



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

(11) PI 0816567-0 B1



(22) Data do Depósito: 10/10/2008

(45) Data de Concessão: 09/04/2019

(54) Título: GERADOR DE VAPOR PARA O DEPOSIÇÃO DE UM REVESTIMENTO METÁLICO SOBRE UM SUBSTRATO

(51) Int.Cl.: C23C 14/16; C23C 14/24; C23C 14/56.

(30) Prioridade Unionista: 12/10/2007 EP 07447056.8.

(73) Titular(es): ARCELORMITTAL FRANCE.

(72) Inventor(es): PIERRE BANASZAK; DIDIER MARNEFFE; ERIC SILBERBERG; LUC VANHEE.

(86) Pedido PCT: PCT EP2008063638 de 10/10/2008

(87) Publicação PCT: WO 2009/047333 de 16/04/2009

(85) Data do Início da Fase Nacional: 12/04/2010

(57) Resumo: GERADOR DE VAPOR PARA DEPOSIÇÃO DE UM REVESTIMENTO METÁLICO SOBRE UM SUBSTRATO. A presente invenção refere-se a um gerador de vapor para deposição de um revestimento metálico sobre um substrato (7), preferivelmente de uma chapa de aço, compreendendo uma câmara de vácuo (6) sob a forma de um recinto fechado englobando um cabeçote de deposição de vapor, chamado de ejetor (3) em comunicação de maneira hermética por meio de um conduto de alimentação (4) com pelo menos um cadinho (1) contendo um metal de revestimento em um estado fundido e situado no exterior da câmara de vácuo (6), sendo que o ejetor (3) compreende uma fenda longitudinal de saída do vapor, fazendo o papel de garganta sônica, estendendo-se sobre toda a largura do substrato, um meio filtrante ou um mecanismo de perda de carga (5A) de material sinterizado sendo disposto no ejetor imediatamente antes da mencionada fenda na passagem do vapor para uniformizar a velocidade de escoamento do vapor saindo do ejetor (3) pela a garganta sônica.

"GERADOR DE VAPOR PARA DEPOSIÇÃO DE UM REVESTIMENTO METÁLICO SOBRE UM SUBSTRATO"

Campo da invenção

[001] A presente invenção refere-se a um gerador de vapor industrial para revestimento contínuo em vácuo de um substrato em movimento, mais particularmente uma chapa metálica, por meio de um vapor metálico visando formar uma camada de metal e, preferivelmente, uma camada de liga metálica sobre sua superfície, de maneira a assegurar-lhe uma excelente resistência contra corrosão, conservando as boas características de conformação e de solda.

Antecedentes da invenção

[002] É conhecido desde o final dos anos 80 que o depósito de certas ligas, tais como ZnMg, na superfície de uma chapa de aço, age como proteção do aço. O excelente comportamento contra corrosão da liga ZnMg é atribuída à natureza dos produtos de corrosão formados na superfície da chapa em uma camada extremamente densa, que age como filme-barreira.

[003] Uma deposição de liga não é geralmente possível por meio das técnicas habituais tais como deposição de eletrolítico, o revestimento por encharcamento, etc. Com a pressão atmosférica, no encharcamento, por exemplo, pode-se ter contaminação do banho de metal fundido pelo oxigênio do ar, que forma óxidos na superfície do banho.

[004] Frequentemente, a única saída possível é, portanto, a evaporação a vácuo do metal fundido, puro ou na forma de uma liga (técnica PVD, *Pressure Vapor Deposition*: Deposição de Vapor por Pressão).

[005] No escopo dessa técnica, é conhecido que o

substrato é colocado em uma câmara de vácuo mantida em baixa temperatura e compreendendo um cadinho de metal fundido. O depósito efetua-se então sobre todas as paredes em uma temperatura que é inferior à temperatura do vapor metálico. Para aumentar o rendimento de depósito sobre o substrato e evitar os desperdícios, tem-se então interesse em aquecer as paredes do recinto fechado.

[006] O documento US-A-5,002,837 descreve o depósito por evaporação de um revestimento bicamada Zn/ZnMg com uma fase Zn_2Mg ou $Zn_2Mg/Zn_{11}Mg_2$ totalmente ligada.

[007] No documento Ep-A-0 730 045, descreve-se um revestimento de chapa de aço com uma deposição de 3 ou 5 camadas de liga ZnMg depositadas a vácuo e assegurando uma resistência muito boa à corrosão com um mínimo de pulverização ("powdering") durante a conformação.

[008] No documento WO-A-02/06558 (ou Ep-A-1 174 526), um revestimento de ZnMg é obtido a vácuo por co-evaporação a partir de dois cadinhos, um com zinco e o outro com magnésio. Antes de eles serem pulverizados sobre a chapa, os vapores são misturados em um ejetor e cada conduto de vapor apresenta um dispositivo de estrangulamento ou uma restrição na forma de placas providas com furos ou fendas de vários formatos, o que permite obter um jato de vapor com velocidade sônica e uma taxa de fluxo de vapor máxima no ejetor. O vapor é introduzido a partir dos cadinhos dentro da câmara de vácuo através do ejetor por meio da abertura "completa ou não" das válvulas também chamadas de obturadores mecânicos com duas posições "on/off" que são, respectivamente, abertas quando o sistema é iniciado e fechado quando ele é desligado. . A utilização dessas válvulas provê uma solução potencial para o

problema de aquecimento ou resfriamento no momento da partida ou parada. Se é necessário aquecer o vapor de maneira controlada para eliminar o risco de recondensação é proposto utilizar um trocador de calor tal como um filtro poroso condutor aquecido por indução no conduto atravessado pelo vapor.

[009] No documento WO-A-02/14573, descreve-se a elaboração de um revestimento a partir de um revestimento base de zinco obtido por um processo convencional de galvanização por encharcamento ou método de eletro-galvanização, o qual é então revestido a vácuo com magnésio. Um aquecimento rápido por indução permite a refusão do depósito em alguns segundos e a obter, após resfriamento, uma distribuição micro-estrutural favorável da liga da fase ZnMg em toda a espessura da camada.

[010] A depositante também propõem um produto industrial bicamada eletro-revestido de zinco/liga ZnMg obtido por PVD (EP-A-0 756 022), assim como um melhoramento do processo com um sistema de aquecimento infravermelho para promover a liga do magnésio com o zinco a fim de minimizar a formação de fase intermetálica frágil FeZn.

[011] No documento WO-A-97/47782, descreve-se um processo para revestimento contínuo de um substrato em movimento, no qual o vapor metálico é gerado por indução de aquecimento em um cadinho contendo um banho constituído pelo metal de revestimento em uma câmara a vácuo. O vapor escapa do cadinho por um conduto que o conduz para um orifício de saída, que é de preferência calibrado, de maneira a formar um jato dirigido para a superfície do substrato a ser revestido. A utilização de um orifício sob a forma de uma fenda

longitudinal com uma secção estreita permite a regulagem da taxa de fluxo de vapor pelo peso em uma constante de velocidade sônica ao longo da fenda (garganta sônica), o que tem a vantagem de se ter um depósito uniforme. c Esta técnica será referida aqui após o acrônimo "JVD" (para *Jet Vapor Deposition*: deposição por jato de vapor).

[012] Esta tecnologia apresenta, entretanto, várias falhas, particularmente:

- a alimentação permanente de metal fundido implica prever o retorno ao tanque do mesmo em um ou em vários pontos;
- o metal fundido compreendendo impurezas, há concentração dessas impurezas na superfície do banho seguida na evaporação, o qual reduz o fluxo. Uma solução seria um revestimento final da superfície ou uma reciclagem da carga, porém toda operação mecânica torna-se difícil a vácuo;
- a dificuldade de adaptar a fenda de evaporação a uma largura variável de chapa, o qual implica meios para bloquear uma parte da fenda sobre ambos os lados, e assim a criação de uma vedação hermética a vapor à vácuo e a 700°C, o qual não é fácil de realizar;
- a dificuldade para bloquear a fenda quando o movimento da chapa é interrompido, o qual implicaria na presença de uma válvula linear impenetrável sobre um comprimento típico de 2 metros ou mais;
- a grande inércia térmica do sistema (pelo menos de vários minutos);
- o aquecimento, realizado por indução a vácuo, requer a passagem de toda a potência elétrica de aquecimento através da parede hermética a vácuo, o que não facilita a acessibilidade e a manutenção da instalação.

[013] Além disso, o estado da técnica não apresenta solução satisfatória para a necessidade de realizar o co-depósito de dois metais distintos, implicando em mistura de dois jatos de saída do vaporizador. A utilização de recipientes de mistura intermediários com defletores não provê uma solução convincente.

[014] É possível produzir revestimentos de ligas de metal (por exemplo, 85% Zn, 15% Mg) controlando rigorosamente a concentração dos dois metais no cadinho. Contudo esse controle implica em grandes dificuldades de gestão do sistema, e em particular, a homogeneidade no cadinho, sobretudo se a última não tem secção circular.

[015] Adicionalmente, também é conhecido que a sociedade Sydrabe Inc. (de Letônia) também propôs um processo PVD onde a fonte de metal fundido é disposta fora da câmara de deposição a vácuo, inicialmente para evitar que partículas finas de magnésio sólido sejam depositadas sobre o substrato, em alta velocidade. A separação da zona de fusão a partir do recipiente de evaporação por um conduto de comunicação permite regular mais facilmente a evaporação. Em particular, a pressão do vapor é medida neste conduto (por exemplo, em SVC 505/856-7188 *42nd Annual Technical Conference Proceedings (1999)*, pp. 39-42).

