



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL

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



CARTA PATENTE N.º PI 0713295-6

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 0713295-6

(22) Data do Depósito : 26/06/2007

(43) Data da Publicação do Pedido : 03/01/2008

(51) Classificação Internacional : C21D 9/56; C21D 9/60; C21D 1/42; C21D 1/613; C21D 9/573; F27D 23/00

(30) Prioridade Unionista : 30/06/2006 FR 06 05932

(54) Título : DISPOSITIVO QUE PERMITE LIMITAR O RISCO DE FORMAÇÃO DE UMA ATMOSFERA EXPLOSIVA DENTRO DO FORNO DE UMA LINHA CONTÍNUA DE TRATAMENTO TÉRMICO DE TIRAS METÁLICAS

(73) Titular : FIVES STEIN, Companhia Francesa. Endereço: Zai Du Bois De L'Epine, 91130 Ris Orangis, França, França (FR).

(72) Inventor : Xavier Cluzel, Engenheiro(a). Endereço: 70 Rue Gay Lussac, F-75005 Paris, França, França.; CHRISTIAN GAILLARD, Engenheiro(a). Endereço: 6 Résidence Le Parc, F-94700 Maisons Alfort, França, França. Cidadania: Francesa.; GÉRARD JODET, Engenheiro(a). Endereço: 33 Rue André Favreau, F-17630 La Flotte En Re, França, França.; FRÉDÉRIC MARMONIER, Engenheiro(a) de Pesq. e Desenv.. Endereço: 27, Avenue Le Nôtre, F-94420 Vaucresson, França, França. Cidadania: Francesa.

Prazo de Validade : 20 (vinte) anos contados a partir de 26/06/2007, observadas as condições legais.

Expedida em : 2 de Setembro de 2014.

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



“DISPOSITIVO QUE PERMITE LIMITAR O RISCO DE FORMAÇÃO DE UMA ATMOSFERA EXPLOSIVA DENTRO DO FORNO DE UMA LINHA CONTÍNUA DE TRATAMENTO TÉRMICO DE TIRAS METÁLICAS”

5 A presente invenção se refere a aperfeiçoamentos introduzidos nas seções de linhas contínuas de tratamento térmicos de tiras metálicas equipadas com seções de aquecimento e de resfriamento rápidos.

Por aquecimento e resfriamento rápido é designado um aquecimento ou um resfriamento de acordo com um gradiente de temperatura igual ou superior a 100°C/s.

10 A invenção propõe mais especialmente reduzir o risco de formação de atmosfera explosiva nas seções da linha nas quais está presente uma atmosfera constituída por uma mistura de gás inerte, geralmente de nitrogênio, e de hidrogênio.

A fim de bem situar o domínio técnico ao qual se aplica a presente invenção, faz-se referência em primeiro lugar à Figura 1 dos desenhos anexos que representa de modo esquemático um exemplo conhecido de linha contínua de tratamento térmico de tiras metálicas equipada com seções de aquecimento e de resfriamento rápidos, de acordo com o estado da técnica.

20 Nessa Figura 1 é visto que uma tira 1 atravessa um forno 2, no qual se encontra uma atmosfera de proteção, passando para isso sobre vários rolos defletores 3. A estanqueidade do forno é assegurada por um dispositivo de entrada 7 e um dispositivo de saída 8. Durante a travessia do forno 2, a tira 1 é exposta sucessivamente a meios de aquecimento 5 e meios de resfriamento 6, posicionados de um lado e de outro da tira.

25 A atmosfera de proteção presente dentro do forno é destinada a evitar a oxidação da tira por ocasião do ciclo de aquecimento em alta temperatura e de resfriamento. Ela é geralmente constituída por uma mistura de gás inerte, em especial de nitrogênio, e de hidrogênio, o caráter redutor dessa atmosfera permitindo reduzir os eventuais óxidos presentes na superfície da tira. O teor em hidrogênio é superior ou igual a 4%. Uma atmosfera com alto teor em hidrogênio, com frequência compreendido entre 20% e 75% de hidrogênio, é utilizada em numerosas linhas contínuas nas seções de resfriamento a fim de aumentar os desempenhos do resfriamento por convecção. Nas linhas de recozimento 30 brilhante de tiras de aço inoxidável, um teor em hidrogênio que vai até 95% é utilizado para obter as propriedades de superfície exigidas.

35 A pressão no forno é superior à pressão atmosférica a fim de evitar as entradas de ar, mais precisamente as entradas de oxigênio, dentro do forno. A presença de oxigênio dentro do forno deve ser excluída por razões de segurança a fim de evitar qualquer risco de formação de uma atmosfera explosiva. A presença de oxigênio também deve ser excluída por razões de qualidade de superfície, o oxigênio podendo provocar a formação de óxidos sobre a tira.

O dispositivo de entrada 7 e o dispositivo de saída 8 permitem limitar as seções

abertas de entrada e de saída do forno a fim de reduzir a vazão de fuga e portanto o consumo em atmosfera do forno. Esses dispositivos só sendo de uma estanqueidade relativa, a pressão dentro do forno deve ser tão reduzida quanto possível a fim de limitar a quantidade de gás de atmosfera que escapa para o exterior do forno na proximidade desses dispositivos e de reduzir o consumo em atmosfera do forno.

A sobrepressão do forno em relação à pressão atmosférica permite também corrigir as variações de pressão ligadas às contrações de atmosferas durante as mudanças de formato de tira, as mudanças de ciclos térmicos ou as mudanças de velocidade da linha ou por ocasião de incidentes tais como por exemplo uma paralisação de emergência ou uma quebra da tira. Se o forno passasse em despressurização, uma entrada de ar dentro do forno se produziria pelo dispositivo de entrada 7 e pelo dispositivo de saída 8. A presença de oxigênio na atmosfera com alto teor em hidrogênio do forno acarretaria um risco grande de formação de uma atmosfera explosiva dentro do forno. A presença simultânea de uma atmosfera explosiva e de pontos de ignição da explosão que são os pontos quentes presentes dentro do forno, fosse isso só a tira, acentua o risco de explosão.

Em um forno tradicional equipado com uma seção de aquecimento com resistências elétricas ou com equipamentos de combustão tais como queimadores de chama nua ou tubos radiantes de gás, o grande volume da seção de aquecimento e sua grande capacidade calorífica fazem tampão e permitem evitar que o forno passe em despressurização.

De acordo com um exemplo de forno tradicional realizado de acordo com o estado da técnica, como representado na Figura 2 extraída da patente FR 2 809 418 da empresa requerente, uma seção 2 permite a separação de atmosfera entre a seção 1 de aquecimento com baixo teor em hidrogênio e a seção 3 de resfriamento rápido com alto teor em hidrogênio. Uma extração 5 realizada na seção 2 permite manter essa seção a uma pressão ligeiramente mais baixa do que aquela das seções 1 e 3 a fim de que o escoamento de atmosfera entre essas seções seja feito das seções 1 e 3 para a seção 2. Uma forte despressurização na seção de resfriamento 3 consecutiva a uma contração de sua atmosfera se traduz por um escoamento da atmosfera da seção 2 para a seção 3 e a uma despressurização da seção 2. Em seguida, a despressurização da seção 2 se traduz por um escoamento da atmosfera da seção 1 para a seção 2. O grande volume de atmosfera contido nessa seção 1 permite compensar a despressurização nas seções 2 e 3 ao mesmo tempo em que conserva uma pressão positiva dentro do forno o que evita a entrada de ar e portanto a formação de uma atmosfera explosiva. Por outro lado, a distância grande entre o dispositivo 7a de entrada de tira no forno e o dispositivo 7b de entrada da tira na seção 2 permite reduzir o risco de entrada de ar na seção 3 com alto teor em hidrogênio no caso de uma entrada de ar dentro do forno pelo dispositivo 7a.

De acordo com esse exemplo de linha contínua realizada de acordo com o estado

da técnica representado na Figura 2, uma seção 4 com baixo teor em hidrogênio de resfriamento lento ou de manutenção antes do resfriamento final é implantada a jusante da seção 3 de resfriamento rápido com alto teor em hidrogênio. Assim como para a seção de aquecimento 1, essa seção 4 desempenha o papel de volume tampão em caso de contração de atmosfera na seção 3.

De acordo com um outro exemplo de linha contínua realizada de acordo com o estado da técnica, como representado na Figura 3 extraída da mesma patente FR 2 809 418, quando a linha não compreende seção 4 a jusante da seção 3 de resfriamento com alto teor de hidrogênio, o dispositivo 8b de saída da tira do forno é colocado no lado da seção de aquecimento a fim de que essa última desempenhe o papel de volume tampão e a distância entre os dispositivos 8a e 8b é grande para reduzir o risco de entrada de ar na seção 3 com alto teor em hidrogênio no caso de uma entrada de ar dentro do forno pelo dispositivo 8b.

