



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL

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



CARTA PATENTE N.º PI 0413011-1

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 0413011-1

(22) Data do Depósito : 29/07/2004

(43) Data da Publicação do Pedido : 10/02/2005

(51) Classificação Internacional : C23C 4/04; C23C 4/12; B05C 5/04

(30) Prioridade Unionista : 31/07/2003 US 10/631,260

(54) Título : Método de proteção do efluente de um dispositivo de pulverização térmica.

(73) Titular : Praxair S.T. Technology, INC., Companhia Norte Americana. Endereço: 441 Sackett Point Road, North Haven, Connecticut, Estados Unidos (US), CEP: 06473.

(72) Inventor : JOHN E. JACKSON, Engenheiro(a). Endereço: 60 Carnaby Street, Brownsburg, Indiana 46112, Estados Unidos.; THOMAS A. TAYLOR, Engenheiro(a). Endereço: 5865 Winthrop Avenue, Indianapolis, Indiana 46224, Estados Unidos.

Prazo de Validade : 20 (vinte) anos contados a partir de 29/07/2004, observadas as condições legais.

Expedida em : 11 de Março de 2014.

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



“MÉTODO DE PROTEÇÃO DO EFLUENTE DE UM DISPOSITIVO DE PULVERIZAÇÃO TÉRMICA”

Campo da invenção

Esta invenção refere-se em geral ao campo da pulverização térmica e à proteção de efluente de pulverização térmica por um gás protetor que é aquecido de modo que a pulverização de efluente possa ser realizada em uma distância de trabalho prolongada e/ou proporcione um gás protetor combustível para eficientemente envolver o efluente para prolongar a distância de trabalho.

Fundamentos da invenção

Na deposição por pulverização térmica, material na forma de pó, de fio ou de bastão é aquecido para próximo ou imediatamente acima de seu ponto de fusão e as partículas fundidas ou quase fundidas são aceleradas em uma corrente gasosa em uma velocidade alta antes de impactarem sobre a superfície a ser revestida, o substrato. Durante o impacto as partículas fluem como salpicos laminares delgados e rapidamente resfriam e congelam. O revestimento é composto de muitas camadas de salpicos. Materiais metálicos, cerâmicos, cermet, e alguns poliméricos podem ser depositados por métodos de pulverização térmica. Uma variedade de dispositivos de pulverização térmica pode ser usada incluindo pulverização de plasma, de pistola de detonação, de óxi-combustível de velocidade alta, de arco de fio, e pulverização de chama. Os revestimentos são normalmente produzidos pelo movimento do dispositivo de pulverização térmica em relação à parte sendo revestida a fim de distribuir o material uniformemente sobre a superfície em passagens múltiplas. Isto ajuda a controlar a temperatura da superfície sendo revestida e a tensão residual no revestimento.

Em deposição por pulverização de plasma um gás, normalmente baseado em argônio, nitrogênio, hidrogênio, e/ou hélio, é

ionizado por um arco elétrico à medida que flui através de um bocal em um maçarico de pulverização de plasma formando um efluente de plasma parcialmente ionizado de velocidade alta, de temperatura elevada. O material de revestimento, normalmente na forma de pó, é injetado para dentro do efluente de plasma e aquecido para próximo do ou imediatamente acima do seu ponto de fusão e as partículas fundidas ou quase fundidas são aceleradas em uma corrente gasosa em uma velocidade alta antes de impactarem sobre a superfície a ser revestida, o substrato. Durante o impacto as partículas fluem como salpicos laminares delgados e rapidamente resfriam e congelam. O revestimento é composto de muitas camadas de salpicos. Podem ser depositados materiais metálicos, cerâmicos, de cermet, e alguns materiais poliméricos. Os revestimentos são normalmente produzidos pelo movimento do dispositivo de pulverização de plasma em relação à parte sendo revestida para distribuir o material uniformemente sobre a superfície em passagens múltiplas. Isto ajuda a controlar a temperatura da superfície sendo revestida e a tensão residual no revestimento.

Os parâmetros mais importantes que determinam a microestrutura e as propriedades dos revestimentos incluem a temperatura das partículas, sua velocidade, a extensão na qual elas têm reagido com o ambiente durante a deposição, a velocidade de deposição, o ângulo de impacto, e a temperatura do substrato e do revestimento previamente revestido. As partículas são aquecidas (exceto com o processo de arco de fio) e aceleradas pelo efluente gasoso do dispositivo de pulverização térmica assim a temperatura e a velocidade alcançadas se tornam uma função, em parte, do tempo de permanência no efluente. Para a pulverização de plasma, as partículas são aquecidas e aceleradas pelo efluente gasoso e assim a temperatura e a velocidade alcançadas se tornam uma função, em parte, do tempo de permanência no efluente. O tempo de permanência, por sua vez, é definido pela velocidade das partículas e pela distância de trabalho (chamada

de distância de segurança) entre a saída do dispositivo de pulverização térmica e o substrato. A temperatura e a velocidade do efluente do dispositivo de pulverização térmica diminuem bem rapidamente na saída do dispositivo. Portanto, há uma distância de trabalho ótima que permite tempo ou distância

5 suficiente para as partículas serem aquecidas e aceleradas, mas não excessivamente de modo que as velocidades e as temperaturas do efluente e das partículas comecem a diminuir de maneira significativa. O ângulo de impacto pode ter uma influência maior sobre a microestrutura e as propriedades do revestimento. Em geral, o ângulo ótimo é a 90 graus ou

10 normal ao substrato. À medida que o ângulo se torna menor, a microestrutura se torna mais turbulenta e menos densa. A velocidade na qual esta degradação ocorre é uma função, em parte, da velocidade e da temperatura das partículas durante o impacto. A distância de trabalho efetiva e a sensibilidade ao ângulo de deposição são particularmente importantes quando componentes de

15 pulverização térmica apresentam uma forma complexa. Pulverização térmica e pulverização de plasma são inerentemente uma linha de processo visível, e o tamanho do dispositivo de pulverização e a parte sendo revestida podem limitar quão próximo o dispositivo de pulverização pode ser trazido para a parte e ainda manter um ângulo de deposição permissível. Assim pode não ser

20 possível aproximar o dispositivo suficientemente da superfície para depositar as partículas em uma temperatura, velocidade e ângulo de impacto suficientes para produzir um revestimento com uma microestrutura adequada.

A tensão residual em revestimentos é uma outra propriedade que tem que ser controlada para resultados ótimos. Na maioria dos casos

25 tensão residual baixa é desejada, mas em um caso a tensão de tração em plano é controlavelmente manejado para produzir trincas de segmentação através da espessura (Taylor, Patente U.S. 5.073.433). A tensão residual provém de uma combinação de fatores. Um é a retração do material de revestimento sendo depositado à medida que resfria a partir da temperatura de solidificação.