[016] O documento WO-A-2005/116290 propõe uma instalação desse tipo onde os respectivos níveis de metal fundido no cadinho de fusão e no cadinho de evaporação são regulados por meio de uma bomba magneto-hidrodinâmica.

Sumário da invenção

[017] A presente invenção visa fornecer uma solução que permite remediar os inconvenientes do estado da técnica.

[018] Particularmente, a invenção visa alcançar, especialmente, os seguintes objetivos:

- simplicidade de realização;
- acessibilidade e manutenção fáceis dos cadinhos;
- excelente uniformidade da deposição metálica e um mecanismo simples de ajuste para o cabeçote de deposição às larguras variáveis de chapa e, o que pode exceder a 2 metros;
- fluxo de vapor maximizado;
- mistura magnética elevada para evitar a segregação das impurezas na superfície;
- regulagem fácil da taxa de fluxo de vapor, através do controle da potência elétrica e/ou da temperatura de superfície de evaporação;
- instalação facilitada pelas válvulas nos condutos cilíndricos de diâmetro reduzido.

Principais elementos característicos da invenção:

[019] A presente invenção refere-se, conforme a reivindicação principal 1, a um gerador de vapor para deposição de um revestimento metálico sobre um substrato, preferivelmente de uma chapa de aço, compreendendo uma câmara de vácuo sob a forma de um recinto fechado, provida de meios para assegurar um estado de baixa pressão em relação ao meio exterior e equipada com meios que permitem a entrada e a saída do substrato, enquanto é mais ou menos vedada em relação ao meio exterior, o mencionado recinto fechado englobando um cabeçote de deposição de vapor, chamado de ejetor, conformado para criar um jato de vapor metálico com velocidade sônica na direção de, e perpendicular à superfície do substrato, o mencionado ejetor estando conectado de maneira hermética por meio de um conduto de

alimentação com pelo menos um cadinho com um metal de revestimento em um estado fundido e situado fora da câmara de vácuo, sendo que o ejetor compreende uma fenda longitudinal de saída do vapor, que age como garganta sônica, estendendo-se através de toda a largura do substrato, um meio filtrante ou um mecanismo de perda de carga feito de material cerâmico sendo disposto no ejetor imediatamente antes da mencionada fenda na passagem do vapor para uniformizar a velocidade de escoamento do vapor saindo do ejetor através da garganta sônica. Entende-se por uniformizar a velocidade de escoamento uniformizar e redirecionar os vetores de velocidade do mencionado vapor.

[020] Conforme as formas de concretização preferidas da invenção, mencionadas nas reivindicações dependentes, o gerador de vapor, segundo a invenção, compreende ademais uma ou várias das características seguintes, as quais devem ser consideradas como tomadas em combinação com as características da reivindicação principal:

- o mencionado meio filtrante ou mecanismo de perda de carga é feito de titânio;
- o mencionado meio filtrante ou mecanismo de perda de carga é uma peneira metálica de fibras inoxidáveis sinterizadas;
- o gerador compreende meios para regular a pressão de vapor metálico no ejetor sem provocar inércia durante as transições de pressão;
- os mencionados meios de regulagem compreendem uma válvula proporcional com, opcionalmente, um dispositivo de perda de carga disposto no mencionado conduto;
- a válvula proporcional é uma válvula tipo borboleta;
- o gerador compreende os meios para ajustar o comprimento da

fenda longitudinal na largura do substrato;

- os mencionados meios compreendem os meios de rotação do ejetor em torno de seu conduto de alimentação;

- o cadinho contém uma mistura de metais em um estado fundido;

- o cadinho é alimentado por bombeamento ou por gravidade do metal fundido a partir de um forno de fusão;

- o cadinho compreende um indutor montado para fora de modo a assegurar a agitação magnética do metal fundido;

- o cadinho compreende uma saída de expurgo na direção do forno de fusão operado por bombeamento ou escoamento gravitacional;

- o cadinho compreende os meios externos para medição de massa para capacitar a regulagem do nível de metal fundido;

- o ejetor, o conduto e o cadinho estão isolados termicamente do meio exterior e aquecidos por um dos elementos aquecedores por radiação, chamados simplesmente de "forno de radiação";

- o gerador compreende os meios de aquecimento opcionais para aquecimento do recinto fechado a vácuo;

- o gerador compreende dois cadinhos com metais diferentes no estado fundido;

- cada cadinho é conectado por seu próprio conduto a um misturador, que é ele mesmo, conectado ao ejetor;

- cada conduto compreende uma válvula com, opcionalmente, um dispositivo de perda de carga permitindo o ajuste das concentrações de cada metal no momento da mistura dos vapores a serem depositados sobre o substrato e a regulação da pressão dos vapores metálicos na mistura sem provocar inércia no momento de transições de pressão;

- o misturador é o próprio ejetor e compreende um meio

filtrante feito de material sinterizado permitindo uniformizar a velocidade de escoamento do vapor de cada metal saindo do ejetor;

- o mencionado meio filtrante de material sinterizado é feito de titânio ou apresenta-se sob a forma de uma peneira metálica de fibras de aço inoxidável sinterizado.

Breve descrição das figuras

[021] As figuras 1A a 1C representam uma vista esquemática de vários exemplos de concretização do gerador de vapor industrial de acordo com a presente invenção;

[022] As figuras 2A e 2B representam os detalhes de concretização, respectivamente, do cadinho de metal fundido e do ejetor de vapor segundo uma modalidade de concretização preferida da presente invenção. A figura 2B ilustra, particularmente, o sistema fácil para ajustar o jato de vapor à largura da chapa, por simples rotação do ejetor em torno de seu eixo;

[023] As figuras 3A até 3C representam várias vistas do ejetor de vapor de acordo com a presente invenção, ilustrando uma distribuição uniforme do metal vaporizado;

[024] As figuras 4 e 5 representam os resultados de simulação em mecânica dos fluidos para a câmara de evaporação anteriormente citada (respectivamente, temperatura e velocidade de saída);

[025] A figura 6 mostra uma micrografia obtida para uma deposição de magnésio sobre o ferro preto obtido com uma instalação piloto de acordo com a presente invenção;

[026] A figura 7 ilustra um exemplo de regulagem da abertura das válvulas na instalação segundo a invenção, assim como a velocidade de deposição média correspondente, sobre o

tempo para uma temperatura do magnésio fundido que é igual a 690°C; e

[027] A figura 8 representa uma vista esquemática de um gerador de vapor segundo a invenção em uma forma de concretização permitindo um depósito de uma liga de dois metais puros sobre o substrato.

Descrição detalhada da invenção

[028] A solução preconizada de acordo com a presente invenção consiste em utilizar um cadinho de evaporação que é separado de um cabeçote de ejeção JVD com uma fenda de saída de vapor longitudinal, chamada doravante de ejetor. O princípio geral de dito dispositivo é representado na figura 1A. Uma outra representação esquemática é dada na figura 1B. Uma visão geral da descrição de uma instalação piloto é dada na figura 1C. O cadinho 1 é alimentada por um conduto 1A a partir de um forno de fusão de magnésio 2, com decantação das impurezas. O tipo de forno de fusão 2 e de condutos 1A utilizados são de equipamentos normalmente utilizados na indústria da fundição e bem conhecidos do especialista na técnica. Particularmente, a fusão e o carregamento no aparelho, conforme a invenção serão realizadas por meio das técnicas comprovadas.

[029] Com o cadinho 1 sendo deslocado de forma cilíndrica, um alto nível de uniformidade de temperatura pode ser conseguida graças a uma agitação magnética significativa. A agitação magnética realizada por um indutor 1B ligado a este cadinho permite conservar uma homogeneidade em toda o cadinho, as segregações de impurezas não evaporadas (decantação e flutuação) são feitas no forno de fusão 2. Isto garante a consistência sobre o tempo das condições de

evaporação e, portanto, da deposição . A agitação magnética é ajustada pela frequência de indução dependendo da natureza do cadinho e de seu tamanho.

[030] O cadinho deslocado é ligada ao ejetor 3 (duplicado na figura 1A), que se encontra no recinto fechado a vácuo 6 através do qual passa a chapa metálica 7, por um conduto 4 cilíndrico, cuja secção é calibrada de modo a obter uma velocidade lenta (a velocidade na saída do cadinho é idealmente da ordem do metro por segundo até algumas dezenas de metro por segundo).

[031] A utilização de um conduto cilíndrico permite obter uma boa hermeticidade em alta temperatura e em vácuo, utilizando, por exemplo, uma válvula proporcional tal como uma válvula borboleta 5, tal como disponível comercialmente. A taxa de fluxo de vapor, o qual determina a espessura de metal depositado, é diretamente proporcional à potência útil fornecida (potência no indutor menos perdas térmicas), seja qual for a posição da válvula proporcional. Sem a utilização de tal válvula ou utilizando-se uma válvula de tipo aberta completamente ou fechada completamente como em EP-A-1 174 526, se a temperatura do vapor for aumentada, a pressão se ajusta ficando na curva de equilíbrio (P, T), mas com uma certa inércia, ou seja, não instantaneamente ou então provocando transições significativas acompanhado de aporte brusco de energia. A utilização de uma válvula proporcional permite obter, para uma mesma temperatura, pressões diferentes antes da válvula (no nível do cadinho) e depois da mesma. Se a potência fornecida for aumentada, mantém-se constante a pressão de deposição em um primeiro momento. A abertura da válvula permite então a expansão do vapor e o

aumento na pressão de deposição correspondente ao ponto de equilíbrio na curva (P, T) , ou seja, a pressão de vapor saturada.