A importância dos volumes tampões nas linhas representadas na Figura 2 e Figura 3 permite limitar a pressão relativa (quer dizer em relação à pressão atmosférica) dentro do forno a cerca de 20 daPa sem risco de passar em despressurização em caso de contração de atmosfera na seção de resfriamento.

No caso das linhas de recozimento brilhante do aço inoxidável realizadas de acordo com o estado da técnica, a configuração do forno é tal como representada na Figura 4.

Nessa Figura 4 é visto que a tira 1 atravessa o forno 2 no qual se encontra uma atmosfera de proteção com alto teor em hidrogênio, tipicamente 95%, passando para isso sobre vários rolos defletores 3. A estanqueidade do forno é assegurada por um dispositivo de entrada 7 e um dispositivo de saída 8. Durante a travessia do forno 2, a tira 1 é exposta sucessivamente a meios de aquecimento 5 e meios de resfriamento 6, posicionados de um lado e de outro da tira. O recozimento brilhante do aço inoxidável necessita que o aquecimento e o resfriamento da tira sejam realizados no mesmo trecho vertical para evitar qualquer contato da tira com os rolos acima de uma certa temperatura de tira, prejudicial à qualidade de superfície exigida. Nesse exemplo de realização, os meios de aquecimento e de resfriamento são colocados no passe descendente, em um outro exemplo de realização, eles o seriam no passe ascendente.

As linhas de recozimento brilhante realizadas de acordo com o estado da técnica são geralmente equipadas com dispositivos de aquecimento 5 radiativos constituídos por resistências moldadas. Devido à tensão de implantação em um só trecho vertical e à altura máxima desse trecho limitada para ser compatível com a resistência mecânica da tira na temperatura de recozimento, a baixa densidade de potência das resistências moldadas leva a linhas de pouca capacidade com pequenas velocidades de deslocamento.

Contrariamente às linhas descrita na Figura 2 e Figura 3, as linhas de recozimento brilhante realizadas de acordo com o estado da técnica não dispõem de volumes tampões

com baixo teor em H₂ para compensar uma eventual contração da atmosfera consecutiva a uma ruptura de tira. No entanto, e grande inércia térmica dos meios de aquecimento empregados e a pequena capacidade de produção da linha fazem com que a contração de atmosfera seja reduzida. Para limitar o risco de entrada de ar dentro do forno, a pressão
5 relativa do forno é assim simplesmente levada nas linhas de recozimento brilhante às proximidades de 60 a 70 daPa.

Explica-se agora porque as soluções empregadas para limitar o risco de formação de uma atmosfera explosiva nas linhas tradicionais equipadas com meios de aquecimento “lentos” não são adaptadas para os fornos equipados com meios de aquecimento e de
10 resfriamento rápidos, quer dizer que funcionam de acordo com gradientes de temperatura em função do tempo (positivos ou negativos) iguais ou superiores em valor absoluto a 100°C/s.

Um forno de linha contínua de tratamento térmico de tiras metálicas equipado com uma seção de aquecimento rápido, por exemplo com um aquecimento por indução de fluxo
15 longitudinal ou de fluxo transversal, e, com capacidade de linha idêntica, de pequena dimensão em comparação com um forno com uma seção de aquecimento equipada com resistências elétricas ou com equipamentos de combustão tais como queimadores de chama nua ou tubos radiantes de gás. O volume da atmosfera N₂H₂ contida em uma seção de aquecimento por indução é portanto muito menor do que aquele contido em uma seção
20 de aquecimento tradicional. Esse pequeno volume de atmosfera não permite desempenhar o papel de volume tampão em caso de contração de atmosfera como em um forno tradicional.

Por outro lado, a ambiência das seções de aquecimento por indução é “fria” em comparação com as seções de aquecimento tradicionais onde a troca por radiação ou
25 convecção necessita ambiências em alta temperatura. Do mesmo modo, uma seção de aquecimento por indução se caracteriza por uma energia térmica muito baixa, a colocação em serviço e a paralisação do aquecimento sendo praticamente instantâneos. Em comparação, as seções de aquecimento tradicionais têm uma grande inércia térmica devido à grande massa de materiais levada em alta temperatura e portanto ao tempo necessário
30 para elevar em temperatura os equipamentos de aquecimento por ocasião da colocação em serviço do forno ou o resfriamento dos mesmos em caso de paralisação do forno. Devido a isso, contrariamente às seções de aquecimento tradicionais, a seção de aquecimento rápido por indução traz poucas calorias em caso de paralisação do aquecimento para se opor ao resfriamento da atmosfera na seção de resfriamento rápido e limitar o nível de
35 despressurização atingido dentro do forno.

As linhas contínuas de tratamento térmico de tiras metálicas de grande capacidade têm velocidades de deslocamento de tira grandes, por exemplo de 100 a 88 m/min, com potências de aquecimento instaladas grandes, geralmente de vários megawatts. Para

5 permitir o resfriamento rápido da tira, essas linhas são equipadas com seções de resfriamento rápidas por convecção sob uma atmosfera composta por uma mistura de nitrogênio e de hidrogênio rica em hidrogênio, por exemplo 30 a 100% de hidrogênio. Essas seções de resfriamento são equipadas com moto ventiladores centrífugos que permitem a
10 insuflação do gás através de caixões de resfriamento. Depois de troca com a tira o gás quente é retomado na aspiração do ventilador, resfriado através de um trocador com água antes de ser de novo insuflado sobre a tira. Os desempenhos grandes das seções de resfriamento e a grande capacidade de produção dessas linhas exigem insuflar sobre a tira um volume grande de atmosfera, daí a utilização de moto ventiladores de potência grande e
15 de velocidades nominais de rotação da turbina geralmente elevadas.

Em uma linha de grande capacidade da qual o aquecimento é por indução, a paralisação súbita do aquecimento por exemplo em consequência de uma ruptura de tira ou de uma paralisação de emergência se traduz pela supressão quase instantânea do aporte calorífico à tira. A paralisação dos ventiladores é acionada desde a detecção pelo sistema
20 de controle da linha da paralisação do deslocamento da tira ou da paralisação do aquecimento. No entanto, devido a sua inércia mecânica, a paralisação dos moto ventiladores necessita de vários minutos, A decalagem que existe entre a paralisação quase instantânea do aquecimento por indução e a paralisação do resfriamento se traduz por um resfriamento muito rápido da vazão de atmosfera H₂N₂ que circula nos circuitos de resfriamento pois a potência trocada nos trocadores com água permanece equivalente
25 àquela trazida pela indução. O resfriamento muito rápido da atmosfera justo após a paralisação do aquecimento se traduz por uma contração da atmosfera muito grande o que provoca a passagem em grande despressurização da seção de resfriamento, mas também quase instantaneamente do conjunto do forno.

É designado por T o tempo que escoa entre a colocação em despressurização do forno por paralisação súbita do aquecimento e o instante em que a pressão dentro do forno reencontra o valor da pressão atmosférica.

Por outro lado, no caso das linhas contínuas equipadas com seções de aquecimento por indução e de resfriamento rápidos, a importância do nível de despressurização atingido
30 dentro do forno é acentuada pela combinação:

- de um pequeno volume de forno ligado à capacidade da seção de aquecimento por indução em relação às seções de aquecimento tradicionais por resistências elétricas ou equipamentos de combustão,
- de uma seção de aquecimento “fria” que traz poucas calorias depois da
35 paralisação do aquecimento para se opor ao resfriamento da atmosfera na seção de resfriamento,
- de uma vazão grande de atmosfera re-circulada na seção de resfriamento através dos trocadores com água para obter a capacidade de troca exigida, daí um

resfriamento muito rápido do pequeno volume de atmosfera do forno,

de uma potência calorífica instalada grande ligada à tonelagem grande da linha daí uma grande capacidade frigorífica disponível para resfriar muito rapidamente o pequeno volume de atmosfera do forno por ocasião da paralisação súbita da indução.

5 Nas linhas contínuas de tratamento térmico de tiras metálicas equipadas com seções de aquecimento por indução e de resfriamento rápidos, a despressurização relativa obtida justo após a paralisação do aquecimento poderia assim atingir um nível muito importante. O aumento da pressão nominal de funcionamento do forno que seria exigida para compensar essa despressurização e evitar que o forno passe em despressurização
10 não é realizável industrialmente em razão da fuga grande de atmosfera que ele provocaria ao nível do dispositivo de entrada e do dispositivo de saída, daí um risco grande de formação de um grande volume de atmosfera explosiva no exterior do forno na proximidade desses dispositivos e um consumo excessivo em atmosfera que acarreta uma alta do custo de produção da linha que pode comprometer a rentabilidade da instalação.