Outros fatores podem incluir um mecanismo semelhante a escareação à medida que as partículas impactam o revestimento e o ciclo de temperatura do revestimento e substrato à medida que o dispositivo de pulverização térmica se move sobre a parte em sua transversal. Outra fonte de tensão de revestimento está relacionada com a taxa e a extensão de dissipação e absorção de calor durante o revestimento. Estas são controladas por vários meios incluindo o nível de preaquecimento dado ao substrato antes do início do revestimento e a quantidade de resfriamento auxiliar usada durante o revestimento. Execução e controle do preaquecimento podem ser muito difíceis, particularmente quando se revestem formas grandes e complexas. Ainda outra fonte maior de tensão de revestimento é a espessura da camada depositada à medida que o dispositivo de pulverização térmica percorre o substrato. Os fatores controladores desta espessura de camada são muitos, e incluem velocidade de pulverização (gramas de pó pulverizados por tempo unitário), a distância de trabalho, e a taxa de varredura do maçarico sobre o substrato. Se a velocidade de pulverização for mantida alta para taxas de produção mais altas, e a distância de trabalho for essencialmente fixada devido às questões discutidas acima, a maior parte da tarefa de controle da tensão no revestimento cairá sob a manipulação da velocidade de varredura relativa do maçarico sobre o substrato, também conhecida como velocidade de superfície. Para reduzir a tensão, a velocidade de superfície é aumentada, e poderia se aproximar de velocidades tão altas quanto 254 metros por minuto. Pode ser possível a obtenção destas velocidades para revestimento de formas simples, mas não para formas complexas tais como lâminas de turbina que requerem máquinas robóticas que podem apenas alcançar velocidades de superfície da ordem de 25,4 metros por minuto para otimizar a distância de trabalho e o ângulo de deposição durante o revestimento. Se a distância de trabalho puder ser aumentada e as propriedades de revestimento desejadas puderem ser ainda mantidas, a velocidade de superfície poderá ser

comensuravelmente reduzida.

O efluente do dispositivo de pulverização térmica, isto é, o maçarico de pulverização de plasma começa a se misturar com os gases do ambiente circundante, normalmente ar, imediatamente assim que sai do dispositivo de pulverização térmica. Se um material reativo estiver sendo depositado, tal como a maioria dos metais, materiais poliméricos, e, em uma extensão menor, carbetos e nitretos, o oxigênio do ar sendo misturado com o efluente da pulverização térmica poderá oxidar o material, mudando significativamente as propriedades da microestrutura do revestimento. Em geral, quanto mais longa for a distância de trabalho, maior será o grau de oxidação. Há dois métodos maiores para evitar desta oxidação. Um é depositar o revestimento em uma câmara de vácuo sob uma pressão baixa de gás inerte. Nesta situação o gás inerte, normalmente argônio, é aspirado para dentro do efluente em vez de ar, e nenhuma oxidação ocorre. Esta técnica tem sido bem desenvolvida para a deposição por pulverização de plasma e pode ser muito efetiva. Ela possui um benefício adicional de uma distância de trabalho mais longa devido ao ambiente de pressão baixa. Entretanto, os custos de operação e de capital de um tal sistema são muito altos e a velocidade de produção é baixa. A alternativa é proporcionar um protetor ou um envoltório de gás inerte coaxial circundando o efluente para prevenir a oxidação. Nesta maneira gás inerte é aspirado para dentro do efluente do dispositivo de pulverização térmica, e a oxidação do material de revestimento é evitada.

Um protetor de gás efetivo é aquele inventado por Jackson, Patente U.S. 3.470.347. Esta invenção proporciona um fluxo uniforme de gás inerte turbulento, normalmente argônio, circundando o efluente de um maçarico de pulverização de plasma. É muito efetivo na prevenção da oxidação de materiais reativos durante a deposição, mas possui uma capacidade de distância de trabalho limitada. Assim, quando se revestem

partes com uma forma complexa tal como uma com protuberâncias ou filetes profundos, pode não ser possível manter o dispositivo de pulverização térmica suficientemente próximo da superfície para manter a proteção efetiva.

5 Outra invenção proporciona um protetor de gás laminar pela introdução de um fluxo de gás inerte normal ao efluente de pulverização térmica dentro do bocal de pulverização térmica ou uma fixação no dispositivo de pulverização térmica através de um meio poroso arranjado paralelamente ao efluente de tal modo que a interação do gás inerte com o fluxo de efluente evite a infiltração de gás e/ou de vapor do ambiente
10 circundante (M. S. Nowotarski, *et al.*, Patente U.S. 5.486.383).

Um dos muitos campos de aplicação importantes para os revestimentos de pulverização térmica é aquele das barreiras térmicas sobre muitos dos componentes de motores de turbina a gás. Motores de turbina a gás modernos para propulsão de aeronaves e para geração de energia elétrica
15 em solo continuam a exigir temperaturas de operação maiores, porque a eficiência total melhora com temperatura mais alta. Algumas turbinas a gás operam em tais temperaturas altas de modo que os componentes metálicos diretamente aquecidos, tais como combustores, lâminas e palhetas teriam vida muito curta se não recebessem um revestimento cerâmico protetor. O
20 revestimento cerâmico, conhecido como revestimento de barreira térmica (TBC), é um isolante e atua para reduzir a temperatura do substrato.

Há muitas variações dos revestimentos de barreira térmica, baseados em materiais selecionados para o revestimento e os processos de revestimento. Os TBCs em sua maioria incluem um revestimento de ligação
25 metálico aplicado no componente de substrato metálico, e no topo do revestimento de ligação, uma camada cerâmica, normalmente baseada em óxido de zircônio por causa de sua condutividade térmica muito baixa. A camada de zircônia do revestimento varia dependendo dos requerimentos específicos; por exemplo, de cerca de 0,25 mm sobre algumas palhetas e

lâminas de turbina a acima de 2,5 mm ou mais sobre combustores. O revestimento pode reduzir a temperatura do substrato em 111 graus centígrados ou mais, dependendo das condições de limite lateral frio e quente. Sobre lâminas e palhetas, o TBC tem que proteger o aerofólio e normalmente a plataforma de fixação ou as paredes extremas. Sobre combustores, o TBC é aplicado sobre as superfícies internas. O revestimento de ligação metálico pode ser aplicado por vários métodos incluindo métodos de pulverização térmica (por exemplo, maçarico de plasma de ar e envolvido, maçarico de plasma em câmara de vácuo, pistola de detonação, ou pistola de óxi-combustível de velocidade alta), difusão gasosa (tal como aluminação de pacote), e métodos avançados de eletro-deposição. A camada cerâmica de zircônia pode ser aplicada usando vários métodos incluindo deposição de vapor físico de feixe eletrônico (EB-PVD) e por pulverização térmica.

Na aplicação de revestimentos de pulverização térmica sobre formas complexas, tais como palhetas ou lâminas de turbina, há várias questões que afetam a qualidade do revestimento ou algumas vezes até mesmo a possibilidade de aplicação dos revestimentos. Distância de trabalho é uma tal questão porque ela afeta a microestrutura do revestimento incluindo sua porosidade seu micro-trincamento. Micro-trincamento e porosidade controlados são essenciais para a resistência à fadiga térmica ou ao choque térmico da camada de óxido em um TBC. A forma da parte incluindo protuberâncias (tais como as bordas de plataforma de palheta) determina a distância de trabalho mínima que pode ser alcançada, que pode ser muito longa para a microestrutura desejada usando os protetores e os dispositivos de pulverização do corrente estado da técnica.

