmosférico apropriado. A figura 5 é um gráfico mostrando uma curva de resfriamento para a parte em que a parte sai da atmosfera redutora e é resfriada e então entra em uma zona de encharque com uma atmosfera oxidante. O tempo de encharque na atmosfera oxidante é na faixa de aproximadamente dez a doze horas.

[035] O peso de pó metálico entregue na cavidade poderia ser uma fração de aproximadamente um por cento mais do que o peso da parte acabada para garantir completo enchimento da cavidade da matriz. O peso extra resultará em uma camada muito leve e fina de rebarba que pode ser removida facilmente.

[036] As vantagens do processo inventivo incluem um processo com custo muito menor; um processo com custo de capital muito menor; etapas de processamento mais fáceis e eliminação de complexidade; melhor qualidade, a saber, a porosidade na parte chegando a zero ou sendo extremamente baixa. Adicionalmente, ela permite o uso de apenas uma célula de fabricação contínua e compacta para produzir a parte acabada. Embora o processo inventivo possa ser usado para fabricar células de combustível tipo óxido sólido, este método pode ser usado em qualquer aplicação similar onde existe uma necessidade de chapas que possam manusear eletrólito de alta temperatura sem corroer e com um dado grau de expansão a temperaturas mais altas. Finalmente, este processo pode ser usado para qualquer material que não pode ser feito em chapa metálica e que tem pouca ou nenhuma conformabilidade.

[037] Embora tenha sido aqui descrita uma forma da invenção, ficará óbvio aos versados na técnica que variações podem ser feitas na construção e relação de partes sem fugir do espírito e escopo da invenção aqui descrita.

REIVINDICAÇÕES

1. Método de fabricar chapas de metal em pó **CARACTERIZADO** pelo fato de que compreende:

alimentar uma massa pré-determinada de pó metálico em uma esteira móvel (101);

restringir o pó metálico envolvendo o pó metálico com paredes limites vibratórias (201, 202) estendendo-se paralelas à direção do movimento da esteira;

laminar o pó metálico à temperatura ambiente para formar uma tira compacta verde (GS);

sinterizar continuamente a tira compacta verde em um forno (400);

formar a tira compacta verde em uma tira próxima da forma final (NS) enquanto ainda no forno; e

resfriar a tira próxima da forma final em um ambiente não oxidante (404) a uma temperatura superior a 1.000 °C.

2. Método, de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato de que compreende adicionalmente sinterizar continuamente a tira compacta verde (GS) a uma temperatura de 1.400 °C.

3. Método, de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato de que compreende adicionalmente laminar a tira compacta verde (GS) em uma tira próxima da forma final (NS) que ocorre a uma temperatura de 1.400 °C.

4. Método, de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o forno (400) compreende um forno de indução.

5. Método, de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato de que formar a tira compacta verde (GS) compreende forjar a quente a tira compacta verde.

6. Método, de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato de que formar a tira compacta verde (GS) compreende laminar a quente a tira compacta verde.