15 Um forno de indução com grande capacidade equipado com uma seção de resfriamento rápido sob alto teor em hidrogênio aumenta portanto bastante o risco de explosão da atmosfera do forno em caso de parada súbita da linha em relação a uma linha tradicional equipada com uma seção de aquecimento de grande dimensão equipada com resistências elétricas ou com equipamentos de combustões.

20 A invenção propõe uma solução para esse problema técnico de modo a limitar o risco de formação de uma atmosfera explosiva dentro do forno.

De acordo com a invenção, um dispositivo que permite limitar o risco de formação de uma atmosfera explosiva dentro do forno de uma linha contínua de tratamento térmico de tiras metálicas cujas seções estão sob uma atmosfera constituída por uma mistura de gás
25 inerte e de hidrogênio cujo teor em volume de hidrogênio é compreendido entre 5 e 100%, equipado com uma seção de aquecimento rápido com indução e com uma seção de resfriamento rápido, compreendendo:

- uma câmara mantida sob gás inerte, na entrada da seção de aquecimento rápido do forno e na saída da seção de resfriamento rápido, a pressão dentro da câmara sendo
30 superior à pressão atmosférica quando o aquecimento do forno funciona normalmente,

- um dispositivo de entrada da tira na câmara, a partir do ar atmosférico,

- um dispositivo de separação de atmosfera e de entrada da tira na seção de aquecimento do forno a partir da câmara sob gás inerte, esse dispositivo sendo equipado com um sistema de escoamento de gás,

35 - um dispositivo de separação de atmosfera e de saída da tira da seção de resfriamento rápido do forno, equipado com um sistema de escoamento de gás, e

- um dispositivo de saída da tira da câmara para o ar atmosférico.

De preferência, a pressão relativa dentro da câmara mantida sob gás inerte, quando

o aquecimento do forno funciona normalmente, é pelo menos igual a 20 daPa. A pressão dentro da câmara é geralmente igual ou ligeiramente superior à pressão de gás dentro do forno, por exemplo de 2 daPa.

5 O gás inerte pode ser nitrogênio. De preferência, a distância entre o dispositivo de entrada da tira na câmara e o dispositivo de separação de atmosfera e de entrada da tira na seção de aquecimento rápido do forno, por um lado, e entre o dispositivo de separação de atmosfera e de saída da tira da seção de resfriamento rápido do forno, e o dispositivo de saída da tira da câmara, por outro lado, é superior ao comprimento do pluma de ar criado dentro da câmara em caso de despressurização dentro do forno provocado por uma
10 paralisação súbita do aquecimento. Vantajosamente, o comprimento a um instante dado do pluma de ar criado dentro da câmara é escolhido como sendo o comprimento de acordo com o eixo do rolo do envelope definido por uma iso-concentração em ar no gás inerte igual àquela que corresponderia ao Limite Superior de Explosividade se se tratasse de uma mistura entre o ar e a atmosfera presente (gás inerte + H₂) dentro do forno.

15 O volume da câmara é de preferência superior ou igual ao volume para o qual a vazão de ar que entra até o instante em que a pressão dentro do forno se torna de novo igual à pressão atmosférica levaria a uma concentração em ar no gás inerte nesse volume igual àquela que corresponderia ao Limite Superior de Explosividade se se tratasse de uma mistura entre o ar e a atmosfera (gás inerte + H₂) presente dentro do forno.

20 Os dispositivos destinados a realizar uma separação de atmosfera entre o forno e a câmara podem compreender dois conjuntos de dois rolos ou de flaps situados de um lado e de outro da tira e uma extração da atmosfera é realizada entre os dois conjuntos de rolos e/ou de flaps de modo que os escoamentos de atmosfera se façam do forno para a extração e da câmara para a extração sem troca de atmosfera entre o forno e a câmara. De
25 preferência, os dispositivos de entrada e de saída e os dispositivos de separação de atmosfera estão na mesma altura a fim de que as pressões de gás a montante e a jusante desses dispositivos sejam idênticas.

Um túnel de ligação pode ser previsto na parte baixa do forno entre o trecho ascendente do forno e o trecho descendente a fim de colocar em comunicação a atmosfera
30 dos trechos ascendente e descendente na parte baixa do forno para participar no equilíbrio das pressões e reduzir a vazão de sistema de escoamento exigida ao nível dos dispositivos de separação de atmosfera. Um ou vários pontos de injeção de nitrogênio na câmara e um ou vários pontos de injeção de gás inerte, notadamente de nitrogênio, dentro do forno podem ser previstos.

35 O dispositivo pode compreender uma sucessão de várias câmaras com dispositivos de separação de atmosfera entre cada uma dessas câmaras.

O dispositivo pode compreender duas câmaras distintas, uma na entrada do forno, a segunda na saída do forno.

A invenção também se refere a um processo que permite limitar o risco de formação de uma atmosfera explosiva dentro do forno de uma linha contínua de tratamento térmico de tiras metálicas cujas seções estão sob uma atmosfera constituída por uma mistura de gás inerte e de hidrogênio cujo teor em volume de hidrogênio está compreendido entre 5 e 100%, equipado com uma seção de aquecimento rápido com indução e com uma seção de resfriamento rápido, esse processo compreendendo a execução desde a detecção de uma ruptura de tira ou de uma paralisação rápida do aquecimento de um conjunto de contra-medidas para limitar o resfriamento da atmosfera presente dentro do forno, essas contra-medidas compreendendo uma injeção de gás inerte, em especial de nitrogênio, em vários pontos dentro do forno e da câmara, e/ou um circuito de by-pass de trocadores de resfriamento e/ou um dispositivo para interromper a vazão de recirculação dos ventiladores, notadamente um comando de fechamento de válvulas ou flaps, ou um freio elétrico via um regulador de frequência na alimentação do motor dos ventiladores.

A invenção consiste, colocadas à parte as disposições expostas acima, em um certo número de outras disposições das quais será mais explicitamente questão abaixo a propósito de exemplos de realização descritos com referência aos desenhos anexos, mas que não são de nenhuma forma limitativos. Nesses desenhos:

Fig. 1 é um corte vertical esquemático de um forno de acordo com o estado da técnica.

Fig. 2 é um corte vertical esquemático de uma variante de realização de forno de acordo com o estado da técnica.

Fig. 3 é um corte vertical esquemático de uma outra variante de realização de forno de acordo com o estado da técnica;

Fig. 4 é também um corte vertical esquemático de um forno de acordo com o estado da técnica.

Fig. 5 é um corte vertical esquemático de um forno de indução de acordo com a invenção.

Fig. 6 é uma variante de realização de um forno de indução de acordo com a invenção.

Fig. 7 é uma outra variante de realização de um forno de acordo com a invenção.

Fig. 8 é uma outra variante de realização de um forno de acordo com a invenção.

Fig. 9 ilustra três tolos de ar que correspondem a instantes sucessivos, e

Fig. 10 ilustra curvas iso-concentração em ar sucessivas.

Fazendo-se referência aos desenhos é possível ver que a Figura 5 representa de modo esquemático um exemplo de realização da invenção.

A invenção propõe um dispositivo que permite limitar o risco de formação de uma atmosfera explosiva dentro do forno de uma linha contínua de tratamento térmico de tiras metálicas cujas seções estão sob uma atmosfera constituída por uma mistura de gás inerte,

em especial nitrogênio, e de hidrogênio cujo teor em volume de hidrogênio está compreendido entre 5 e 100%, equipado com uma seção de aquecimento rápido com indução e com uma seção de resfriamento rápido, em que o forno 2 compreende:

- uma câmara 9 mantida sob nitrogênio, a uma pressão superior à pressão atmosférica, notadamente a uma pressão relativa de pelo menos 20 daPa,
- um dispositivo 10 de entrada da tira dentro da câmara 9, a partir do ar atmosférico,
- um dispositivo 11 de separação de atmosfera e de entrada da tira dentro do forno 2, equipado com um sistema de escoamento 14,
- um dispositivo 13 de separação de atmosfera e de saída da tira do forno 2, equipado com um sistema de escoamento 14,
- um dispositivo 12 de saída da tira da câmara 9 para o ar atmosférico.

O dispositivo de acordo com a invenção também se caracteriza pelo fato de que a distância H entre os dispositivos 10 e 11 por um lado, e entre os dispositivos 12 e 13 por outro lado, é superior ao comprimento P do pluma de ar 20 criado dentro da câmara 9 em caso de despressurização dentro do forno provocado por uma paralisação súbita do aquecimento.