Os revestimentos de ligação metálica TBC contêm em sua maioria um ou mais elementos muito reativos tais como alumínio ou ítrio e, para proporcionar resistência à corrosão adequada em serviço, têm que ser desenvolvidos em uma tal maneira que estes elementos não são oxidados

durante o processo de deposição (oxidação interna). Como observado, protetores de gás inerte co-axiais (por exemplo, Jackson, Patente U.S. 3.470.347) são um meio muito efetivo de realização disto. Esta abordagem é um método de revestimento muito mais conveniente e de custo menor de revestimentos de metal reativo, tal como NiCoCrAlY, do que a pulverização de plasma de pressão baixa ou em vácuo. Contudo é efetivo para distâncias de trabalho apenas relativamente curtas, e portanto pode não ser muito efetivo para algumas partes complexas tais como algumas lâminas e palhetas de turbina.

Em resumo, métodos de pulverização térmica são conhecidos por aquelas pessoas experientes na técnica para a deposição de materiais reativos tais como a maioria dos metais sem degradação significativa devido à oxidação durante a deposição. Entretanto, estas técnicas envolvem quer deposição muito cara em câmaras de vácuo quer o uso de protetores de gás inerte com efetividade de distância de trabalho limitada. Ainda mais, são conhecidos métodos de pulverização térmica de deposição de revestimentos cerâmicos com microestruturas desejadas, mas também possuem capacidades de distância de trabalho limitadas. Também é difícil o controle adequado da quantidade e da taxa de absorção e de dissipação de calor do revestimento e do substrato durante o revestimento, particularmente quando se revestem formas complexas ou grandes.

Um objetivo desta invenção é proporcionar um novo escudo ou envoltório protetor de gás circundando o efluente de um dispositivo de pulverização térmica.

Um outro objetivo desta invenção é prolongar a distância de trabalho ou distância de segurança eficaz entre o dispositivo de pulverização térmica e a superfície sendo revestida por meio do uso de citado protetor gasoso único.

Outro objetivo desta invenção é proporcionar um método de

pulverização térmica de materiais reativos usando um protetor gasosos dual único consistindo de um protetor de gás inerte interno e um protetor de gás externo.

5 Um outro objetivo desta invenção é proporcionar um envoltório ou protetor de gás único compreendendo uma chama de combustão e produtos de combustão circundando o efluente de um dispositivo de pulverização térmica tal como um dispositivo de pulverização de plasma.

Sumário da invenção

10 Uma modalidade da invenção proporciona um método novo de proteção do efluente de um dispositivo de pulverização térmica compreendendo o aquecimento de uma fonte anular de gás protetor para uma temperatura acima da temperatura ambiente e o citado fluxo de gás protetor circundando substancialmente o citado efluente em uma maneira coaxial e a fonte anular para o citado gás protetor está em um plano normal ao citado efluente proporcionando deste modo o citado fluxo de gás paralelo ao efluente. Preferivelmente a temperatura de citado gás protetor é aquecida para pelo menos 250°C medida sobre a linha central do fluxo cônico a 33 centímetros a jusante da fonte de citado fluxo protetor. Preferivelmente, o gás protetor é um fluxo possuindo pelo menos um segmento laminar a partir da

15 fonte de citado fluxo de efluente. Outra modalidade da invenção proporciona um novo protetor gasoso compreendendo uma chama de combustão circundando o efluente de um dispositivo de pulverização térmica. A invenção proporciona um método de pulverização de materiais, incluindo materiais reativos e não reativos, em uma distância de trabalho longa e um

20 método de controle da temperatura do substrato sendo revestido usando o citado dispositivo protetor gasoso. A invenção também proporciona um método de pulverizar materiais reativos usando um protetor de gás dual consistindo de um protetor de gás inerte interno e um protetor de gás externo. O método desta invenção pode ser usado para revestimento de partes ou

25

componentes para turbinas a gás, motores diesel e motores de foguete. Preferivelmente, os revestimentos produzidos pelos métodos desta invenção poderiam possuir uma porosidade entre cerca de 5% e cerca de 40%.

5 Como aqui usado, efluente deve significar o gás liberado e o material de revestimento de camada desejada a ser depositado sobre o substrato.

Breve descrição dos desenhos

10 Figura 1 é uma plotagem de comprimento de chama laminar como uma função do fluxo de gás total (propileno + oxigênio) e a razão de oxigênio para carbono da mistura gasosa (razão O/C) para uma anel de chama de demonstração de 24 orifícios desta invenção.

15 Figura 2 é uma plotagem de curvas de iso-temperatura como uma função do fluxo de gás total (propileno + oxigênio) e a razão de oxigênio para carbono da mistura gasosa (razão O/C) para uma anel de chama de demonstração de 24 orifícios desta invenção.

Figura 3 é uma plotagem de comprimento de chama laminar como uma função do fluxo de gás total (propileno + oxigênio) e a razão de oxigênio para carbono da mistura gasosa (razão O/C) para uma anel de chama de demonstração de 45 orifícios desta invenção.

20 Figura 4 é uma plotagem de curvas de iso-temperatura como uma função do fluxo de gás total (propileno + oxigênio) e a razão de oxigênio para carbono da mistura gasosa (razão O/C) para uma anel de chama de demonstração de 45 orifícios desta invenção.

Descrição das modalidades preferidas

25 Tem sido verificado que pela modificação dos protetores de gás inerte turbulentos conhecidos para protetores possuindo pelo menos um comprimento de fluxo inicial que é essencialmente laminar, a quantidade de misturação entre o gás protetor e o ar circundante (ou outro ambiente gasoso), bem como entre o gás protetor e o efluente de pulverização térmica, é

substancialmente reduzida.

Outra modalidade desta invenção é um novo protetor gasoso para pulverização térmica que compreende um anel ou envoltório de chamas de combustão e produtos de combustão que circunda o efluente do dispositivo de pulverização térmica. Este escudo de chama de combustão substancialmente aumenta a faixa útil de distâncias de trabalho que podem ser empregadas na produção de revestimentos desejados. Acredita-se que isto é efetuado, em parte, porque a quantidade de misturação entre o gás protetor e o ar circundante (ou outro ambiente gasoso), bem como o gás protetor e o efluente de pulverização térmica é substancialmente reduzida para distâncias muito mais longas do que com os protetores do estado da técnica. Exemplos de camadas revestidas produzidas pelo método da invenção são NiCoCrAlY, NiCrAlY, CoCrAlY, FeCrAlY, cerâmicas baseadas em zircônia e outras cerâmicas.

Estas modalidades diminuem as taxas nas quais a temperatura e a velocidade do efluente de pulverização diminuem com a distância a partir da saída do dispositivo de pulverização. Há potencialmente vários benefícios que resultam disto. Um destes benefícios é que a distância de trabalho pode ser aumentada sem piorar as propriedades do revestimento. Uma distância de trabalho mais longa permite que sejam revestidas formas mais complexas, reduz a sensibilidade do revestimento ao ângulo de deposição, facilita o controle de tensão residual, permite mais tempo para aquecer os materiais em pó, e pode apresentar outros efeitos benéficos.