[032] A figura 7 ilustra a utilização de dita válvula borboleta 5, possivelmente com um dispositivo para perda de carga 5A, para a regulação da taxa de fluxo de vapor. As taxas de fluxos em peso são constantes para uma dada posição da válvula e as transições são quase inexistentes.

[033] Uma outra vantagem significativa é que toda a parte externa do recinto fechado a vácuo 6 é acessível, a desvantagem sendo, entretanto, a realização obrigatória da vedação a vácuo e a alta temperatura no nível das junções na parte deslocada (não representada).

[034] Para aquecer o cadinho, o conduto e o ejetor, utiliza-se um aquecimento de tipo forno externo por radiação (de tipo forno cilíndrico com fios ou resistências de radiação). Tais fornos são utilizados em laboratório até uma temperatura de $1400-1500^{\circ}\text{C}$. Esse forno é, portanto, muito robusto visto que a temperatura de trabalho habitual para esta aplicação é da ordem de 700°C .

[035] Graças a esse forno por radiação, o vapor é superaquecido, o que permite afastar-se da temperatura de pressão de vapor saturada e, portanto, do ponto de condensação. O risco de nova condensação diminui assim. Ademais, simulações numéricas foram efetuadas para determinar a gama de velocidades que permite evitar a distensão adiabática e, assim, a condensação como resultada da redução da temperatura que esta causa.

[036] O fato de usar um aquecimento externo à câmara de vácuo, com isolamento térmico apropriado, tem um certo número

de vantagens:

- manutenção facilitada do sistema de aquecimento;
- isolamento e hermeticidade posicionado fora da câmara de vácuo, limitando os fenômenos de limpeza ("dégazage") a vácuo;
- redução dos problemas ligados à utilização de elementos aquecedores a vácuo e ligado ao resfriamento de suas conexões elétricas;
- limitação do número de cartuchos de aquecimento a vácuo no ejetor, com limite de utilização mais alto (melhor comportamente em função do tempo). Por exemplo, dois cartuchos de aquecimento a 1100°C são suficientes no caso do aquecimento por radiação;
- utilização de técnicas de aquecimento e de elementos de aquecimento robustos e confiáveis.

Descrição das formas de concretização preferidas

Instalação geral:

[037] Conforme uma forma de concretização preferida da invenção representada na figura 1B, um cadinho cilíndrico 1, contendo o magnésio fundido, está situado externamente ao tanque 6 e conectado a um cabeçote JVD, na forma de um ejetor de vapor de magnésio com uma fenda de saída disposta transversalmente sobre toda a largura da chapa. Conforme a invenção, esta última pode ser disposta indiferentemente na vertical ou na horizontal. O bombeamento do magnésio do forno de fusão para o cadinho é realizado por meio de uma bomba, mas pode-se fazer igualmente de maneira mais simples por baixa pressão, a pressão do cadinho sendo então inferior àquela do forno de fusão. Os meios de regulagem e a instrumentação são dispostos fora do vácuo.

[038] A vantagem desse dispositivo é que ele não tem magnésio fundido estocado no tanque de deposição, o que reduz a inércia, nem há qualquer segregação de partículas de impurezas em vácuo. O conduto 4 de transferência de vapor é equipado com aquecimento. A distribuição do vapor de magnésio sobre a largura da chapa (antes da fenda de ejeção) é assegurada por um meio filtrante 3A situado dentro do ejetor. Este mecanismo assegura ademais a filtração e o reaquecimento eventual do vapor que o atravessa. Vantajosamente, esse meio filtrante pode ser um filtro de titânio sinterizado, com uma espessura de alguns mm ou mais, por exemplo, 3 mm. O titânio foi mantido porque ele não corrói devido ao magnésio fundido e porque ele é resistente a alta temperatura (ao contrário do bronze ou de outros materiais sinterizados, comumente utilizados). Pode-se igualmente utilizar, vantajosamente, como meio filtrante, uma "peneira metálica" sob a forma de fibras de aço inoxidável sinterizadas, como o meio filtrante se puder ser garantido que não haverá contato da mesma com o magnésio fundido. Por exemplo, pode-se utilizar um filtro de espessura de 1 mm de SIKA-FIL (GKN Sinter Metals Filters GmbH, Radevormwald, Alemanha). Essa fibras são constituídas de fitas tendo uma porosidade de até 85% (DIN ISO 30911-3) e um tamanho eficaz de poros de 6 até 60 micras aproximadamente (ASTM E 1294).

Cadinho propriamente dito:

[039] O cadinho 1 conforme uma forma de concretização preferida da invenção mostrado em detalhes na figura 2A, é único e pode ser facilmente acessado por qualquer trabalho de manutenção. Ele é inerte ao contato a alta temperatura com o metal fundido sobre sua superfície interna e é resistente à

oxidação pelo ar, sobre sua superfície externa.

[040] Será preferivelmente, feito de aço inox revestido ou de qualquer material compatível com o metal a ser evaporado e com o contato do ar a alta temperatura, em sua parte externa. Poder-se assim escolher, por exemplo, no caso do magnésio, um co-laminado inox-ferro macio.

[041] O aquecimento do cadinho 1 é convencional e é conseguido por indução 1B. A frequência está vantajosamente compreendida entre 400 e 1000 Hz. Outras características do dispositivo implementado são um aumento de temperatura em 20 min, taxa de aquecimento direta do magnésio de >60%, uma velocidade de agitação >1 m/s, etc.

[042] A inércia térmica é reduzida. O dispositivo é equipado com um obturador a partir do cadinho em direção ao forno de fusão operado por escoamento gravitacional ou bombeamento, em caso de problema (não representado).

[043] Como uma vantagem, o nível de magnésio no cadinho é regulado por meio de medidas de peso (balanças).

Ejetor:

[044] O ejeter 3 é representado em detalhes nas figuras 2B e 3A a 3C. Trata-se de uma caixa com comprimento maior que a largura da chapa a ser revestida. Este dispositivo contém um meio filtrante ou um meio que causa a perda de carga 5A e, assim, assegura a uniformização da taxa de fluxo de vapor sobre toda a largura da caixa. O ejeter 3 é aquecido a uma temperatura superior àquela do vapor metálico e é externamente isolado. O aquecimento pode ser interno por meio de cartuchos (escolha adotada na presente forma de concretização), mas pode ser igualmente externo por meio de resistências de radiação. Uma fenda calibrada assegura a

pulverização, na velocidade sônica, do vapor metálico sobre a chapa 7. A garganta sônica sobre toda a largura da fenda complementa o meio filtrante 3A, muito eficientemente, de modo a garantir a uniformidade da deposição sobre a chapa. O ajuste para a largura da chapa 7 se faz por rotação do ejetor em torno de seu conduto de alimentação 4. A figura 2B representa o mecanismo interno no tanque de deposição, a qual é aqui simplificada e confiável. A regulagem da taxa de fluxo de vapor é assegurada pela válvula 5 situada no conduto circular 4 (ver figura 1B). Como já mencionado, a figura 7 ilustra um exemplo de regulagem que pode ser realizada.

Resultados de simulações e de ensaios obtidos com uma instalação piloto:

[045] A tabela 1 fornece os parâmetros de uma instalação piloto produzida para implementar a invenção, em comparação com os parâmetros de uma instalação industrial típica, no caso de uma aplicação de deposição de magnésio.

Tabela 1

	Solução industrial	Solução piloto
Diâmetro do cadinho	650 mm	265 mm
Altura do gerador	1000 mm	500 mm
Diâmetros de condutos	250 mm	100 mm
Temperatura de trabalho	690 - 750°C	690 - 750°C
Temperaturas de paredes	750°C	750°C
Pressão de trabalho	30 até 70 mbar	30 até 70 mbar
Potência de indução	160 kW	50kW
Faixa de trabalho	2,5	2,5
Volume de metal fundido	82 L	18 L
Ejetor	1600 mm	450 mm
Fenda	10 mm	5 mm
Pressão do ejetor	Alguns mbars	Alguns mbars

[046] As figuras 3A a 3C mostram várias vistas em perspectiva do ejetor 3 equipado com seu filtro 3A de titânio sinterizado e a fenda 3B de ejeção. A figura 3C

mostra uma simulação das trajetórias do vapor no cabeçote de ejeção.

[047] Alguns resultados de uma simulação de mecânica de dos fluidos, aplicada ao ejetor, estão representados nas figuras 4 e 5. As diferenças de temperatura de vapor antes e depois do filtro sinterizado são muito pequenas (0,103K, ver figura 4). A expansão no material poroso é, portanto, quase isotérmica. Além disso, a distribuição das velocidades ao longo da linha central de saída é praticamente constante, a direção da velocidade não variando significativamente até depois da extremidade do cabeçote (figura 5). Assim, o jato de vapor é quase perfeitamente uniforme e isotérmico. A deposição do vapor metálico sobre a chapa será uniforme em espessura e estrutura cristalina.

[048] A figura 6 mostra, em diferentes amplitudes, o revestimento de uma amostra com magnésio, obtido com a instalação piloto acima mencionada. Assim, pode-se constatar a boa homogeneidade de deposição.

[049] Por outro lado, o dispositivo deslocado de acordo com a invenção é, particularmente, adaptado à deposição de liga por meio da mistura de vapor, pois ele permite ajustar a composição química depositada sem requerer a modificação da composição de uma liga fundida. A mistura se faz então em um conduto em uma velocidade muito baixa de escoamento, contrariamente ao estado da técnica.