De acordo com a invenção, o comprimento P no instante T do pluma de ar 20 criado dentro da câmara 9 se caracteriza como sendo o comprimento de acordo com o eixo do rolo do envelope definido por uma iso-concentração em ar no nitrogênio igual àquela que corresponderia ao Limite Superior de Explosividade se se tratasse de uma mistura entre o ar e a atmosfera gás neutro ou $N_2 + H_2$ presente dentro do forno. Dito de outro modo, a concentração em ar no nitrogênio no interior desse envelope do rolo 20 é superior ao dito limite, enquanto que a concentração em ar no nitrogênio em torno desse envelope do rolo 20 ainda não atingiu esse limite.

O dispositivo de acordo com a invenção também se caracteriza pelo fato de que o volume da câmara 9 é superior ou igual ao volume V para o qual, em caso de paralisação súbita do aquecimento do forno, a vazão de ar que entra até o instante T levaria a uma concentração em ar no nitrogênio nesse volume igual àquela que corresponderia ao Limite Superior de Explosividade se se tratasse de uma mistura entre o ar e a atmosfera gás neutro ou $N_2 + H_2$ presente dentro do forno.

Os dispositivos 11 e 13 são destinados a realizar uma separação de atmosfera entre o forno de alto teor em hidrogênio e a câmara 9 sob nitrogênio. De acordo com um exemplo de realização da invenção eles são constituídos por dois conjuntos de dois rolos situados de um lado e de outro da tira. De acordo com um outro exemplo de realização da invenção, eles são constituídos por dois conjuntos de rolos e/ou de flaps. Uma extração da atmosfera é realizada entre os dois conjuntos de rolos e/ou flaps de modo que os escoamentos de atmosfera se façam do forno 2 para a extração 14 e da câmara 9 para a extração 14 sem

troca de atmosfera entre o forno 2 e a câmara 9. As pressões do forno 2 e da câmara 9 são mantidas muito próximas a fim de limitar a vazão de extração 14 e portanto o complemento em atmosfera 17 necessário para manter o forno 2 a seu nível de pressão e o complemento em nitrogênio 16 para manter a câmara 9 em seu nível de pressão. A pressão dentro da câmara 9, por ocasião do funcionamento normal do aquecimento do forno, é de preferência igual ou ligeiramente superior à pressão dentro do forno. Quando o aquecimento pára rapidamente, o forno passa em despressurização, o que acarreta a colocação em despressurização da câmara 9 relativamente à pressão atmosférica, do gás inerte, em especial do nitrogênio, que escoar da câmara 9 para o forno 2.

A implantação dos dispositivos 10, 12 e 1, 13 de acordo com a invenção é realizada de modo que respectivamente os dispositivos 10 e 12 e os dispositivos 11 e 13 estejam na mesma altura a fim de que as pressões de gás a montante e a jusante desses dispositivos sejam idênticas para evitar a circulação de gás por efeito chaminé ou uma diferença de peso de coluna de gás.

Por outro lado, a invenção inclui um túnel de ligação 15, na parte baixa do forno, entre o trecho ascendente do forno e o trecho descendente do forno de modo a colocar em comunicação a atmosfera dos trechos ascendente e descendente na parte baixa do forno para participar no equilíbrio das pressões e reduzir a vazão de sistema de escoamento exigida ao nível dos dispositivos 11 e 13.

Ainda com o objetivo de limitar o nível de despressurização atingido dentro do forno e limitar a duração do tempo T durante o qual o forno está sob despressurização, invenção consiste também em um processo que permite limitar o risco de formação de uma atmosfera explosiva dentro do forno de uma linha contínua de tratamento térmico de tiras metálicas cujas seções estão sob uma atmosfera constituída por uma mistura de gás inerte, em especial de nitrogênio, e de hidrogênio cujo teor em volume de hidrogênio está compreendido entre 5 e 100%,

o forno sendo equipado com uma seção de aquecimento rápido com indução e com uma seção de resfriamento rápido,

em que pela execução desde a detecção de uma ruptura de tira ou de uma paralisação rápida do aquecimento de um conjunto de contra-medidas para limitar o resfriamento da atmosfera presente dentro do forno, essas contra-medidas compreendendo a injeção de gás inerte, em especial de nitrogênio, em vários pontos dentro do forno 2 e da câmara 9, e/ou um circuito de by-pass de trocadores de resfriamento e/ou um dispositivo para interromper a vazão de recirculação dos ventiladores.

O dispositivo para interromper a vazão de recirculação dos ventiladores pode consistir em um comando de fechamento de válvulas ou flaps ou um freio elétrico via um regulador de frequência na alimentação do motor dos ventiladores.

A invenção prevê um ou vários pontos 16 de injeção de nitrogênio dentro da câmara

9 e um ou vários pontos 18 de injeção de nitrogênio dentro do forno. Um ou vários pontos de escape 19 equipados com um dispositivo de abertura por excesso de pressão permitem evitar que a pressão dentro do forno não exceda seu valor nominal de serviço. Eles são por exemplo colocados na parte alta do forno.

5 De acordo com o exemplo preferido de realização da invenção para as linhas de recozimento brilhante do aço inoxidável, a distância H está limitada àquela necessária para ser igual ao comprimento P do rolo de modo a limitar a altura do ponto mais quente da tira dentro do forno. O volume da câmara 9 é obtido aumentando-se a largura e ou o comprimento da câmara.

10 De acordo com um outro exemplo de realização da invenção representado na Figura 6, a chegada e a partida da tira são realizadas no lado da câmara 9.

De acordo com um outro exemplo de realização da invenção representado na Figura 7, a câmara 9 é substituída por uma sucessão de várias, duas ou mais, câmaras em série 9 mantidas sob nitrogênio, com dispositivos 11 e 13 de separação de atmosfera entre cada uma dessas câmaras.

15 De acordo com um outro exemplo de realização da invenção representado na Figura 8, a câmara 9 é substituída por duas câmaras 9a, 9b colocadas uma na entrada do forno, a segunda na saída do forno.

Agora será descrito brevemente como é determinado o comprimento P do pluma de ar dentro da câmara 9. O comprimento P é governado pelas leis que regem a física dos jatos.

No exemplo de realização da invenção representado na Figura 5, trata-se de um jato plano de ar embutido no nitrogênio. Esse jato plano turbulento se propaga e se dilui no nitrogênio, quer dizer que a velocidade do jato assim como sua concentração em ar decrescem quando há um afastamento da fenda de entrada do dispositivo 10 ou do dispositivo 12. Como representado na Figura 9, o desenvolvimento do rolo é instável. O comprimento P aumenta durante o tempo T em que o forno está em despressurização.

25 O comprimento P pode ser determinado a partir de um modelo mecânico dos fluidos digital (Computational Fluid Dynamic), a partir de uma geometria e de uma despressurização calculada, os campos das velocidades e de concentração são calculados em todo o volume da câmara e no decorrer do tempo. Em função dos resultados, notadamente da concentração em ar na entrada da câmara sob alto teor em H₂, o comprimento H poderá ser modificado.

30 O cálculo do comprimento P é realizado para o rolo que se desenvolve a partir do dispositivo de entrada 10 pois, em razão do acionamento ligado à velocidade de deslocamento da tira, esse rolo será mais longo do que aquele gerado ao nível do dispositivo de saída 12 em que a tira circula em sentido inverso ao desenvolvimento do rolo.

A propagação do rolo no nitrogênio deve ser levada em consideração; enquanto o

rolo gerado no dispositivo 10 não chegou ao dispositivo 11, nenhuma quantidade de ar chega no forno sob hidrogênio. O risco de formação de uma atmosfera explosiva é portanto nulo.

Se é chamada W a velocidade de propagação do rolo, o comprimento $P_{\max}$ do rolo tal que nenhuma quantidade de ar chega ao dispositivo 11 no instante T em que o forno está em despressurização é igual a $T \times W$. Esse comprimento $P_{\max}$ pode ser considerado como seguro demais; de fato, a difusão faz com que mesmo se o rolo é propagado até o dispositivo 11, a concentração em ar do rolo que penetra na zona sob hidrogênio permanecerá baixa e portanto no final a concentração de ar na mistura N_2H_2 será não perigosa.

De acordo com a invenção, define-se o comprimento P no instante T como sendo o comprimento de acordo com o eixo do rolo do envelope definido por uma iso-concentração em ar no nitrogênio igual àquela que corresponderia ao Limite Superior de Explosividade se se tratasse de uma mistura entre o ar e a atmosfera N_2H_2 presente dentro do forno.

Como representado na Figura 10, o rolo 20 é constituído por uma sucessão de iso-concentrações em ar no nitrogênio. As curvas C_1 , C_2 e C_3 são representações de três iso-concentrações em ar no nitrogênio, a concentração de C_3 sendo maior do que aquela de C_2 , que é maior do que aquela de C_1 . O comprimento P de acordo com a invenção é por exemplo aquele de acordo com o eixo do rolo do envelope definido pela iso-concentração C_2 .