Uma modalidade desta invenção é produzir fluxos de gás protetor mais laminares pelo aumento da viscosidade do gás protetor. É sabido que a maioria dos gases normais, incluindo aqueles freqüentemente usados para proteção tais como argônio ou nitrogênio, possuem essencialmente a mesma viscosidade na temperatura ambiente. Entretanto, aumento substancial na viscosidade do gás pode ser obtido pelo aquecimento

do gás. Dados na literatura (Y. Chyou, Modeling of Thermal Plasma Systems, Tese de Doutorado, U. Minnesota, Junho de 1987, apêndice H) mostram que a viscosidade cinemática (definida como a viscosidade do gás dividida por sua densidade) de argônio e de ar aumenta por um fator de dez sob o aquecimento da temperatura ambiente até 1.903°C.

A transição entre fluxo laminar e fluxo turbulento de gases em tubos tem sido previamente estudada, e correlacionada com um parâmetro de fluxo chamado de número de Reynolds. O número de Reynolds é definido como:

$$R_e = \frac{(\text{velocidade do gás}) \times (\text{diâmetro interno do tubo})}{\text{viscosidade cinemática do gás}}$$

Combina as propriedades do gás e o aspecto geométrico do tubo dentro do qual o gás está fluindo. Experimentalmente, fluxo laminar é verificado para fluxo em tubos para números de Reynolds menores do que cerca de 2.300. O interesse aqui é em fluxo em ar após o gás ter deixado um tal tubo.

Um método foi desenvolvido para visualizar os fluxos de gás e determinar o efeito da viscosidade e da vazão sobre o fluxo laminar após o gás deixar o tubo ou o bocal baseado nas diferenças em índice de refração de gás aquecido e na temperatura ambiente. Este método utiliza uma câmara de Schlieren e é descrito em detalhe no Exemplo 1 abaixo. Usando este método e ar pré-aquecido para temperaturas de 104°C a 566°C como o gás protetor, foi verificado que se o fluxo laminar puder ser estabelecido em um tubo, o fluxo de gás permanecerá laminar por alguma distância após sair do tubo. Foi verificado que fluxos laminares de comprimento mensurável fora de saídas de bocal foram desenvolvidos para números de Reynolds menores do que 5.000 e que o comprimento do fluxo laminar aumenta à medida que o número de Reynolds cai para abaixo de 5.000. Também foi verificado que o fluxo laminar pode ser melhor estabelecido se um comprimento da seção do tubo ou do bocal imediatamente precedendo a saída for retilíneo. O comprimento de

seção retilínea requerido para fluxo laminar para uma dada distância na frente da saída do tubo ou do bocal é uma função de várias propriedades do gás.

Embora ar fosse usado nos experimentos no Exemplo 1, deve ser observado que nitrogênio, argônio, ou muitos outros gases comportar-se-
5 ão em uma maneira semelhante. Assim ar poderia ser escolhido quando um material não reativo estiver sendo depositado por pulverização térmica ou um gás inerte quando um material reativo estiver sendo depositado e os mesmos benefícios de distância de trabalho prolongada são alcançados. Também deve ser observado que tubos ou bocais com seções transversais circulares não
10 precisam ser usados. "Fendas" retangulares em uma placa de orifício ou bocal de várias dimensões foram usados no Exemplo 1, mas bocais destas ou de outras formas podem ser utilizados nas montagens de protetor de gás sobre dispositivos de pulverização térmica. Embora a abordagem de uso de ar pré-aquecido ou de outros gases pré-aquecidos possa ser adequada para algumas
15 aplicações, é desejável o uso de gases de uma temperatura maior e uma fonte de calor mais prontamente utilizável.

Um escudo de gás empregando a combustão de uma mistura gasosa para formar um anel de chamas e produtos de combustão (daqui em
diante chamado de um escudo de chama) como um gás de viscosidade alta
20 satisfará a necessidade de gases de viscosidade maior e a necessidade de uma fonte de calor muito facilmente empregada. É prontamente adaptado a um dispositivo de pulverização térmica pela provisão de um acessório fixo com bocais adequados em um arranjo anular ao redor da periferia do efluente de pulverização térmica e uma fonte de combustível e oxidante controlável. Os
25 bocais podem ser fendas de várias configurações incluindo orifícios circulares em uma placa de orifícios. Preferivelmente, as fendas possuiriam uma seção retilínea imediatamente precedendo a saída. Uma variedade de combustíveis pode ser usada incluindo, mas não limitados a, acetileno, propano, metil-acetileno, e propileno, com os hidrocarbonetos insaturados possuindo algumas

vantagens. Uma variedade de oxidantes pode ser utilizada incluindo, mas não limitados a, oxigênio e ar. Os gases combustível e oxidante podem ser misturados antes de fluírem através dos bocais ou fluírem através de bocais separados. Uma variedade de métodos de ignição de chama pode ser empregada.

Modalidades da invenção são descritas em detalhe no Exemplo 2. Com o uso de dois escudos de chama com arranjos de orifícios circulares igualmente espaçados em um único anel com um diâmetro de 3 centímetros ao redor de um bocal de pulverização térmica com um diâmetro de 0,318 centímetro, um arranjo possuindo 24 orifícios de 0,079 centímetro de diâmetro e o arranjo externo possuindo 45 orifícios de 0,041 centímetros de diâmetro, foi mostrado que o comprimento do fluxo laminar das chamas foi aumentado para cerca de 12,7 centímetros de comprimento seguido por cerca de 18 a 23 centímetros de fluxo turbulento. Estes representam prolongamentos muito significativos da região de fluxo laminar demonstrada com gás pré-aquecido como descrito acima e no Exemplo 1. Embora a determinação dos parâmetros de operação ótimos para os escudos de anel de chama de 24 e 45 orifícios usando oxigênio e propileno seja mostrada no Exemplo 2, é óbvio que outras formas de bocal, padrões de distribuição de bocal, e parâmetros de operação podem ser usados dentro do escopo desta invenção.

Para proporcionar orientações para a extensão desta invenção para outros dispositivos de pulverização térmica incluindo maçaricos de pulverização de plasma (por exemplo com diâmetros de saída de bocal de plasma que tipicamente variam em até 0,64 centímetro ou maiores), as razões de energia térmica e fluxos de gás do protetor de plasma para o efluente de plasma foram determinadas para o maçarico de pulverização de plasma de Praxair usado nos experimentos e para outros maçaricos de pulverização de plasma típicos como descritos em detalhe no Exemplo 1. Baseando nestas

determinações e assumindo que a chama ótima é independente do fluxo de efluente de maçarico de plasma, o fluxo de gás de chama total é controlado e para fluxos de gás de chama constantes a razão de potência variará de cerca de 0,5 a cerca de 5,0 para comprimentos de chama e de maçarico diferentes.