Mistura dos vapores de dois metais de recobrimento diferentes:

[050] Como representado na figura 8, duas câmaras de fusão 11, 12, cada uma compreendendo um de dois metais puros diferentes (por exemplo, zinco e magnésio) são conectadas,

cada uma, por condutos 4, 4' equipados com válvulas 5, 5' em uma câmara de mistura acoplada ao ejetor 3. A concentração dos dois metais na mistura é ajustada por meio de energia injetada nos cadinhos e por meio das respectivas válvulas proporcionais 5, 5', o que simplifica o problema de controle. Como uma vantagem, isto reduz a obstrução desse sistema.

[051] Um sistema de perda de carga 5A é utilizado em cada conduto, cooperando com as respectivas válvulas, o que permite a obtenção de vapor com pressão mais alta do que na ausência desse sistema (por exemplo, 20 mbar a 700°C).

[052] Esse dispositivo permite e também regular o fluxo de vapor de forma precisa e rápida.

Vantagens da invenção:

[053] O sistema de acordo com a invenção permite a obtenção de uma uniformidade muito boa da temperatura e da velocidade do vapor depositado, sendo confiável e acessível e tendo um tempo de resposta muito pequeno. A invenção responde assim muito bem às exigências de industrialização do processo. Uma regulagem a baixa frequência do aquecimento por meio da indução assegura uma uniformidade muito boa da composição e da temperatura no cadinho e a taxa de fluxo de vapor é muito facilmente regulada por meio de uma válvula situada no nível do conduto ligando o cadinho de evaporação e o ejetor de deposição e ajustando a energia transmitida ao metal. No WO-A-2005/116290, o nível de metal fundido a vácuo, incluindo o interior da câmara de evaporação, é regulado por meio de uma bomba magneto-hidrodinâmica. Contrariamente a este estado da técnica, a regulagem de nível segundo a invenção é conseguida através da pesagem do cadinho e da câmara de distribuição, como na invenção é um sistema JVD

equipado com uma fenda que compreende apenas o vapor do metal a ser depositado.

REIVINDICAÇÕES

1. Gerador de vapor para deposição de um revestimento metálico sobre uma chapa metálica, compreendendo uma câmara de vácuo (6) na forma de um recinto fechado, dita câmara de vácuo (6) equipada com um meio para assegurar um estado de baixa pressão dentro dele em relação ao meio externo e sendo vedado em relação ao meio externo, dito recinto fechado circundando um cabeçote de deposição de vapor, na forma de um ejetor (3), alimentado por um conduto ejetor (3C), que é formado para criar um jato de vapor metálico na velocidade sônica na direção de, e perpendicular à superfície da chapa metálica (7), o ejetor (3) estando hermeticamente conectado por meio de um conduto de alimentação (4), e do conduto ejetor (3C) à pelo menos a um cadinho (1, 11, 12) compreendendo um metal de revestimento em um estado fundido e posicionado externamente à câmara de vácuo (6), caracterizado pelo fato de o ejetor (3) ser rotacionável em torno de um eixo perpendicular do conduto ejetor (3C) para a superfície da chapa metálica, e sendo que o ejetor (3) é uma caixa tendo uma dimensão longitudinal compreendendo uma fenda de saída (3B) para o vapor, agindo como uma garganta sônica, dita fenda (3B) sendo orientada ao longo da citada dimensão longitudinal e estendendo-se através de toda a largura da chapa metálica (7), e sendo que o ejetor (3) compreende ainda um meio filtrante (3A) sendo posicionado no ejetor (3) imediatamente antes da referida fenda (3B) na passagem do vapor e cooperante com a referida fenda (3B) de modo a equilibrar a velocidade de escoamento do vapor saindo do ejetor (3) através da garganta sônica, sendo que o referido meio filtrante (3A) está contido dentro do ejetor (3) e

inteiramente dentro da câmara de vácuo (6) .

2. Gerador, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de o referido meio filtrante (3A) ser feito de titânio.

3. Gerador, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de o citado meio (3A) ser uma peneira metálica de fibras de aço inoxidável sinterizadas.

4. Gerador, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de compreender ainda meios para regular a pressão de vapor metálico no ejetor (3) sem provocar inércia no momento das transições de pressão.

5. Gerador, de acordo com a reivindicação 4, caracterizado pelo fato de os mencionados meios de regulagem compreenderem uma válvula proporcional (5).

6. Gerador, de acordo com a reivindicação 5, caracterizado pelo fato de a válvula proporcional (5) ser uma válvula de tipo borboleta.

7. Gerador, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de o cadinho (1) ser alimentado por bombeamento ou por gravidade do metal fundido a partir de um forno de fusão (2).

8. Gerador, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de o cadinho (1) compreender um indutor (1B) montado em seu lado externo para assegurar a agitação magnética do metal fundido.

9. Gerador, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de o cadinho (1) compreender um obturador na direção do forno de fusão (2) operado por bombeamento ou escoamento gravitacional.

10. Gerador, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado

pelo fato de o cadinho (1) compreender os meios externos de medição em peso para regular nele o nível de metal fundido.

11. Gerador, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de o ejetor (3), o conduto (4) e o cadinho (1) estarem isolados termicamente do meio externo e aquecidos por um forno a radiação.

12. Gerador, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de compreender meios de aquecimento opcionais para o recinto fechado a vácuo (6).

13. Gerador, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de compreender dois cadinhos (11, 12) com dois metais diferentes em estado fundido.

14. Gerador, de acordo com a reivindicação 13, caracterizado pelo fato de cada cadinho (11, 12) ser ligado por seu próprio conduto (4, 4') a um misturador que é por si só conectado ao ejetor (3).

15. Gerador, de acordo com a reivindicação 14, caracterizado pelo fato de cada conduto (4, 4') compreender uma válvula (5, 5') com um dispositivo adicional para perda de carga (5A) que permite o ajuste das concentrações de cada metal durante a mistura dos vapores a serem depositados sobre a chapa metálica (7) e a regulagem da pressão dos vapores metálicos no misturador sem provocar inércia no momento de transições de pressão.

16. Gerador, de acordo com a reivindicação 14, caracterizado pelo fato de o misturador ser o próprio ejetor (3) e compreender um meio filtrante de material sinterizado que permite equilibrar a velocidade de escoamento do vapor de cada metal saindo do ejetor (3).

17. Gerador, de acordo com a reivindicação 16, caracterizado

pelo fato de o citado meio filtrante de material sinterizado ser feito de titânio ou ser na forma de uma peneira metálica de fibras inoxidáveis sinterizadas.