Para garantir, durante o tempo T em que a câmara 9 está em despressurização, uma boa difusão do pluma de ar em N_2 , é preciso que o volume da câmara V seja suficientemente grande para que esse volume de nitrogênio só seja renovado muito pouco pelo ar durante a duração da despressurização.

O volume da câmara 9 de acordo com a invenção é superior ou igual ao volume V para o qual a vazão de ar que entra até o instante T levaria a uma concentração em ar no nitrogênio dentro desse volume igual àquela que corresponderia ao Limite Superior de Explosividade se se tratasse de uma mistura entre o ar e a atmosfera N_2H_2 presente dentro do forno.

A vazão em volume de ar Q que entra pelos dispositivos 10 e 12, depende do coeficiente de perda de carga ξ desses dispositivos e da superfície de vazão S nos dispositivos. Ela é expressa a partir das equações (A) na qual U é a velocidade do ar que entra pelos dispositivos 10 e 12.

$$(A) \quad U = \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho_{ar}\xi}}$$

$$Q = U \times S$$

A vazão que entra depende portanto da diferença de pressão ΔP entre a pressão

atmosférica e a pressão no interior da câmara 9. A notação ρ_{ar} designa a massa por volume do ar. A evolução no decorrer do tempo da pressão dentro da câmara deve ser avaliada a fim de determinar a vazão de ar instantâneo que entra e a evolução da concentração global de ar dentro do volume V.

5 A evolução da pressão global dentro da câmara 9 e do forno pode ser estimada por um modelo transitório que a cada instante faz um balanço de matéria dentro da câmara 9 e do forno (vazão de nitrogênio que entra, vazão de mistura gasosa que sai) e um balanço entálpico que permite conhecer a temperatura do volume de gás da câmara 9 e do forno. A partir dessas condições, vazão de matéria e temperatura, a pressão é calculada. As contra-

10 medidas são levadas em consideração pelo modelo, por exemplo:

- o circuito de by-pass é levado em consideração no balanço entálpico, através da vazão de gás fresco reinjetado dentro do volume.

- o volume de purga em nitrogênio é levado em consideração no balanço de matéria.

15 A concentração em ar no nitrogênio da câmara 9 pode ser definida de acordo com diferentes métodos de cálculo. A título de exemplo, é utilizado abaixo um método clássico utilizado em Engenharia dos Processos para um reator perfeitamente agitado no qual a concentração é uniforme em todo o volume.

A concentração em ar no nitrogênio é expressa a partir da equação (B) retomada

20 abaixo,

$$(B) \quad [A]_T = [A]_{\text{entrando}} - ([A]_{\text{entrando}} - [A]_0) \exp\left(\frac{-T}{t_{\text{geom}}}\right)$$

na qual $[A]_T$ é a concentração em volume em ar no nitrogênio dentro da câmara 9 no instante T em que a câmara 9 repassa em pressão,

$[A]_{\text{entrando}}$ é a concentração em ar no gás que entra dentro da câmara 9 pelos

25 dispositivos 10 e 12,

$[A]_0$ é a concentração inicial em ar dentro da câmara 9 antes que ela passa em despressurização,

t_{geom} é o tempo geométrico da câmara 9. O tempo geométrico t_{geom} é expresso pela equação (C) retomada abaixo,

30

$$(C) \quad t_{\text{geom}} = \frac{V}{Q}$$

na qual V é o volume da câmara 9 e Q é a vazão em volume que entra dentro da câmara 9 pelos dispositivos 10 e 12.

A partir das equações (A), (B) e (C), é possível determinar o volume V da câmara 9 em função da concentração em ar no nitrogênio da câmara.

35 O valor $[A]_T$ de concentração em ar no nitrogênio da câmara 9 escolhido para o

5 dimensionamento do volume da câmara 9 é por exemplo aquele da concentração em ar que corresponderia ao Limite Superior de Explosividade se se tratasse de uma mistura entre o ar e a atmosfera N_2H_2 presente dentro do forno. Ele seria assim de 0.3 (30% de ar) se se tratasse de uma atmosfera N_2H_2 a 95% em volume de H_2 . Os valores de $[A]_{que\ entra}$ e $[A]_0$ seriam respectivamente 1.0 (100% de ar) e 0.0 (100% de nitrogênio). O cálculo é por exemplo realizado para a diferença de pressão ΔP entre a pressão atmosférica e a maior pressão no interior da câmara 9 atingida durante a passagem em despressurização da câmara 9.

REIVINDICAÇÕES

1. Dispositivo que permite limitar o risco de formação de uma atmosfera explosiva dentro do forno de uma linha contínua de tratamento térmico de tiras metálicas cujas seções estão sob uma atmosfera constituída por uma mistura de gás inerte e de hidrogênio cujo
5 teor em volume de hidrogênio é compreendido entre 5 e 100%, equipado com uma seção de aquecimento rápido por indução e com uma seção de resfriamento rápido, caracterizado pelo fato de que ele compreende:

uma câmara (9) mantida sob gás inerte, na entrada da seção de aquecimento rápido do forno e na saída da seção de resfriamento rápido, a pressão dentro da câmara (9) sendo
10 superior à pressão atmosférica quando o aquecimento do forno funciona normalmente, um dispositivo (10) de entrada da tira na câmara (9), a partir do ar atmosférico, um dispositivo (11) de separação de atmosfera e de entrada da tira na seção de aquecimento do forno a partir da câmara (9) sob gás inerte, esse dispositivo (11) sendo equipado com um sistema de escoamento (14) de gás,
15 um dispositivo (13) de separação de atmosfera e de saída da tira da seção de resfriamento rápido do forno, equipado com um sistema de escoamento (14) de gás, e um dispositivo (12) de saída da tira da câmara (9) para o ar atmosférico.

2. Dispositivo de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a pressão relativa dentro da câmara (9) mantida sob gás inerte, quando o aquecimento do
20 forno funciona normalmente, é pelo menos igual a 20 daPa.

3. Dispositivo de acordo com a reivindicação 1 ou 2, caracterizado pelo fato de que a pressão dentro da câmara (9) mantida sob gás inerte, quando o aquecimento do forno funciona normalmente, é igual ou superior à pressão de gás dentro do forno.

4. Dispositivo de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 3, caracterizado
25 pelo fato de que o gás inerte é nitrogênio.

5. Dispositivo de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 4, caracterizado pelo fato de que a distância (H) entre o dispositivo (10) de entrada da tira na câmara (9) e o dispositivo (11) de separação de atmosfera e de entrada da tira na seção de aquecimento rápido do forno, por um lado, e entre o dispositivo (13) de separação de atmosfera e de
30 saída da tira da seção de resfriamento rápido do forno, e o dispositivo (12) de saída da tira da câmara (9), por outro lado, é superior ao comprimento (P) da pluma de ar (20) criada dentro da câmara (9) em caso de despressurização dentro do forno provocada por uma paralisação súbita do aquecimento.

6. Dispositivo de acordo com a reivindicação 5, caracterizado pelo fato de que o
35 comprimento (P) a um instante dado da pluma de ar (20) criada dentro da câmara (9) é escolhido como sendo o comprimento de acordo com o eixo da pluma (C2) do envelope definido por uma iso-concentração em ar no gás inerte igual àquela que corresponderia ao Limite Superior de Explosividade se se tratasse de uma mistura entre o ar e a atmosfera

(gás inerte + H₂) presente dentro do forno.

7. Dispositivo de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 6, caracterizado pelo fato de que o volume da câmara (9) é superior ou igual ao volume (V) para o qual a vazão de ar que entra até o instante em que a pressão dentro do forno se torna de novo igual à pressão atmosférica levaria a uma concentração em ar no gás inerte nesse volume igual àquela que corresponderia ao Limite Superior de Explosividade se se tratasse de uma mistura entre o ar e a atmosfera (gás inerte + H₂) presente dentro do forno.

8. Dispositivo de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 7, caracterizado pelo fato de que os dispositivos (11, 13) destinados a realizar uma separação de atmosfera entre o forno e a câmara (9) compreendem dois conjuntos de dois rolos ou de flaps situados de um lado e de outro da tira e uma extração (14) da atmosfera é realizada entre os dois conjuntos de rolos e/ou de flaps de modo que os escoamentos de atmosfera se façam do forno (2) para a extração (14) e da câmara (9) para a extração (14) sem troca de atmosfera entre o forno (2) e a câmara (9).

9. Dispositivo de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 8, caracterizado pelo fato de que os dispositivos de entrada e de saída (10, 12) e os dispositivos de separação de atmosfera (11, 13) estão na mesma altura a fim de que as pressões de gás a montante e a jusante desses dispositivos sejam idênticas.