5 Se o fluxo de chama ótimo tiver que ser dimensionado para o fluxo de efluente de maçarico de plasma, então a vazão de gás frio será controlada. Como aqui usado, a vazão frio é definida como a soma de vazão de gás combustível e a vazão de gás oxidante antes da combustão. Maçaricos diferentes possuem efluentes ótimos em fluxos de gás efluente totais
10 diferentes. Estes podem mudar até mesmo para um dado maçarico quando classes diferentes de pós estiverem sendo pulverizadas; por exemplo, zircônia e NiCoCrAlY tipicamente requerem fluxos de efluente diferentes. Razão de fluxo de gás frio varia de cerca de 0,1 a 0,7 para chamas de propileno mais oxigênio. Outros gases combustíveis tais como acetileno ou propano podem
15 requerer mais fluxo para proporcionar o mesmo aquecimento, porque possuem um calor de combustão menor. Portanto uma razão de fluxo de gás frio mais ampla seria mais inclusiva destas chamas de gás, cerca de 0,1 a cerca de 1,2. A razão de carbono para oxigênio do fluxo de gás protetor total estaria dentro da faixa de 0,6 a 1,0, preferivelmente 0,7 a 0,9, e mais
20 preferivelmente de 0,75 a 0,85. Estas faixas devem ser consideradas apenas como orientações e em nenhuma maneira como limitações sobre a invenção.

A utilidade da invenção do protetor de chama foi demonstrada pela pulverização de plasma de óxido de zircônio. Uma comparação foi feita de revestimentos produzidos usando maçarico de pulverização de plasma com
25 o anel de chama de 24 orifícios descrito no Exemplo 2 com aqueles preparados usando o mesmo maçarico de pulverização de plasma com um protetor de gás inerte na temperatura ambiente. Um experimento planejado foi realizado no qual revestimentos de barreira térmica com um revestimento subjacente de CoNiCrAlY e revestimento sobrejacente de zircônia foram

depositados sob várias condições e avaliados para características micro-estruturais e resistência ao choque térmico. Este experimento é descrito em detalhe no Exemplo 3. Foi verificado que os revestimentos produzidos com um maçarico de protetor de chama puderam ser depositados em uma distância
5 de trabalho muito substancialmente maior, apresentaram uma microestrutura muito mais consistente, foram bem menos sensíveis ao ângulo de deposição, e tiveram resistência ao choque térmico melhor do que aqueles depositados usando o maçarico de protetor de gás inerte na temperatura ambiente. Por exemplo, a distância de trabalho usando um maçarico específico foi
10 prolongada de uma faixa de 3,18 centímetros a no máximo 3,81 centímetros com um protetor de gás inerte na temperatura ambiente para uma faixa de 10 centímetros a maior do que 15 centímetros. Entretanto, isto não é para ser considerado como uma limitação, e prolongamentos maiores ou menores podem ser alcançados com outros maçaricos de pulverização de plasma ou
15 dispositivos de pulverização térmica.

Embora os experimentos nos Exemplos 2 e 3 usem um maçarico de pulverização de plasma específico, um protetor de chama específico, e parâmetros operacionais específicos para ambos, é óbvio que a invenção pode ser empregada com outros dispositivos de pulverização
20 térmica, outros protetores de gás de fluxo laminar, outros gases protetores de temperatura alta, outros meios de aquecimento de gases protetores, outros projetos de protetores de chama, outros combustíveis e oxidantes para o protetor de chama, e outros parâmetros operacionais otimizados para ambos o dispositivo de pulverização térmica e o protetor de gás. Também é óbvio que
25 os protetores de gás desta invenção, particularmente os protetores de chama e/ou os protetores de fluxo laminar podem ser usados para produzir revestimentos de uma ampla variedade de outros materiais cerâmicos ou resistentes à corrosão incluindo outros óxidos, carbetos, e nitretos.

Os protetores de chama também podem ser utilizados para

controlar a temperatura do substrato sendo revestido. Isto é particularmente vantajoso quando for necessário revestir o substrato em uma temperatura elevada para obter uma microestrutura requerida. Este controle pode ser obtido pelo ajuste da potência do protetor de gás e/ou do fluxo de gás total do protetor de gás.

Outra modalidade da invenção é um protetor coaxial dual que teia um fluxo coaxial interno de gás inerte e circundando-o um fluxo coaxial de gás de chama ou de gás aquecido. O benefício de aquecimento do gás externo e o benefício de prevenção de oxigênio do protetor de gás interno seriam assim garantidos.

Embora a descrição da invenção acima e dos exemplos refira-se principalmente à deposição por pulverização de plasma, a invenção aplica-se a muitas outras formas de pulverização térmica também incluindo, mas não limitadas à pulverização de plasma, de óxi-combustível de velocidade alta e às suas muitas variantes, e à pulverização de chama.

Revestimentos de pulverização de plasma ou térmica podem compreender uma única camada ou múltiplas camadas de uma ou mais microestruturas ou composições de óxido, de uma ou mais camadas externas de um metal ou de uma liga metálica de uma ou mais composições, ou qualquer combinação das camadas acima.

Os exemplos seguintes ilustram a invenção, mas não são, em nenhuma maneira, para serem entendidos como limitando-a.

Exemplo 1

A distância de segurança com protetores de gás convencionais é limitada até mesmo com fluxos de gás elevados. Isto era crido devido, em parte, à natureza turbulenta do fluxo de gás protetor. Um protetor de gás único foi então concebido baseado em fluxo laminar do gás protetor. Em adição, foi concebido que o fluxo laminar poderia ser conseguido pelo uso de um gás com uma viscosidade alta, e que a viscosidade alta poderia ser obtida pelo

aquecimento do gás. Para demonstrar a viabilidade desta invenção, a superfície (isto é, a interface ou o limite gasoso com a atmosfera circundante) de vários tipos de fluxos de gás protetor (sua interface ou limite gasoso com a atmosfera circundante) foi visualizada usando diversos métodos, incluindo

5 fotografia de interferência de Schlieren e fotografia de sombra. Em resumo, a câmara de Schlieren possui uma fonte de luz, a saber sobre o lado esquerdo da aparelhagem, focalizada sobre a zona onde o gás quente estará fluindo e esta zona é focalizada sobre uma abertura circular pequena à direita, enquanto que esta abertura é, por sua vez, focalizada sobre o plano de imagem de uma

10 câmara sobre o lado extremo direito da aparelhagem. Os comprimentos focais das lentes usadas foram ambos de 21,8 cm, que deram uma área ampla entre as lentes para os fluxos de gás quente sem danificar a óptica de vidro. Quando o meio na zona central é de índice de refração uniforme, tal como ar em repouso ou até mesmo jato de ar fluindo em uma zona de ar em repouso

15 circundante (ambas na mesma temperatura) o percurso da luz não é perturbado e uma imagem branca, sem características distintas é obtida pela câmara. Se o jato de gás é aquecido para produzir um índice de refração diferente daquele do meio circundante o percurso da luz é refratado para fora do percurso de feixe avante e não passa pela abertura pequena, deixando uma

20 característica escura na imagem da câmara. Um jato de gás turbulento, quente formará então uma imagem como um jato distinto possuindo um limite com o ar circundando que é de margens irregulares e ondulada com a distância, e claro, com o tempo. Para eliminar o elemento tempo e congelar a imagem do jato em um instante uma luz estroboscópica de Microflash Modelo 548

25 EG&G foi usada como a fonte de luz. A largura de tempo do pulso estroboscópico foi 1/50.000 de um segundo. Uma câmara Linhof de 10 cm x 13 cm com uma lente Schneider de 49 mm foi usada. Para cada condição de teste, foram expostos um filme Polaróide do Tipo 52 e um filme negativo Kodak Plus-X. O filme negativo foi utilizado para se prepararem ampliações

para medições de comprimento de fluxo laminar e para se verem os detalhes de fluxo turbulento. As fotografias dos jatos de gás quente foram tomadas com todas as luzes da sala desligadas.