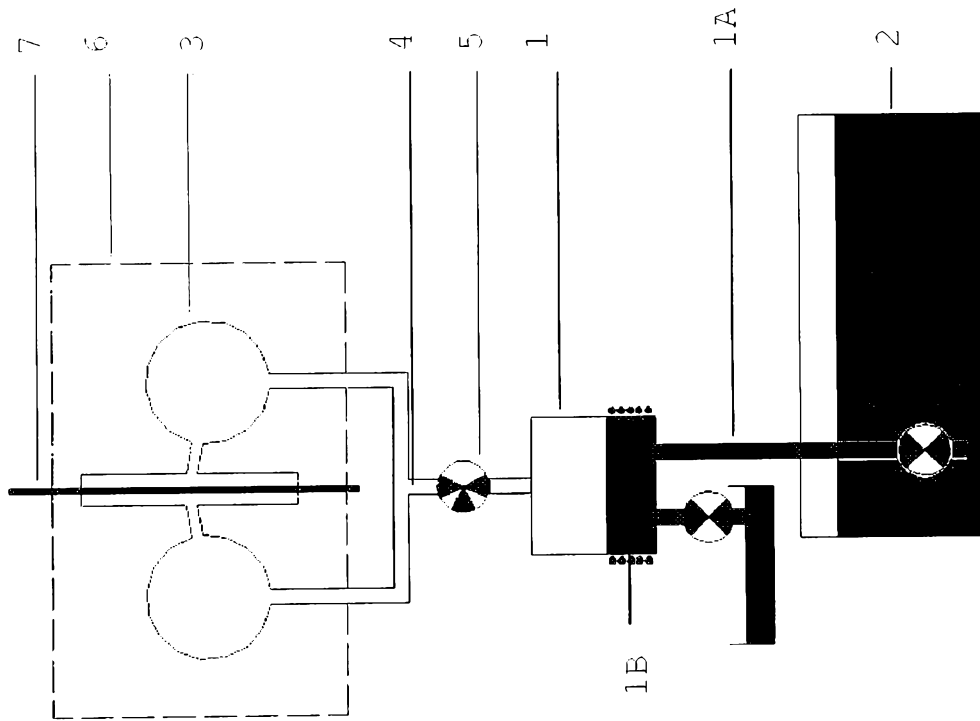


FIG.1A

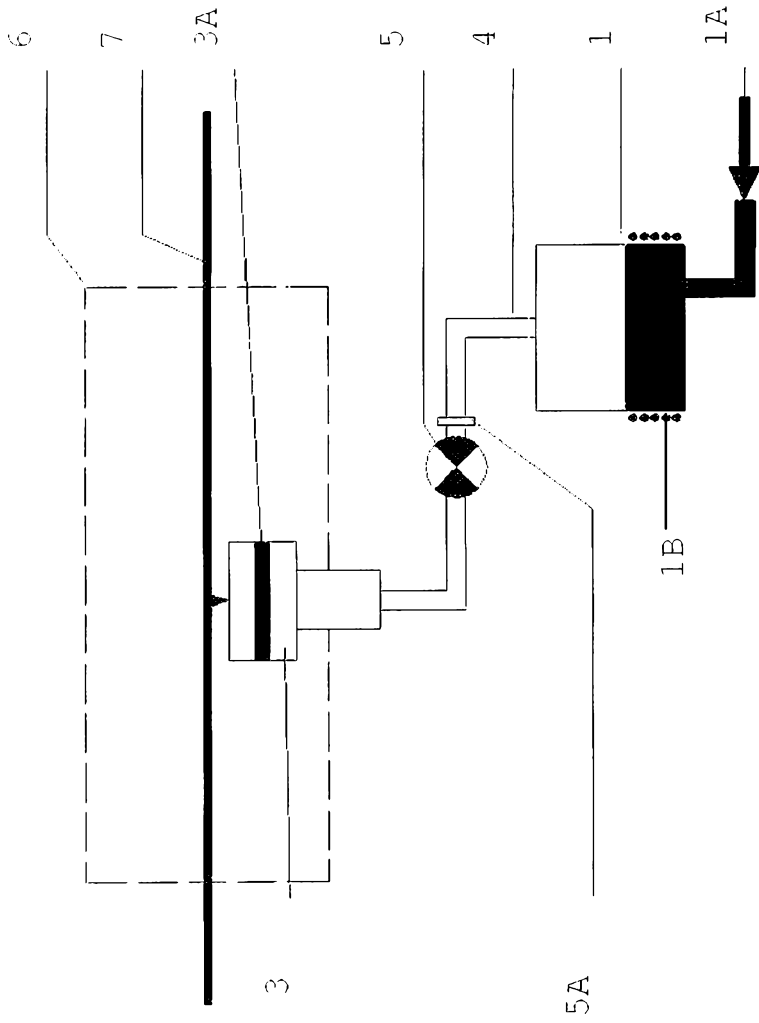


FIG.1B

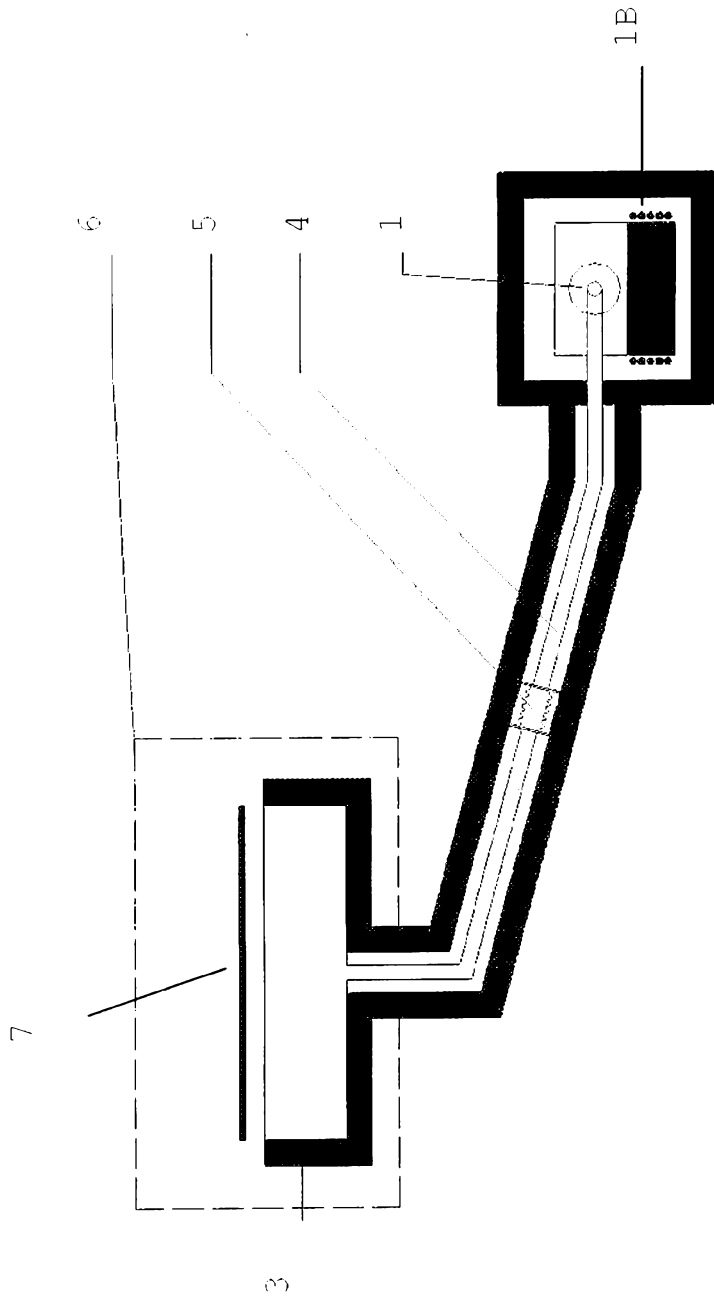