10. Dispositivo de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 9, caracterizado pelo fato de que um túnel de ligação (15) é previsto na parte baixa do forno entre o trecho ascendente do forno e o trecho descendente a fim de colocar em comunicação a atmosfera dos trechos ascendente e descendente na parte baixa do forno para participar no equilíbrio das pressões e reduzir a vazão de sistema de escoamento exigida ao nível dos dispositivos de separação de atmosfera (11 e 13).

11. Dispositivo de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 10, caracterizado pelo fato de que são previstos um ou vários pontos (16) de injeção de nitrogênio na câmara (9) e um ou vários pontos (18) de injeção de nitrogênio dentro do forno (2).

12. Dispositivo de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 11, caracterizado pelo fato de que ele compreende uma sucessão de várias câmaras em série (9) com dispositivos (11, 13) de separação de atmosfera entre cada uma dessas câmaras.

13. Dispositivo de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 12, caracterizado pelo fato de que ele compreende duas câmaras (9a, 9b) colocadas uma na entrada do forno, a segunda na saída do forno.

14. Dispositivo de acordo com a reivindicação 1 ou 11, permitindo limitar o nível de despressurização atingido dentro do forno (2) e da câmara (9) e o risco de formação de uma atmosfera explosiva dentro do forno, caracterizado pelo emprego da injeção de gás inerte, em especial de nitrogênio, em vários pontos dentro do forno (2) e da câmara (9), e/ou um

circuito de by-pass de trocadores de resfriamento e/ou um dispositivo para interromper a vazão de recirculação dos ventiladores, desde a detecção de uma ruptura de tira ou de uma paralisação rápida do aquecimento.

- 5 15. Dispositivo de acordo com a reivindicação 14, caracterizado pelo fato de que o dispositivo para interromper a vazão de recirculação dos ventiladores compreende um comando de fechamento de válvulas ou flaps, e/ou um freio elétrico via um regulador de frequência na alimentação do motor dos ventiladores.

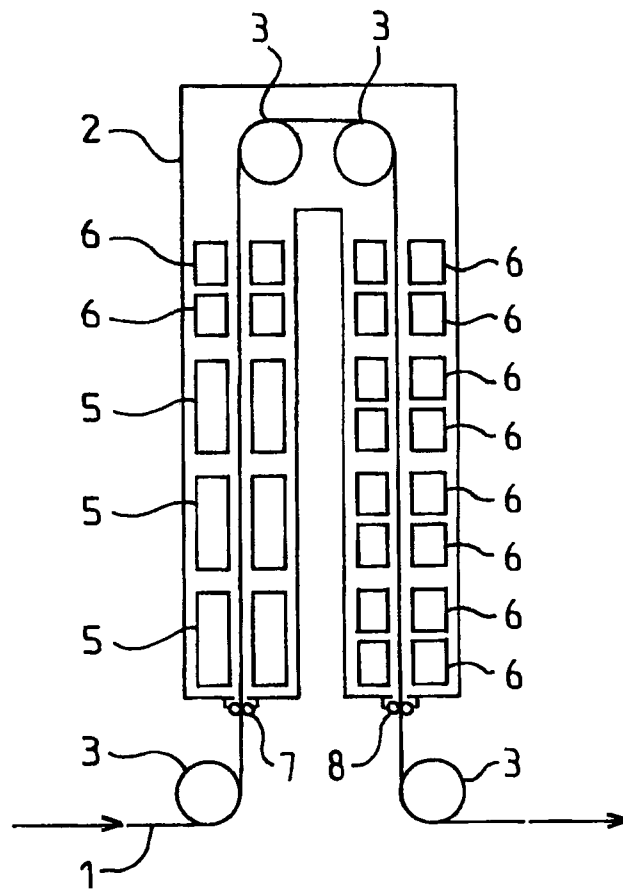


FIG.1
Estado da técnica

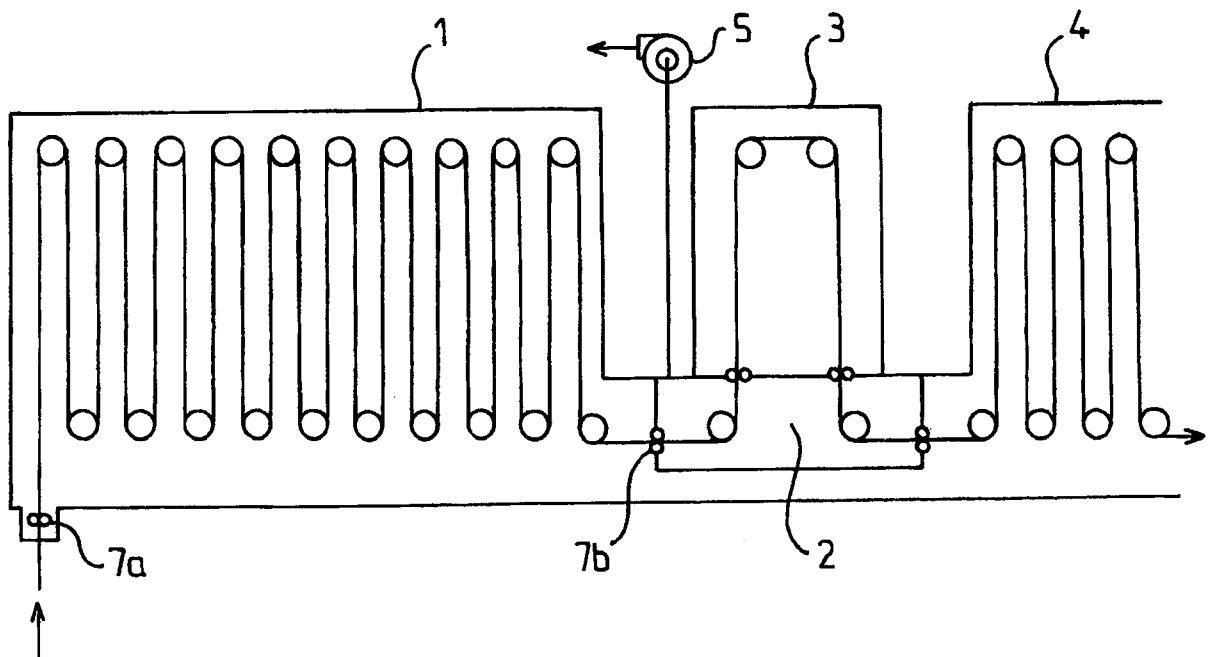
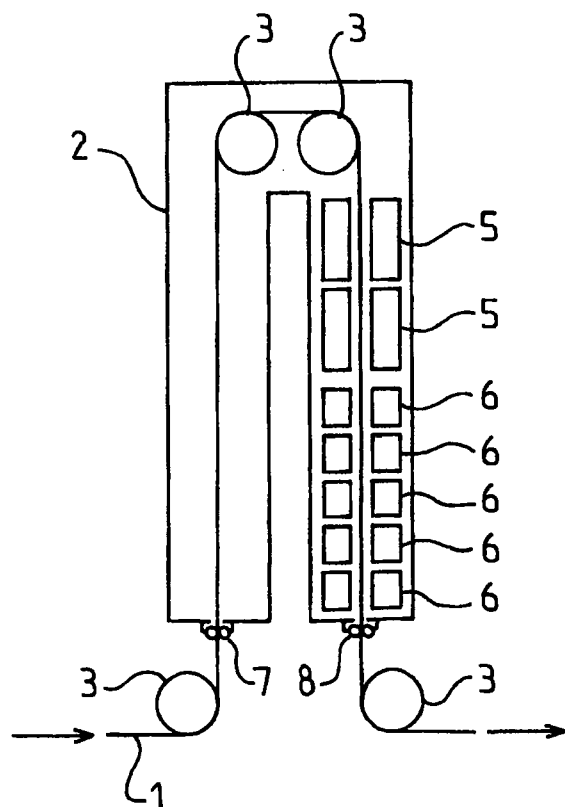
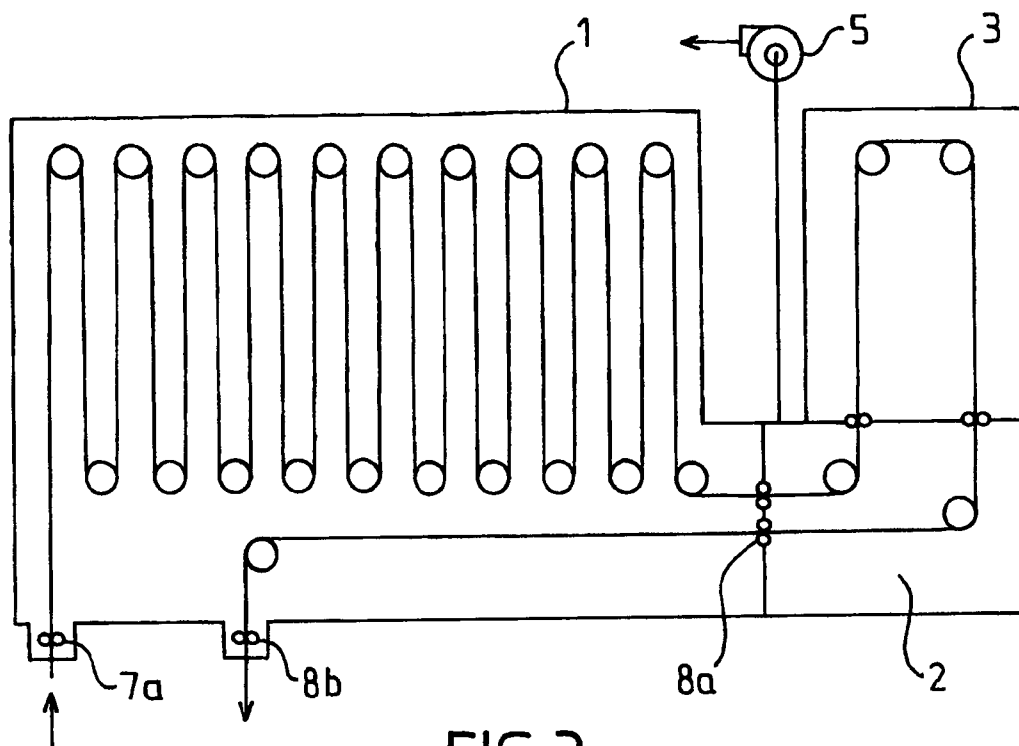