Um projeto de protetor de gás quente desta invenção possui
5 uma fenda alunar, estreita que projeta um fluxo de gás circundando o efluente do maçarico, coaxial à linha central do maçarico de plasma, e possui um diâmetro várias vezes o diâmetro da saída do anodo do maçarico. Para simplificar este projeto para os estudos de fotografia de interferência, foi preparada uma série de bocais com fendas retangulares planas de larguras
10 diferentes, todas de comprimento de 1,52 centímetros. Bocais com profundidades de fendas diferentes na direção do fluxo foram incluídos para determinar o efeito de permissão de estabilização do próprio fluxo em um modo laminar dentro da fenda antes da saída. As larguras de fenda foram de 0,140 centímetro e 0,254 centímetro, e as profundidades das fendas ao longo
15 da direção do fluxo foram 1,3 centímetro, 2,5 centímetros e 5,1 centímetros. O gás alimentado às fendas de teste foi ar aquecido, porque o ar possui curva de viscosidade cinemática - temperatura igual à do argônio, e seria experimentalmente mais seguro, porque os testes foram realizados no laboratório sem fluxos de ventilação que poderiam distorcer o padrão de fluxo
20 de teste. O ar foi aquecido usando uma 4000 Watt Leister CH-6065 Electric Hot Air Tool conectada a montante da seção de teste. O fluxo de ar de entrada na temperatura ambiente para o aquecedor foi medido usando um rotâmetro Brooks R-M-127-4. O tubo conector entre o aquecedor e a seção de teste estava isolado para ajudar a minimizar a perda de calor. A temperatura de
25 saída do gás aquecido foi medida usando um termopar do tipo K de sub-miniatura imediatamente na saída e em incrementos de 0,254 centímetro a jusante da saída. Esta informação de temperatura permitiu a interpolação da temperatura no ponto de ruptura entre os fluxos laminar e turbulento, medida mais tarde a partir das fotografias de interferência. Após a saída a temperatura

do gás foi mapeada como uma função da distância da fenda, o termopar foi removido e o fluxo foi permitido se estabilizar por dez minutos antes da obtenção das fotografias de interferência.

Os experimentos foram realizados sobre uma faixa de temperaturas de saída de gás quente e velocidades de saída de gás quente. As temperaturas de saída de gás quente variaram de 104°C a 566°C. A velocidade de saída foi calculada a partir da vazão de gás frio de entrada medida, da razão de temperatura absoluta de quente para frio e das dimensões da fenda. O número de Reynolds foi calculado para o fluxo da fenda ligeiramente diferente do que o do exemplo de fluxo mostrado acima, usando o diâmetro hidráulico para representar a fenda. O diâmetro hidráulico é 4 vezes a área de seção transversal da fenda dividida pelo perímetro interno da fenda. O número de Reynolds do fluxo foi calculado na saída e no ponto de transição do fluxo laminar para turbulento. O último foi um pouco maior do que o valor na saída devido à menor temperatura do gás no ponto de transição, conforme medido pelo mapa de temperatura. Para simplificação, os resultados são dados aqui apenas em termos de número de Reynolds de saída.

MEDIÇÕES DE FLUXO LAMINAR

Fluxo de argônio aquecido dos dados de bocal de seção transversal retangular das fotos da câmera de interferência de Schlieren

Dimensões do bocal*		Razão de comprimento para largura	Fluxo na saída m ³ /h	Veloc. na saída m/s	Ponto de transição**		Comprim. laminar cm
Largura da fenda cm	Comprim. do fluxo cm				Temp. °C	Nº. Reynolds	
0,140	1,3	9,1	6,14	80,2	317	3950	0,00
0,140	2,5	18,2	6,14	80,2	309	4055	0,20
0,140	2,5	18,2	5,72	74,7	382	3070	0,36
0,25	2,5	10	5,72	41,2	311	3515	0,18
0,25	2,5	10	5,72	41,2	476	2320	0,20
0,25	5,0	20	5,72	41,2	318	3445	0,18
0,25	5,0	20	5,72	41,2	456	2120	0,28

Todas as alturas de fenda foram de 1,5 centímetros.

** Ponto no fluxo externo onde ele muda de laminar para turbulento.

Foi verificado que os jatos de gás quente puderam desenvolver um comprimento de fluxo laminar mensurável para os números de Reynolds

na saída menores do que 5000, e que o comprimento laminar aumentava à medida que o número de Reynolds diminuía para abaixo de 5.000 para uma dada razão de comprimento para largura de bocal. Isto pôde ser realizado pelo uso quer de temperaturas de gás na saída mais elevadas quer de velocidades de gás na saída mais baixas. O comprimento do fluxo laminar em um número de Reynolds de 1000 foi cerca de 0,5 centímetro, conforme extrapolado dos dados. Foi verificado que o aumento do comprimento do percurso do fluxo na fenda ajudou a estabilizar o fluxo laminar na saída. A melhor condição testada teve uma razão de comprimento de fluxo para largura de fenda de 20, enquanto que o fluxo não foi laminar com uma razão de comprimento de fluxo para largura de fenda de 9, até mesmo com um número de Reynolds baixo de 3950. A abordagem nestes experimentos foi limitada pela capacidade de aquecimento do aquecedor de gás em linha e pelos efeitos de perda de calor. Embora uma zona laminar longa não fosse obtida nestes experimentos, os resultados mostraram que o conceito de protetor de gás quente para fluxo laminar foi efetivo e que se temperaturas de gás mais altas e/ou velocidades de gás mais baixas forem usadas a zona laminar aumentará em comprimento.

Exemplo 2

O trabalho com ar ou argônio quente como o meio viscoso para melhorar a proteção indicou que até mesmo velocidades menores e temperaturas maiores de gás foram desejáveis, bem como um método mais simples de proporcionar um tal fluxo de gás viscoso, quente. Um fluxo de gás protetor composto de produtos de combustão e uma chama de combustão foi concebido para satisfazer a estas necessidades. O projeto inicial foi para um dispositivo protetor fixável para o maçarico de pulverização de plasma Praxair Modelo 1108. Compreendeu uma câmara anular com um anel de saída possuindo 24 orifícios de 0,079 centímetro de diâmetro perfurado sobre um círculo anular de 3,0 centímetros de diâmetro. O comprimento ou a

profundidade dos orifícios foi de 0,201 centímetro para uma razão de comprimento de fluxo para diâmetro de fluxo de 2,6. A saída dos orifícios estava no plano da face do maçarico com o eixo dos orifícios paralelo ao eixo do maçarico e o centro do círculo anular sobre o eixo do maçarico. Os gases
5 iniciais usados foram propileno e oxigênio, que foram misturados em um cabo de soldagem a gás de "óxi-acetileno" padrão antes de entrar no corpo do protetor. Os fluxos de propileno e de oxigênio foram controlados por rotâmeros sobre as linhas de entrada para o cabo de soldagem. A mistura gasosa era inflamada à medida que saía dos bocais formando um protetor de
10 produtos de combustão e de chama de combustão substancialmente circundando e fluindo coaxialmente com o efluente de plasma. O protetor cilíndrico de produtos de combustão e de chama de combustão tinha um diâmetro de cerca de 3,8 centímetros com uma espessura de "parede" de cerca de 0,318 centímetro.