FIG.1C

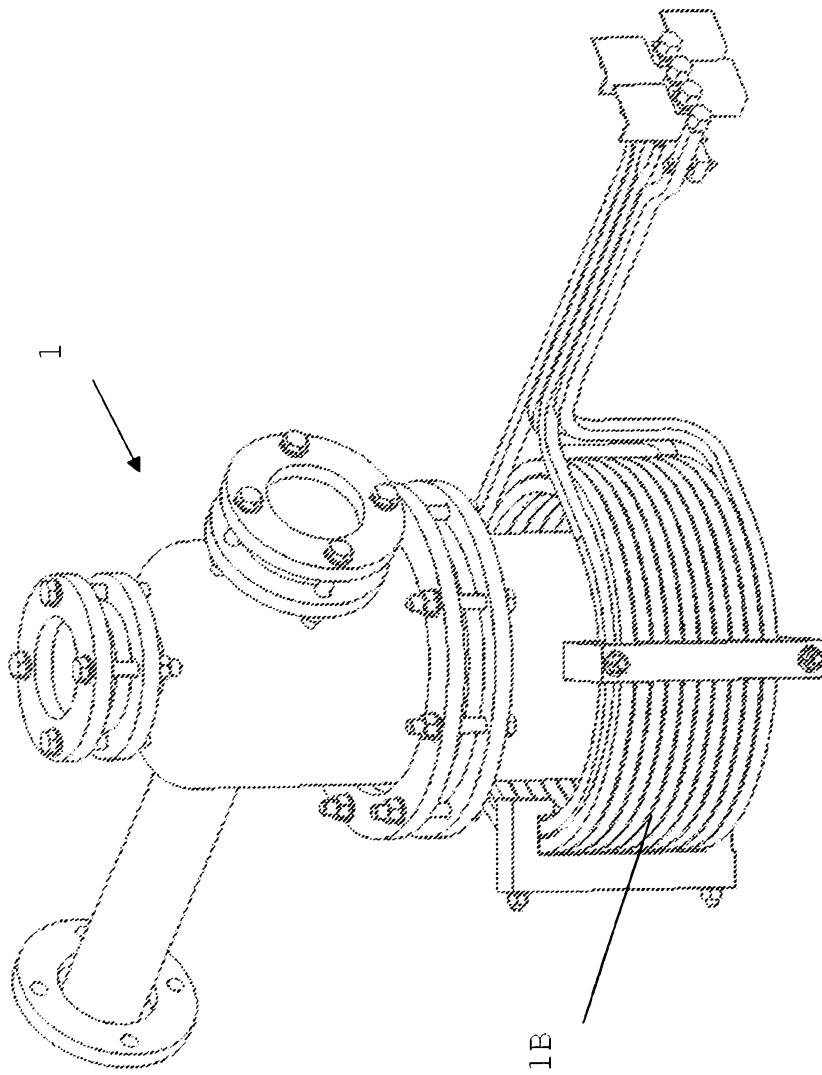


FIG.2A

5/13

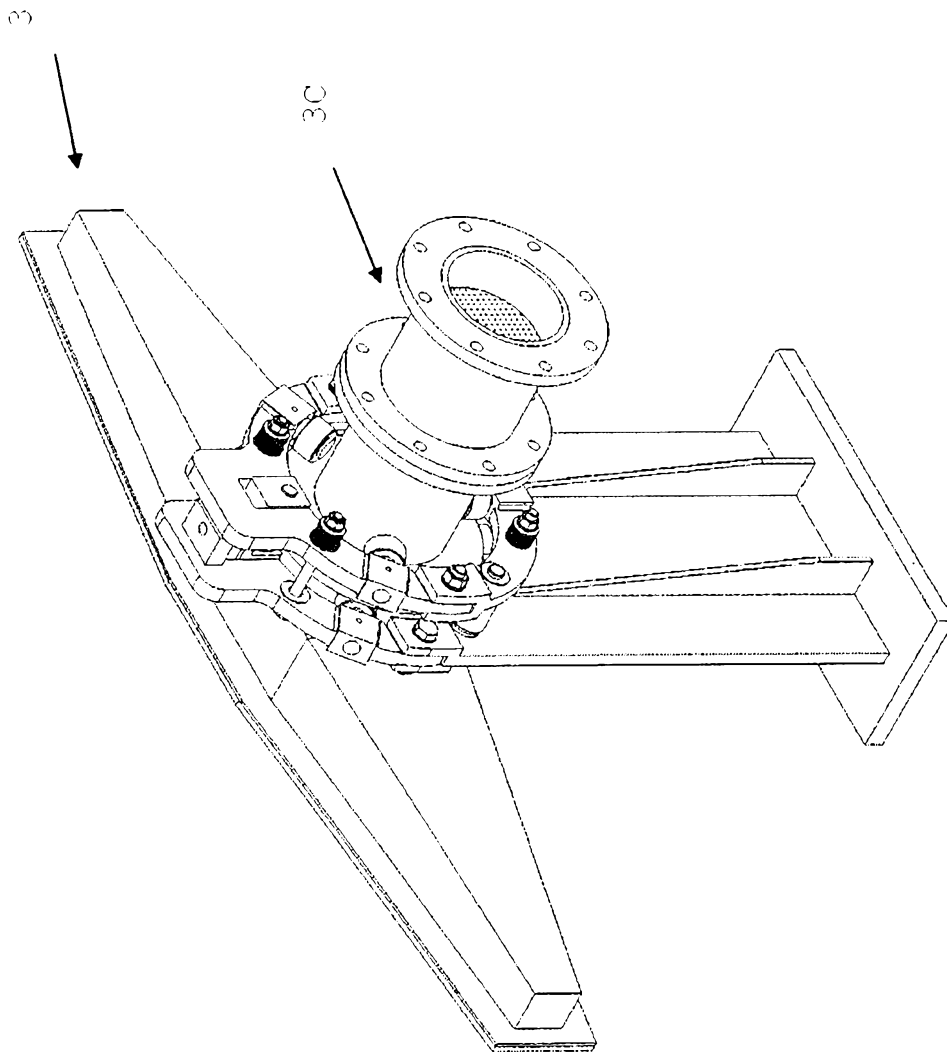


FIG.2B

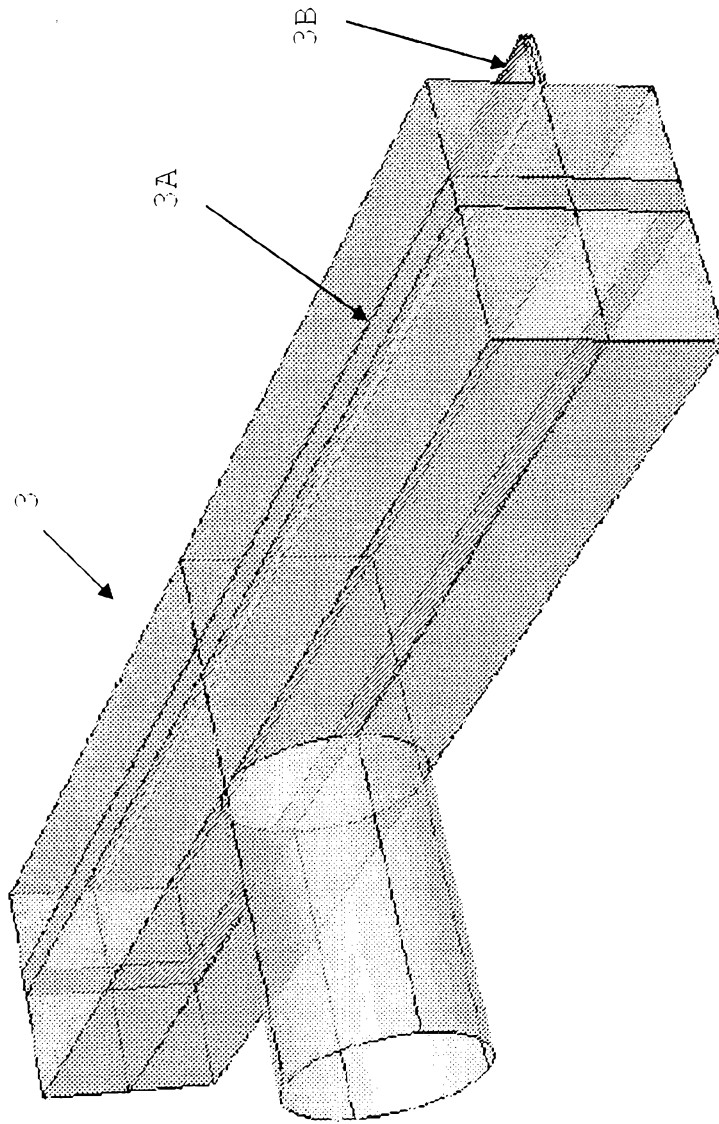