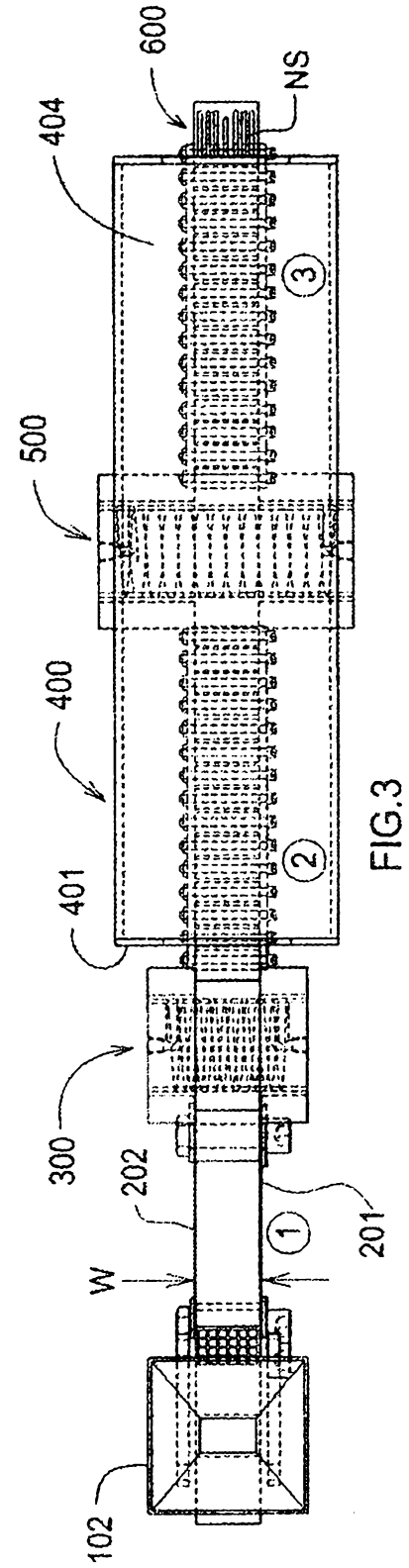
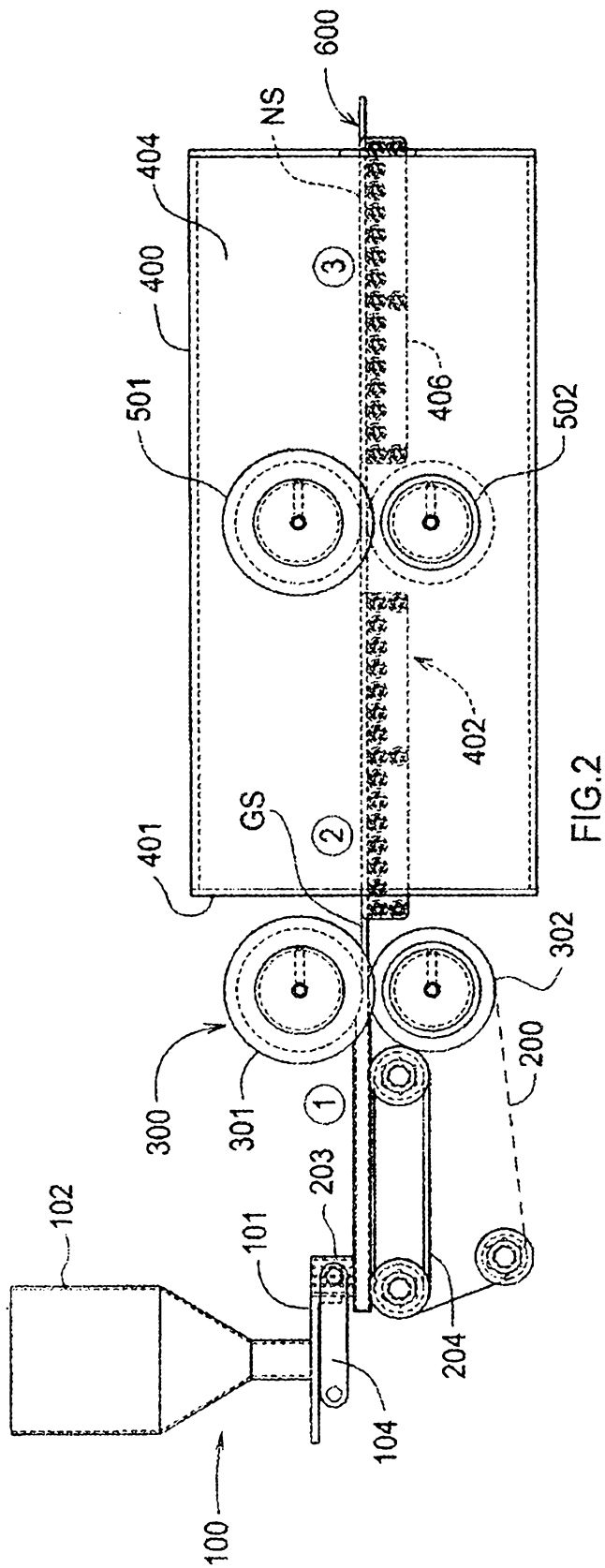
7. Método, de acordo com a reivindicação 5, **CARACTERIZADO** pelo fato de