15 Uma faixa ampla de fluxos de propileno e de oxigênio foi usada e as condições da chama foram plotadas contra as vazões de fluxo dos dois gases sobre uma plotagem de $X=Y$. Foram verificados regimes de chama amarela brilhante rica em propileno, pobre em oxigênio e de chama de "ejeção caótica" pobre em propileno, rica em oxigênio, e foram indicadas
20 tendências para comprimentos de chama de fluxo laminar. As características de chama em termos de comprimento de chama de fluxo laminar e a temperatura da chama em uma distância fixa do corpo do maçarico, escolhidas convenientemente para ser de 33 centímetros, foram então determinadas. As temperaturas foram medidas com um termopar do tipo K
25 sobre a linha central do percurso do fluxo. O comprimento laminar e o comprimento da chama foram medidos diretamente com uma régua.

Os resultados são mostrados nas plotagens de contorno das Figuras 1 e 2. O valor plotado sobre o eixo da ordenada é a razão de carbono para oxigênio para as misturas gasosas, tomada para ser a razão dos fluxos de

propileno para oxigênio em m^3/h multiplicada por $3/2$, porque há três átomos de carbono por molécula de propileno e dois átomos de oxigênio por molécula de oxigênio. O valor plotado sobre o eixo da abscissa é o fluxo de gás total, adicionando os valores de m^3/h para cada ajuste de oxigênio e de propileno.

5 Foi verificado que a transição de uma chama azul para amarela ocorreu em uma razão de C/O de cerca de 0,85. Os comprimentos de chama laminares mais longos foram obtidos na região de chama azul a cerca de C/O de 0,8 e um fluxo de gás total de cerca de $1,4 \text{ m}^3/\text{h}$. O comprimento de chama total incluindo a região de turbulência a jusante foi de 40,6 centímetros. A
10 temperatura da chama, até mesmo em uma distância de trabalho de 33 centímetros é muito alta e foi verificado que aumentou com o fluxo de gás total, crescendo na linha de razão de C/O de 0,8. Todas estas características de chama foram medidas com o próprio maçarico de plasma não em operação; de outro modo o arco de plasma muito mais brilhante não permitiria a
15 visualização da chama de protetor. É provável que com ambos o maçarico e o protetor de chama em operação as características da chama mudariam em termos de comprimento de fluxo total e laminar.

Um anel de chama semelhante para a fixação do corpo de protetor foi então projetado, mas com 45 orifícios ao redor de mesmo
20 diâmetro anular de 3,0 centímetros, cada orifício de 0,041 centímetro de diâmetro. O comprimento ou a profundidade dos orifícios foi de 0,201 centímetro para uma razão de comprimento de fluxo para diâmetro de fluxo de 4,9. A área de fluxo total do anel de 45 orifícios foi metade da do anel de 24 orifícios. O mesmo mapeamento de fluxo de chama foi realizado. As
25 plotagens resultantes são mostradas nas Figuras 3 e 4. Os ajustes ótimos para a chama laminar mais longa foram novamente na razão de C/O de cerca de 0,8, mas agora com um fluxo de gás protetor total de cerca de $0,85 \text{ m}^3/\text{h}$. Um comprimento de chama laminar máximo semelhante de 11,4 centímetros foi obtido, mas o comprimento de chama total foi de apenas 35,5 centímetros, e

as temperaturas de distância de trabalho de 33 centímetros foram um pouco menores para o anel de chama de 45 orifícios. Ambos os anéis foram considerados excelentes para o propósito intencionado.

5 A velocidade de gás frio e a energia térmica ou potência da chama para vários ajustes de fluxos de gás total, todos com uma razão de C/O de 0,8, foram calculadas. A razão de potência de chama para potência média do maçarico de pulverização de plasma usado para produzir os revestimentos de zircônia típicos foi calculada bem como as razões de fluxo de gás para ambos o maçarico de pulverização de plasma Praxair e os maçaricos de 10 pulverização de plasma típicos. A razão de potência é definida como a velocidade de aquecimento da chama calculada em J/h e então convertida para quilowatts dividido pela potência do maçarico de plasma em quilowatts. A razão de fluxo de gás frio é definida como o fluxo de gás frio de gás combustível mais gás oxidante dividido pelo fluxo de gás total no efluente de 15 maçarico de pulverização de plasma. Os resultados são mostrados na Tabela 1. É evidente que os dois projetos de anel de chama descritos acima possuem razões de potência um pouco diferentes para as mesmas condições de maçarico de pulverização de plasma. Ambos produzem chamas laminares longas, mas com fluxos de gás protetor um pouco diferente. Por exemplo, 20 outros projetos de anel de chama também podem produzir uma chama ótima em fluxos de gás protetor diferentes; contudo, acredita-se que as razões de potência devem estar entre 1,0 e 4,0. Entretanto, as razões de potência são dadas para orientação e não devem ser consideradas como limitantes.

25 Para orientação no projeto dos bocais de anel de chama e nos parâmetros de operação se a chama ótima for independente do fluxo de efluente de maçarico de plasma, então o fluxo de gás de chama total será controlado. Para fluxos de gás de chama constantes, a razão de potência variará de cerca de 0,5 a cerca de 5,0 para comprimentos de chama e de maçarico diferentes. Se o fluxo de chama ótimo tiver que ser dimensionado

para o fluxo de efluente de maçarico de plasma, então a razão de fluxo de gás frio será controlada. Maçaricos diferentes possuem efluentes ótimos em fluxos de gás efluente total diferentes. Estes podem mudar até mesmo para maçaricos dados quando classes diferentes de pós estiverem sendo pulverizadas; por exemplo, zircônia e NiCoCrAlY tipicamente requerem fluxos de efluente diferentes. Da tabela acima a razão de fluxo de gás frio varia de cerca de 0,1 a 0,7 para chamas de propileno mais oxigênio. Outros gases combustíveis tais como acetileno ou propano podem requerer mais fluxo para proporcionarem o mesmo aquecimento, porque possuem calor de combustão menor. Portanto uma razão de fluxo de gás frio mais ampla seria mais inclusiva destas chamas de gás, de cerca de 0,1 a cerca de 1,2. Os resultados são mostrados na tabela "Potência calculada de gás combustível para projeto de adaptação de maçarico ótimo".