FIG.2
Estado da técnica



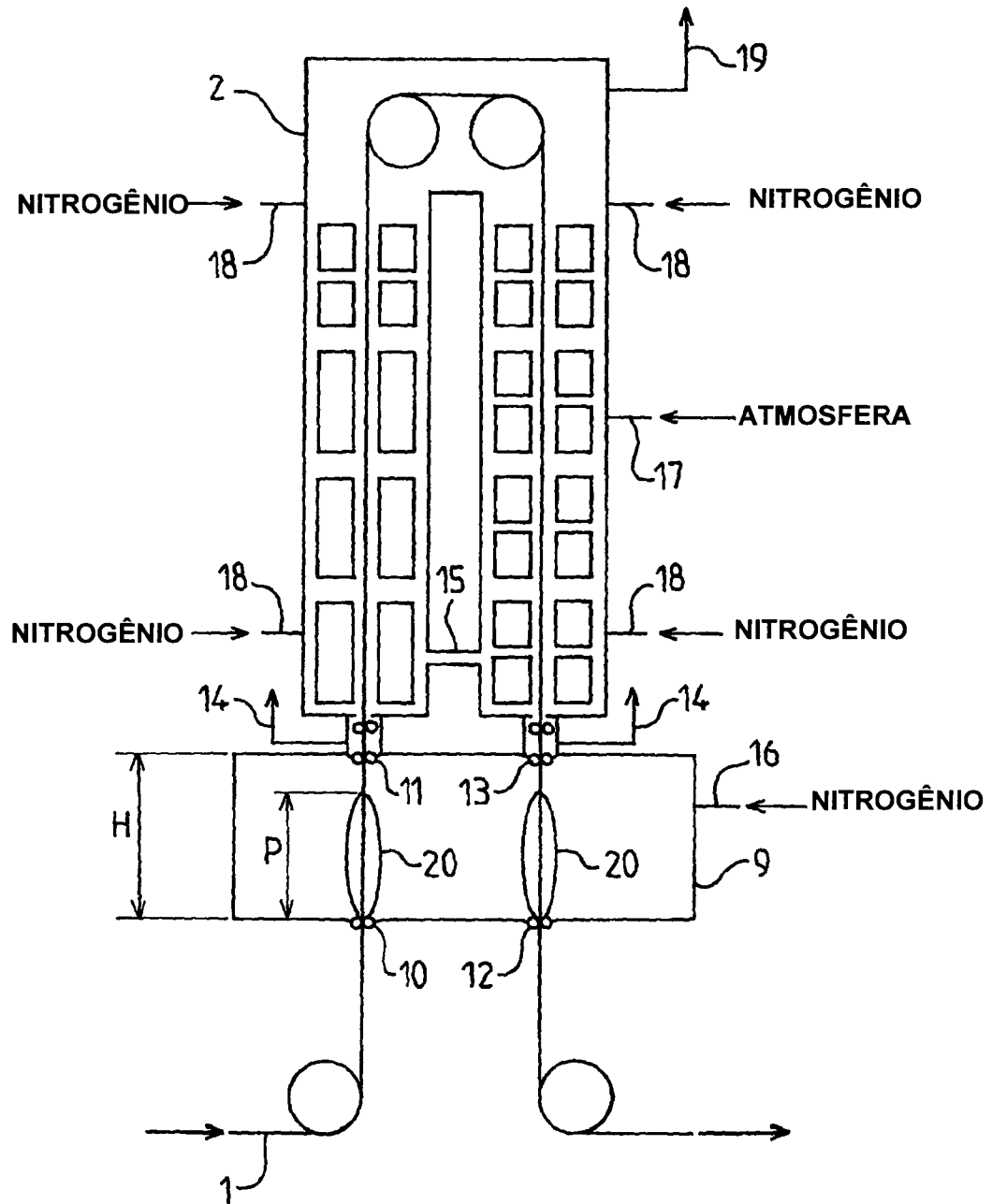


FIG. 5

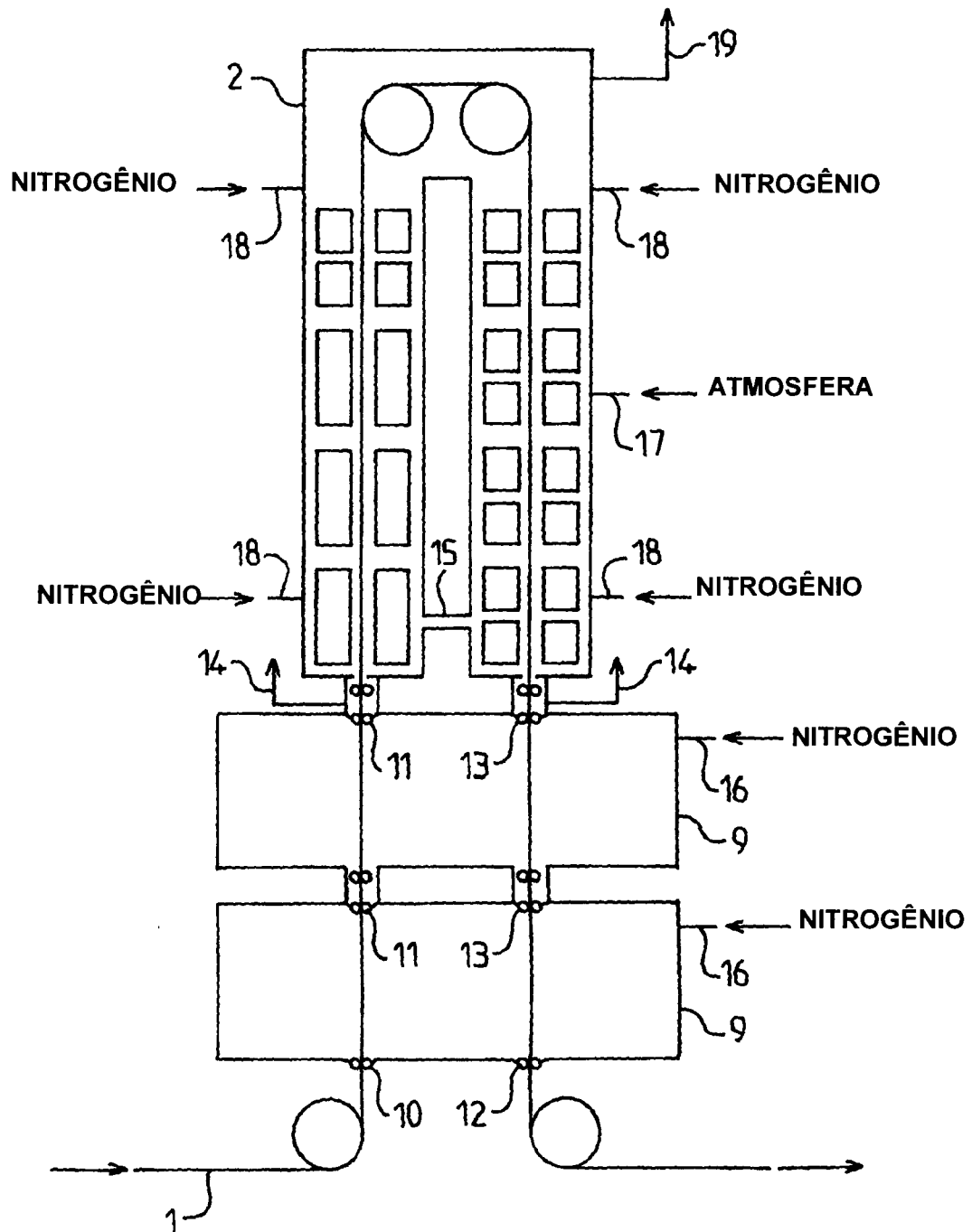


FIG. 7

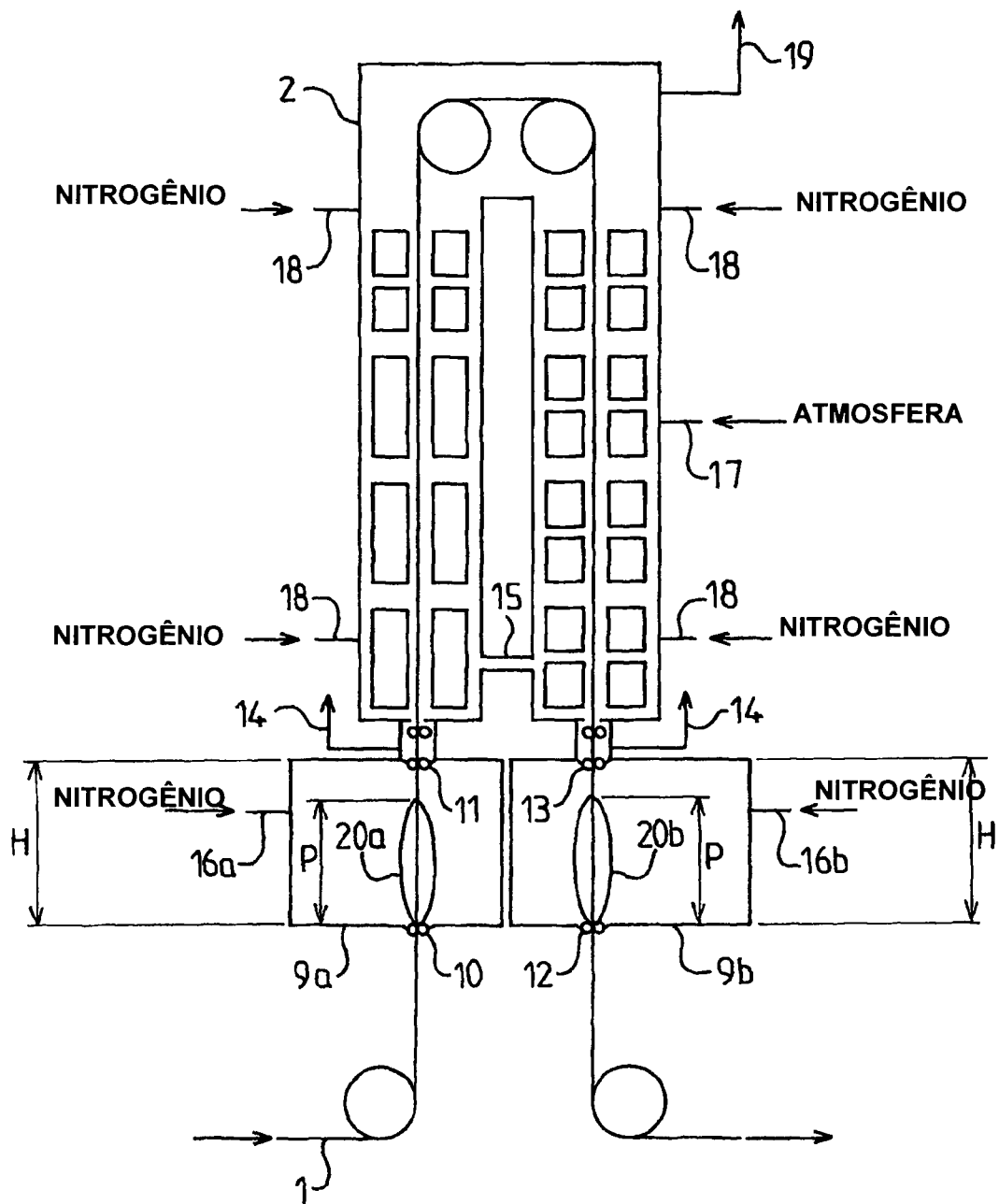


FIG. 8

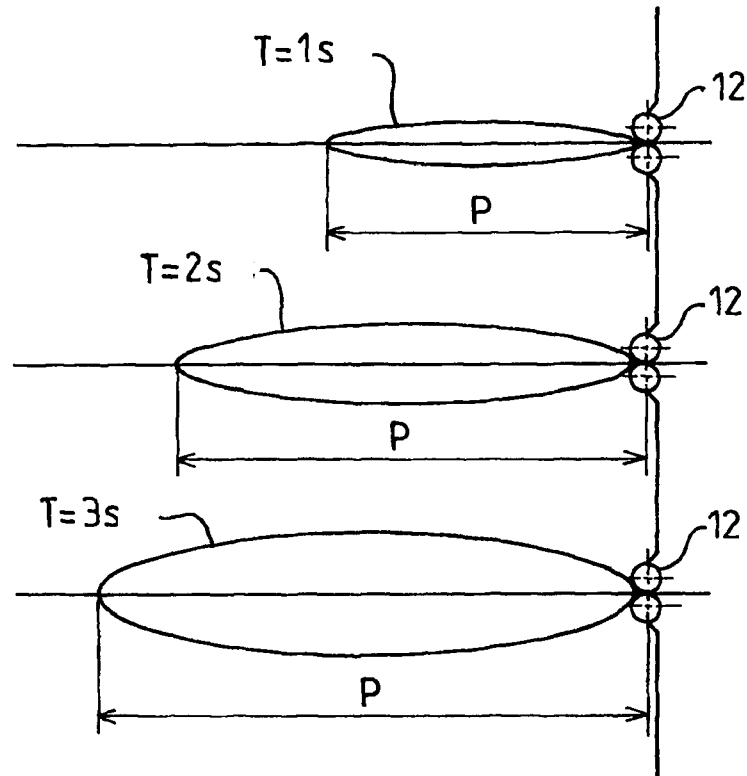


FIG.9

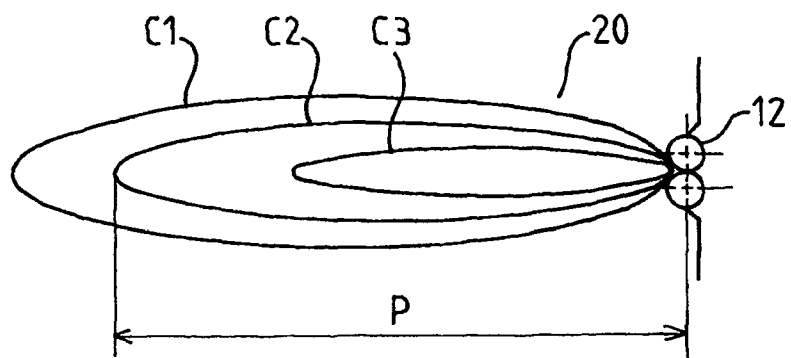


FIG.10

RESUMO

“DISPOSITIVO QUE PERMITE LIMITAR O RISCO DE FORMAÇÃO DE UMA ATMOSFERA EXPLOSIVA DENTRO DO FORNO DE UMA LINHA CONTÍNUA DE TRATAMENTO TÉRMICO DE TIRAS METÁLICAS”

5 Dispositivo que permite limitar o risco de formação de uma atmosfera explosiva dentro do forno de uma linha contínua de tratamento térmico de tiras metálicas cujas seções estão sob uma atmosfera constituída por uma mistura de gás inerte e de hidrogênio cujo teor em volume de hidrogênio é compreendido entre 5 e 100%, equipado com uma seção de aquecimento rápido com indução e com uma seção de resfriamento rápido, que
10 compreende: uma câmara (9) mantida sob gás inerte, na entrada da seção de aquecimento rápido do forno e na saída da seção de resfriamento rápido, a pressão dentro da câmara (9) sendo superior à pressão atmosférica quando o aquecimento do forno funciona normalmente; um dispositivo (10) de entrada da tira na câmara (9), a partir do ar atmosférico; um dispositivo (11) de separação de atmosfera e de entrada da tira na seção
15 de aquecimento do forno a partir da câmara (9) sob gás inerte, esse dispositivo (11) sendo equipado com um sistema de escoamento (14) de gás; um dispositivo (13) de separação de atmosfera e de saída da tira da seção de resfriamento rápido do forno, equipado com um sistema de escoamento (14) de gás, e um dispositivo (12) de saída da tira da câmara (9) para o ar atmosférico.

20