FIG.3A

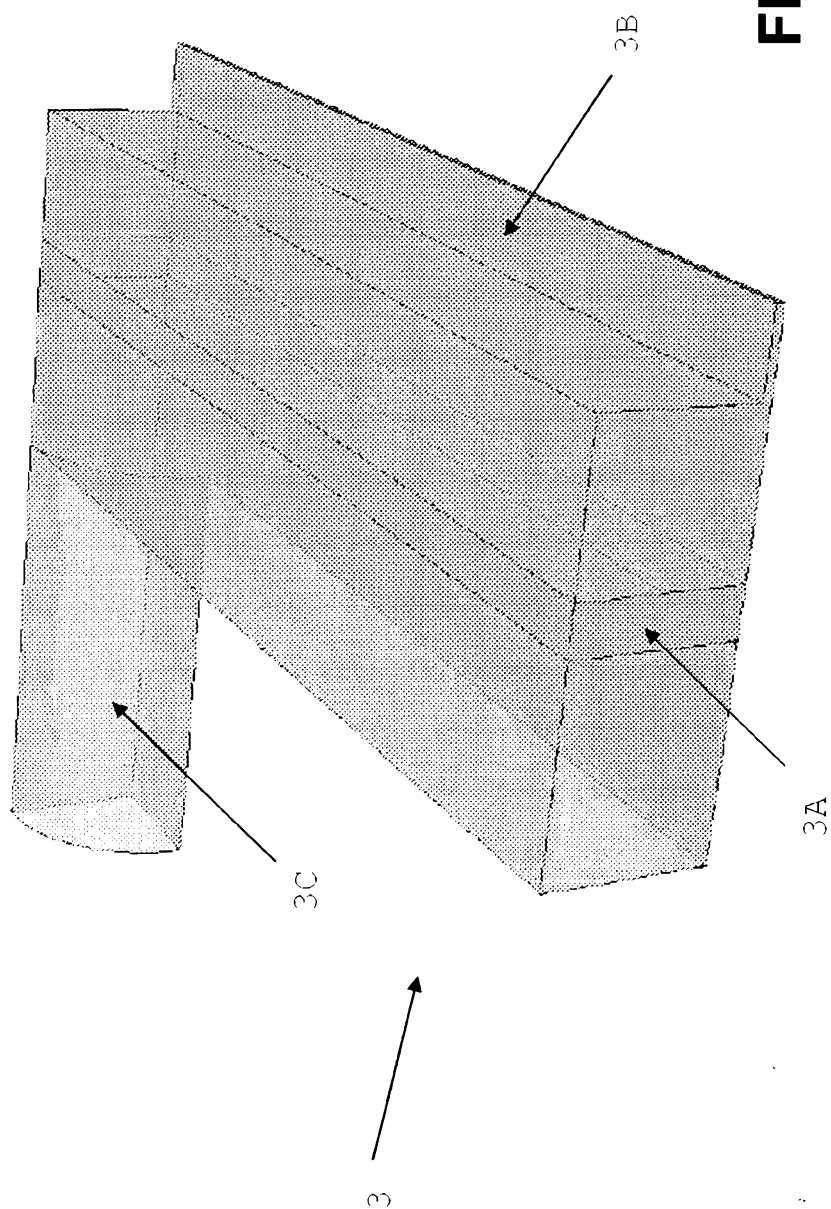


FIG.3B

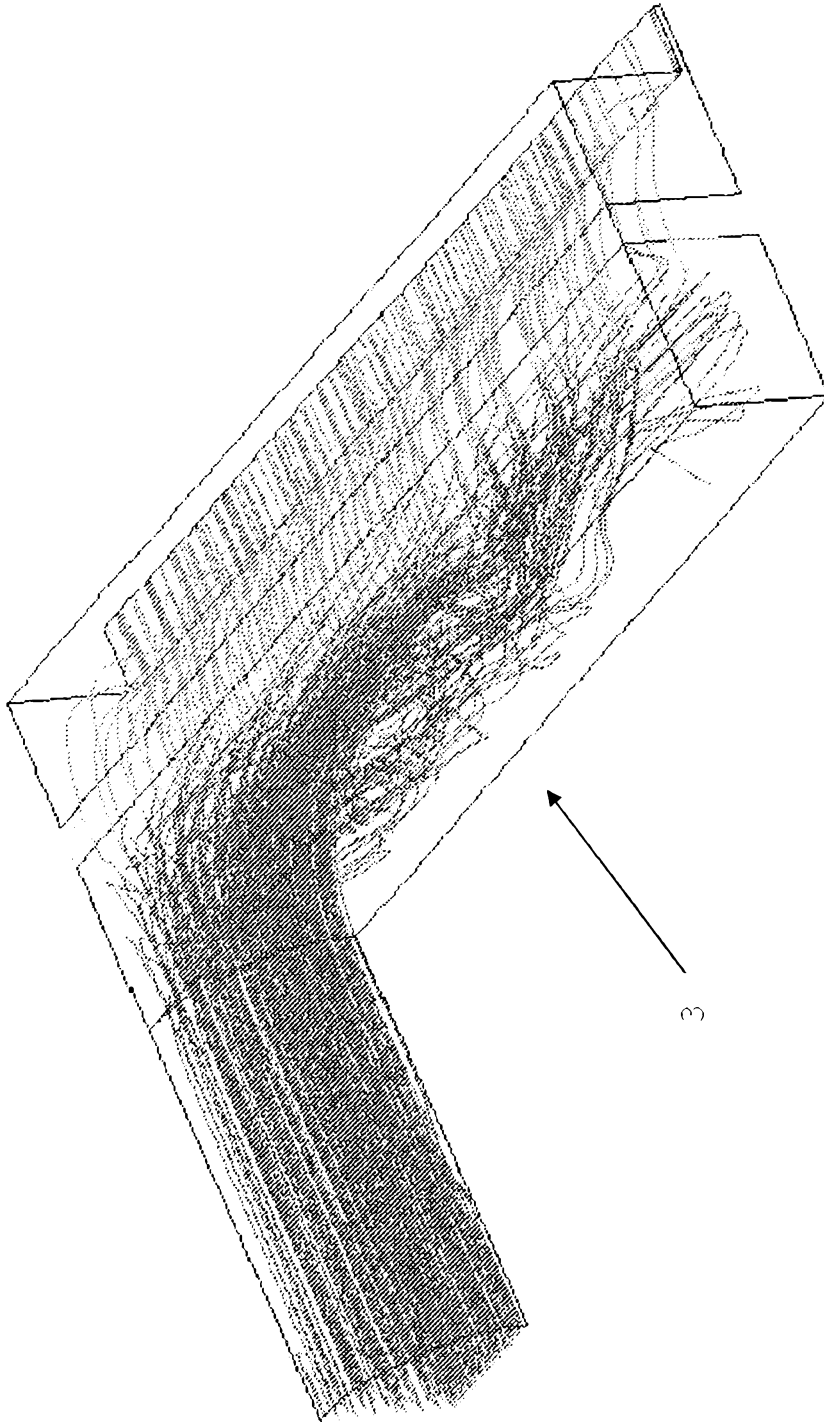
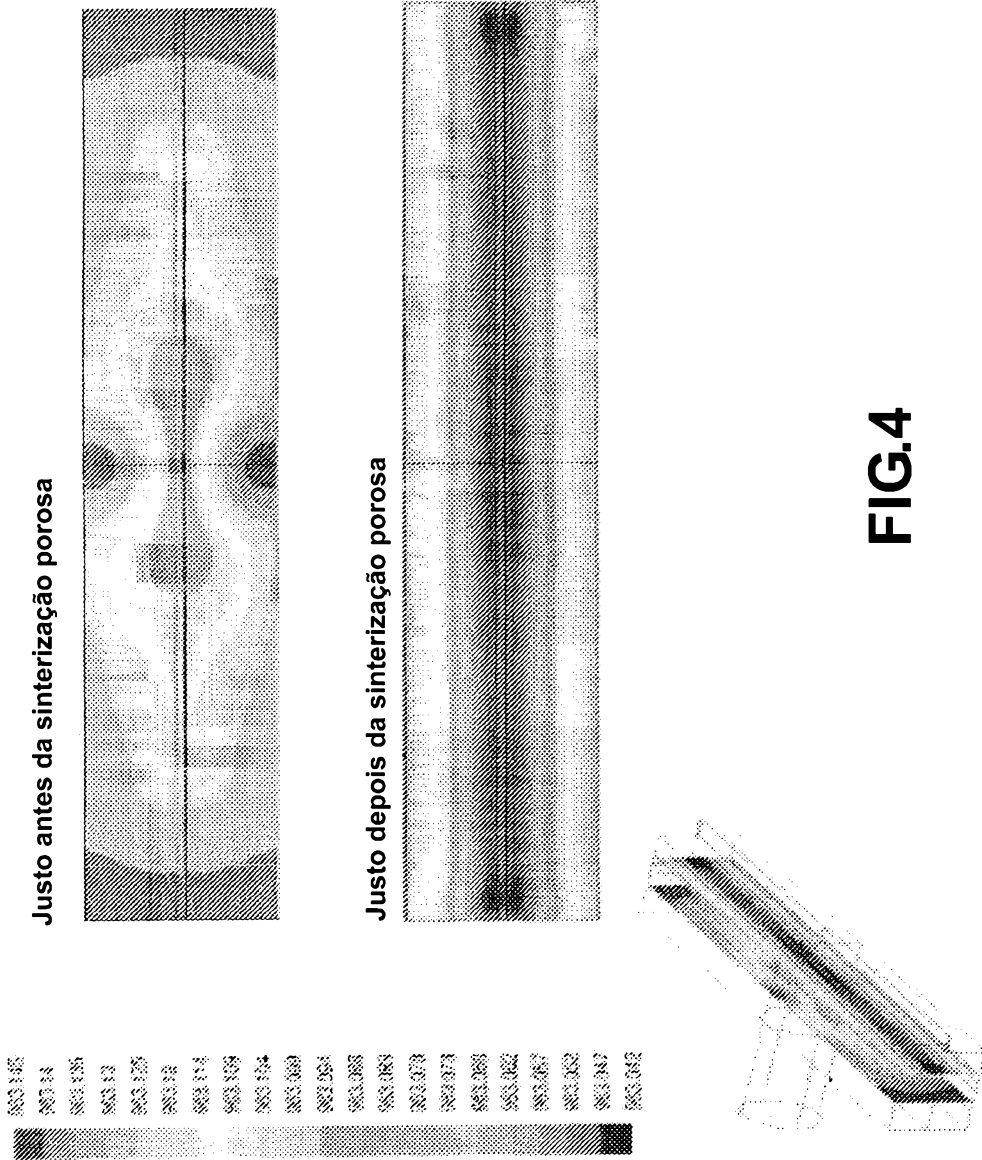