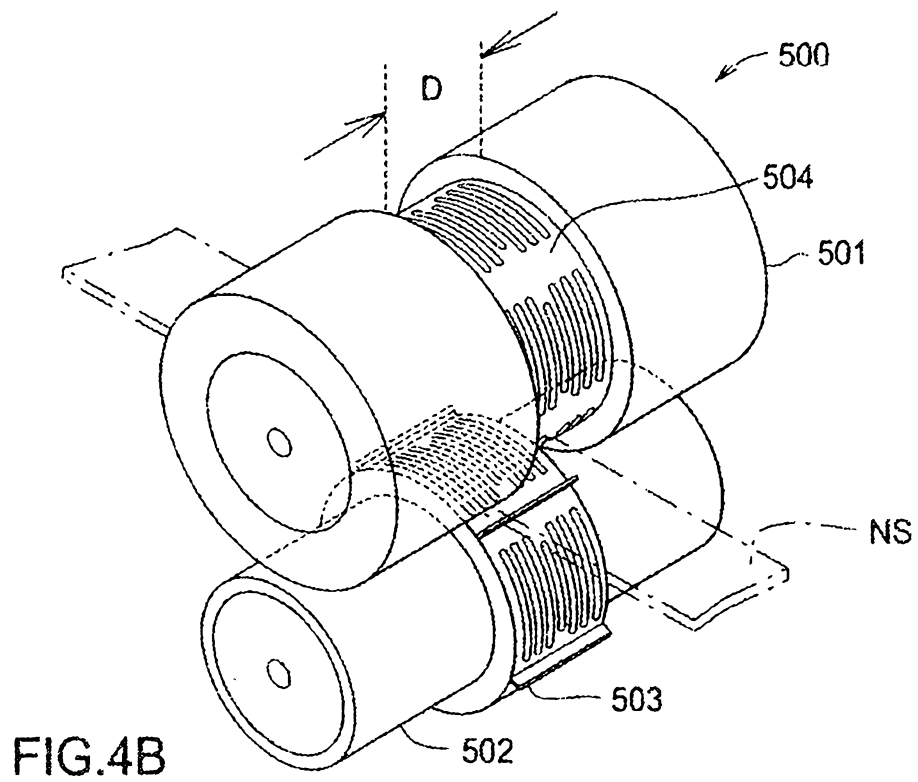
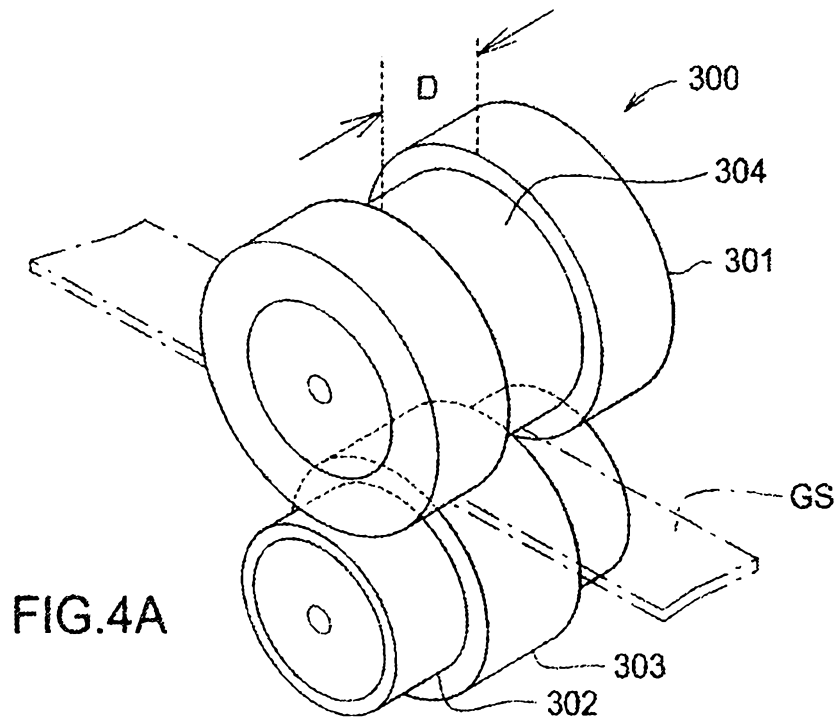
que compreende adicionalmente a etapa de cortar a tira compacta verde (GS) antes do forjamento a quente.