FIG.3C



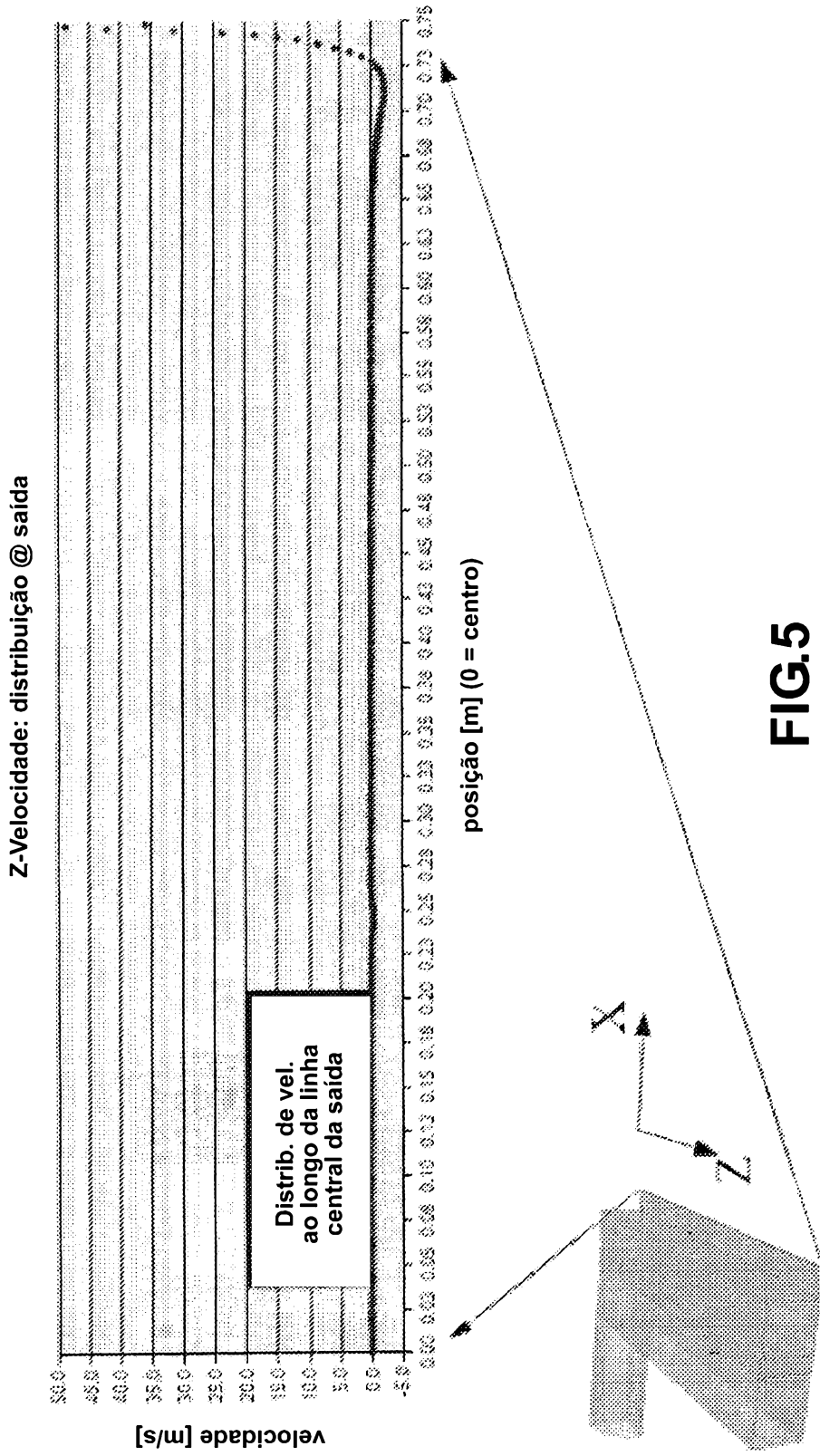


FIG.5

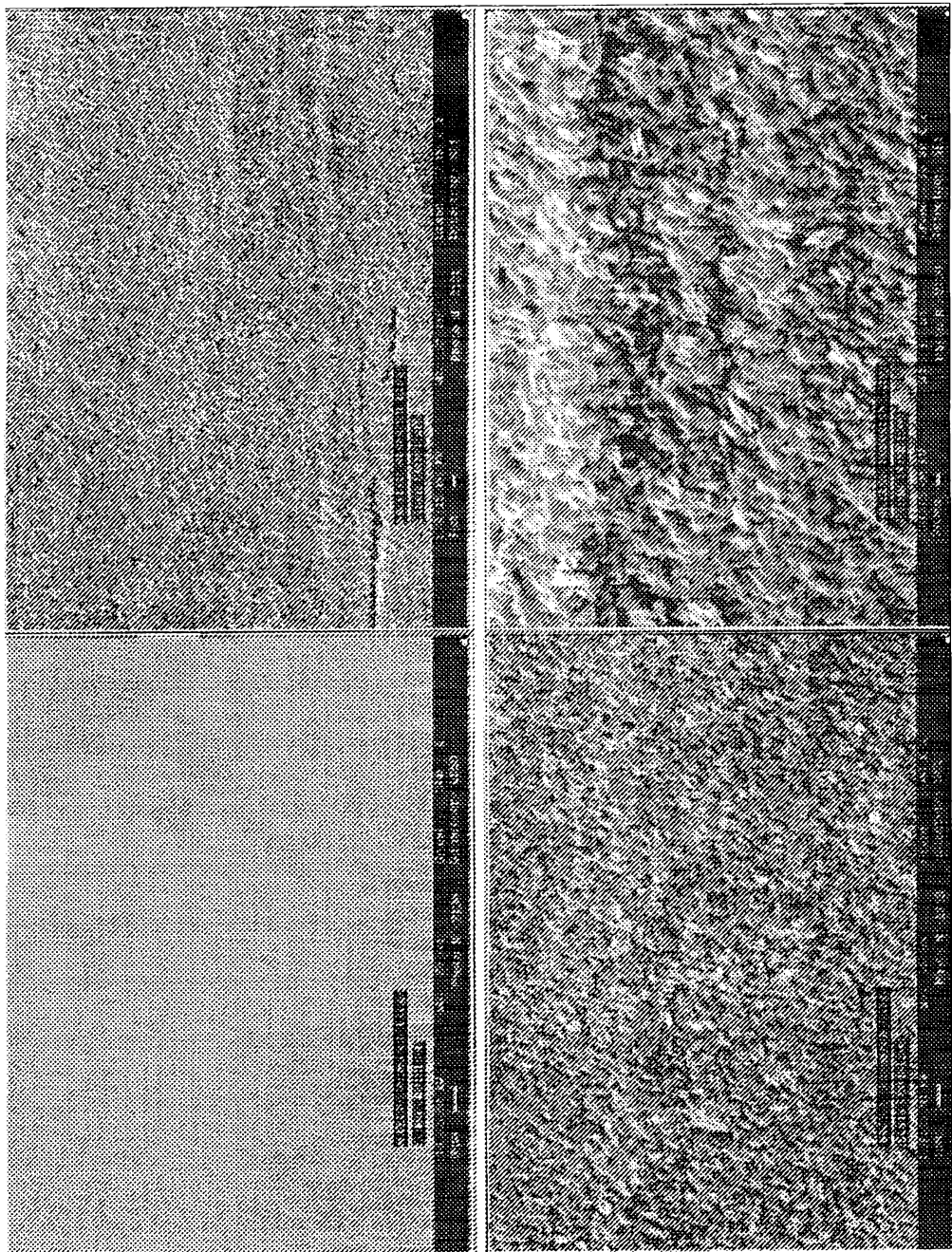


FIG.6

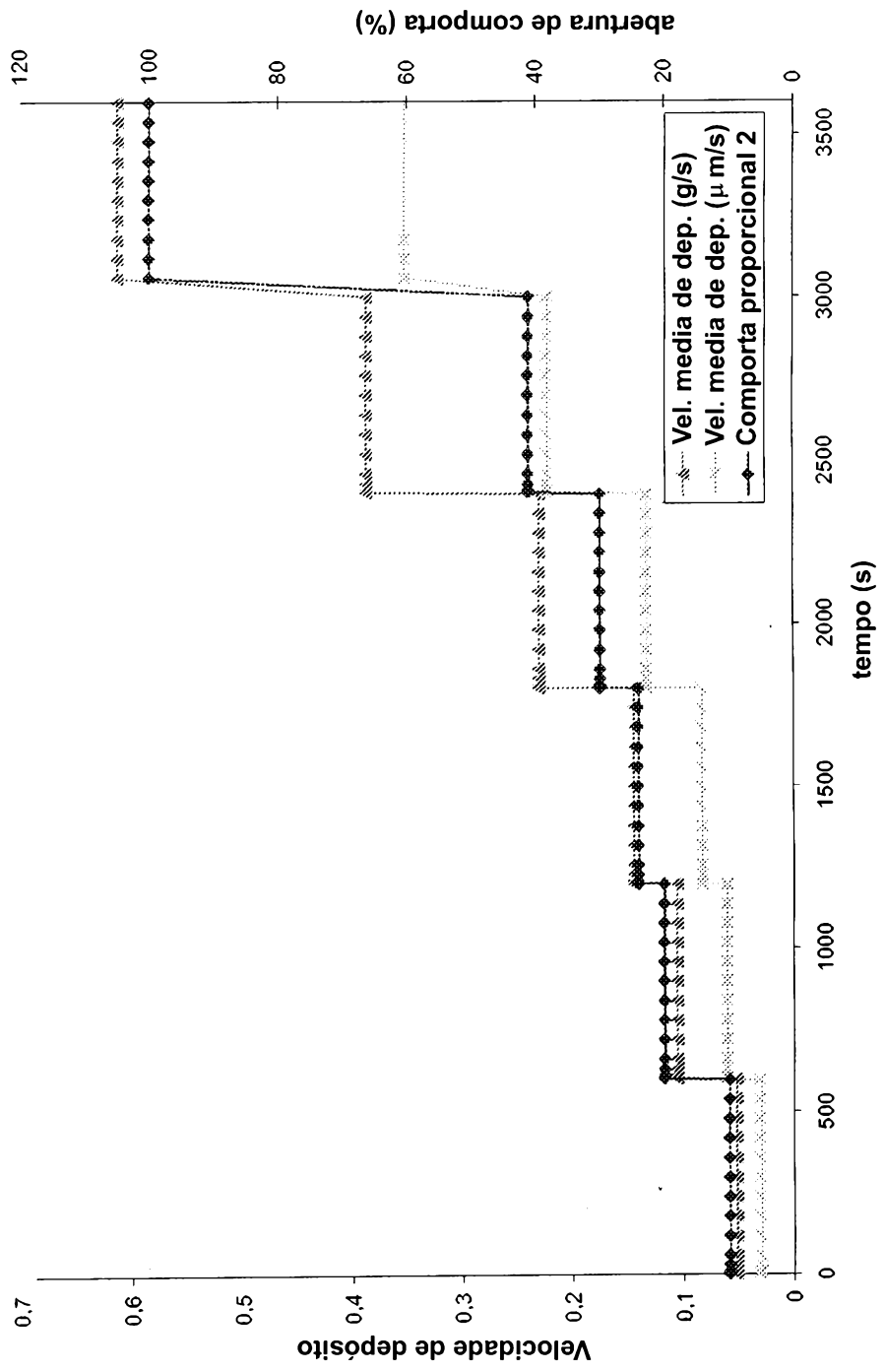


FIG.7

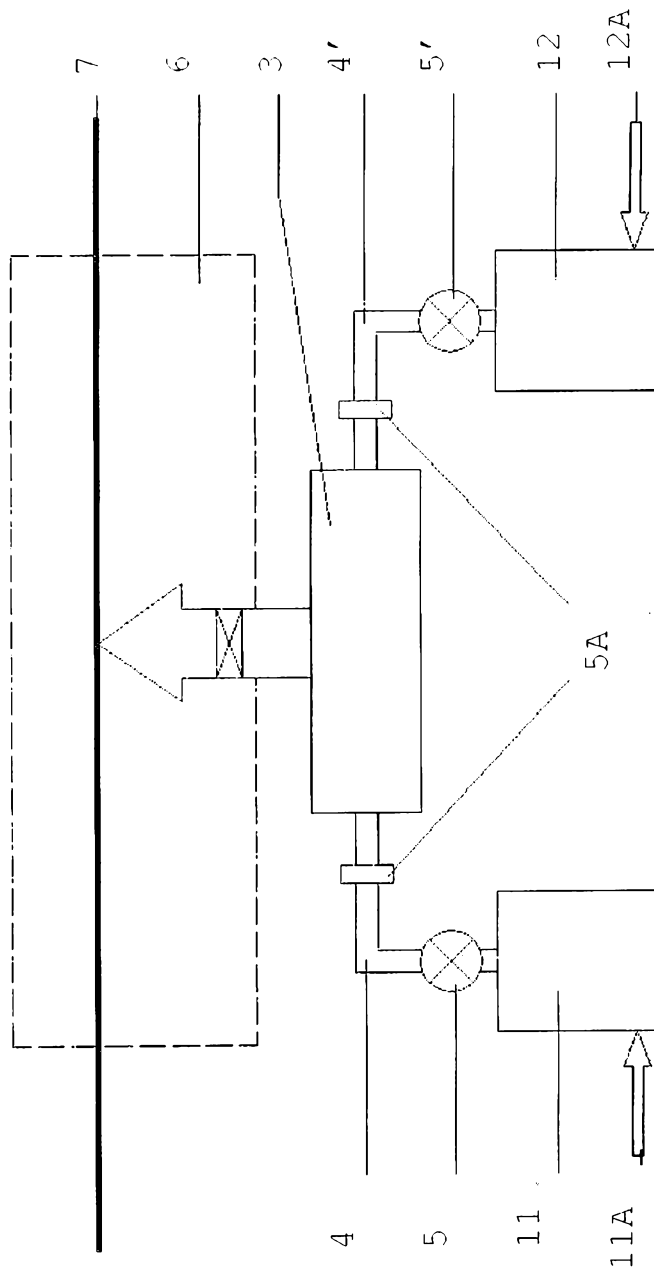


FIG.8