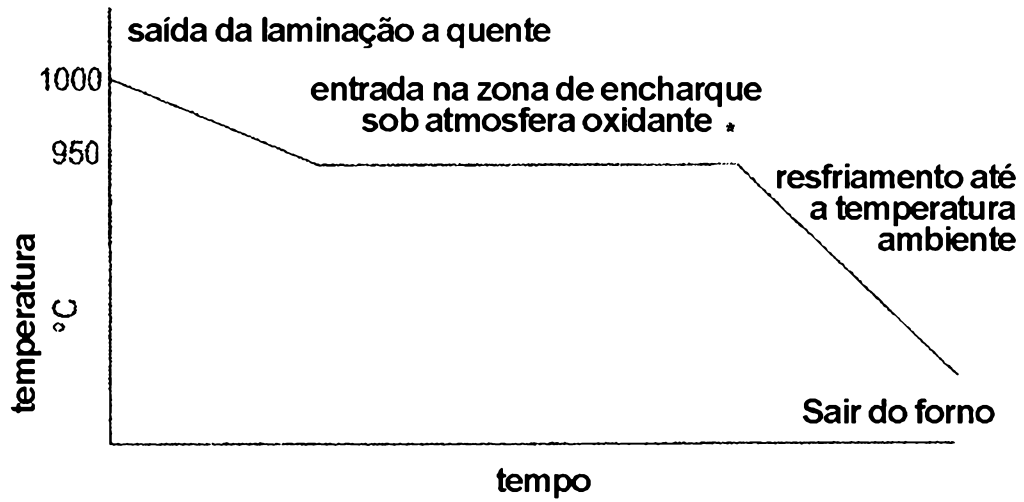
8. Método, de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o resfriamento da tira próxima da forma final em um ambiente oxidante é por um período na faixa de dez a doze horas.

	CÉLULAS DE COMBUSTÍVEL				
TIPO	PEMFC	MCFC	SOFC	PAFC	DMFC
DESCRIÇÃO	membrana de troca de prótons	carbonato fundido	óxido sólido	ácido fosfórico	metanol direto
Temperatura operacional	90 °C	650 °C	800-1.000 °C	190 °C	120 °C
Aplicações	transporte, geração de energia estacionária pequena e grande, aplicações portáteis, aeroespacial, militar	geração de energia estacionária grande	geração de energia estacionária pequena e grande, transporte de nicho	geração de energia estacionária pequena e grande	nicho de transporte pequeno (submarinos), veículos de trabalho leve, aparelhos portáteis
Anodo	placa de carbono com platina	liga Ni/Cr porosa	óxido de níquel/YSZ	placa de carbono com platina	placa de carbono com platina
Catodo	placa de carbono com catalisador de platina	óxido de Ni poroso	mangano de lantânio	placa de carbono com catalisador de platina	placa de carbono com catalisador de platina
Eletrólito	membrana de polímero saturada com água	carbonato de lítio, carbonato de sódio e/ou carbonato de potássio suportado em matriz consolidada sólida de aluminato de lítio	YSZ	eletrólito de ácido fosfórico é mantido em uma matriz de carboneto de silício na interface catodo-anodo	membrana de polímero
IC	polímero condutor, metálico	metálico	cerâmico condutor, metálico	Polímero condutor, metálico	polímero condutor, metálico

FIG. 1







* exemplos de atmosfera podem ser ar forçado, ar úmido, hidrogênio úmido

FIG.5

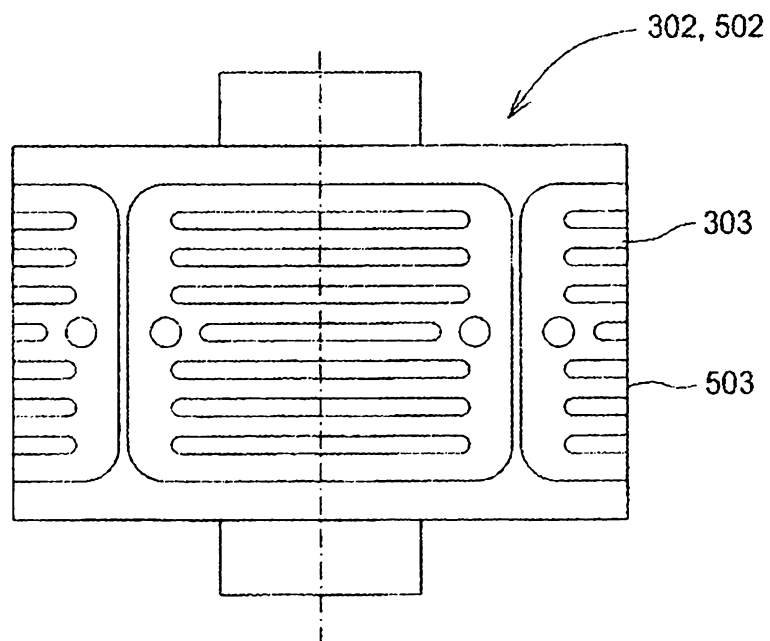


FIG.6

└