Tabela 1: Potência calculada de gás combustível para projeto de adaptação de maçarico ótimo
Calor de combustão de propileno + oxigênio, 102,1 MJ/m³

Anel de protetor de 24 orifícios (diâmetro do orifício de 0,079 centímetro)

Fluxos na razão C/O de 0,8		Fluxo Total	Energia da chama	Potência da chama	kW Plasma PST 1108	Plasma de outro maçarico	Razão de potência:chama para plasma	Razão de gás:chama para plasma	Fluxo de chama equiv. outros maçaricos
Combust. m ³ /h	Oxigênio m ³ /h	m ³ /h	MJ/h	kW					m ³ /h
Fluxo menor para laminar de 10 cm	0,294	0,555	2760,5	21,7	14,2	40	PST 1108 1,63	PST 1108 0,14	0,40
Comprim. laminar máximo	0,493	1,4	4600,97	36,2	14,2	40	2,65	0,23	0,65
Fluxo maior para laminar de 10 cm	0,651	1,9	6073,28	47,8	14,2	40	3,38	0,30	0,85

Área do fluxo, total de todos os orifícios mm²

11.68720

Fluxo por orifício, m³/h (no comprim. laminar máximo)

0,059

Anel de protetor de 45 orifícios (diâmetro do orifício de 0,041 centímetro)

Fluxo menor para laminar de 8,9 cm	Fluxo maior para laminar de 8,9 cm	Fluxo total de todos os orifícios mm ²	Energia da chama	Potência da chama	kW Plasma PST 1108	Plasma de outro maçarico	Razão de potência:chama para plasma	Razão de gás:chama para plasma	Fluxo de chama equiv. outros maçaricos
0,294	0,394	0,57	1840,4	14,5	40	1,02	0,38	0,09	0,25
Comprim. laminar máximo	0,294	0,555	2760,6	21,7	40	1,53	0,54	0,14	0,40
Fluxo maior para laminar de 8,9 cm	0,394	0,739	3680,8	28,9	4,0	2,04	0,72	0,18	0,51

Área do fluxo total de todos os orifícios mm²

5,8389561

Fluxo por orifício, m³/h (no comprim. laminar máximo)

0,019

Fluxo por orifício, m³/h (no comprim. laminar máximo)

0,019

Equações e constantes usadas:

Energia da chama: MJ/h = fluxo total, m³/h x calor de combustão, MJ/m³

Potência da chama, kW = MJ/h x 3,6.

kW típico ou médio para revestimento de ZrO₂, maçarico PST = 14,2

kW típico ou médio para revestimento de ZrO₂, maçaricos F4, 9MB, SG100 = 40

Fluxo de gás total para maçarico de plasma, PST 1108, revestimento de ZrO₂, m³/h = 6,23

Fluxo de gás total para maçarico de plasma, F4, 9MB, SG100, revestimento de ZrO₂, m³/h = 2,83

Unidades: kW por kW

Unidades: m³/h por m³/h (fluxos de gás frio) total de m³/h gás frio

Exemplo 3

Foi feita uma comparação de revestimentos de zircônia produzidos usando o anel de chama de 24 orifícios fixado no maçarico de plasma Praxair Modelo 1108 descrito no Exemplo 2 com revestimentos produzidos usando o mesmo maçarico com um protetor de gás inerte na temperatura ambiente e fluxos de gás padrão. O anel de chama foi operado usando fluxos de propileno de 0,496 m³/h e de oxigênio de 1,1 m³/h com uma razão de carbono para oxigênio de 0,67. O pó foi zircônia estabilizada com ítria. O mesmo lote de pó, a mesma vazão de alimentação de energia, o mesmo corpo de maçarico e o mesmo cubículo de revestimento foram usados em todo o experimento.

Um experimento projetado foi realizado o qual variou quatro fatores sobre três níveis cada: a corrente do maçarico, a distância de trabalho do maçarico até o substrato, a velocidade de superfície do substrato e o ângulo da pulverização. O experimento projetado requereu a realização de 12 revestimentos ou linhas experimentais separadas. Os parâmetros de revestimento de linha base, que formaram o ponto central do projeto, foram para um revestimento verticalmente segmentado. A característica chave deste revestimento é suas trincas de segmentação verticais, essencialmente através da espessura, que deram ao mesmo excelente resistência ao choque térmico. O processo de pulverização com o protetor de gás na temperatura ambiente é realizado em distância de trabalho relativamente próxima e é sensível a todos os quatro fatores observados acima para se obter a densidade de trincas desejada. Do teste inicial, é desejado um mínimo de 20 trincas por polegada (CPI) (8 trincas por centímetro (TPC)) medidas ao longo de uma linha paralela à interface sobre a seção transversal polida para não desempenho de choque térmico.

Os revestimentos foram aplicados em uma face de substratos de botão de liga MarM-509 de 0,3175 centímetro de espessura, 2,54 centímetros de diâmetro com um revestimento de ligação de CoNiCrAlY de

0,0152 centímetro a 0,0203 centímetro de espessura aplicado primeiro por um maçarico separado usando um protetor de gás na temperatura ambiente. Um revestimento de zircônia foi aplicado. A primeira avaliação do experimento projetado foi examinar as seções transversais polidas dos botões e contar

5 todas as trincas verticais que eram de comprimento de pelo menos a metade da espessura da zircônia. Há algumas micro-trincas mais curtas em um revestimento de zircônia, que possuem um efeito menor sobre a resistência ao choque térmico comparadas com as trincas de segmentação longas. Estas não foram contadas neste estudo. A largura do revestimento avaliado foi de cerca

10 de 2 centímetros. Após avaliar o primeiro plano de polimento, todas as amostras foram novamente polidas em um segundo plano e avaliadas de novo. CPI médio foi usado na análise de regressão. Todos os revestimentos no experimento estiveram muito próximo da mesma espessura de cerâmica, cerca de 0,076 centímetro. Com as contagens de trincas medidas e os valores

15 conhecidos das variáveis controladas do projeto experimental, uma análise de regressão de correlação múltipla dos dados foi feita. O resultado foi uma equação que dá o número de trincas por polegada (2,54 cm) como uma função de quatro fatores. Até mesmo sem a análise de regressão por computador, um exame costumeiro dos resultados de CPI mostrou que o maçarico de gás na

20 temperatura ambiente teve uma faixa ampla para os 13 revestimentos, de zero a 70 CPI. Houve novas trincas quando o ângulo de pulverização foi baixo ou a distância de trabalho foi longa. Os revestimento de maçarico de chama tiveram uma faixa muito mais estreita de CPI, todos bem acima do mínimo para boa resistência ao choque térmico, e pareceram menos sensíveis ao

25 ângulo e à distância de trabalho. As equações para as duas configurações de maçarico são as seguintes.

Maçarico padrão com protetor de gás:

$$\text{CPI} = 81,1 + 0,82 \times \text{ÂNGULO} - 72,1 \times \text{SOFB} - 0,030 \times \text{SS} + 0,285 \times \text{AMPS}$$

Maçarico de chama, protetor de anel de 24 orifícios:

$$\text{CPI} = 83,2 + 0,19 \times \text{ÂNGULO} - 21,4 \times \text{SOFB} - 0,006 \times \text{SS} + 0,046 \times \text{AMPS}$$

onde ÂNGULO é o ângulo de pulverização em graus (normal à superfície é 90 graus), SOFB é a distância de trabalho em polegadas medida do corpo do maçarico Praxair Modelo 1108 ao substrato, SS é a velocidade de superfície do substrato em polegadas por minuto, e AMPS é o corrente do maçarico. A análise de regressão por computador confirma com valores numéricos a tendência observada no exame superficial. O maçarico de chama permite que CPI desejado seja obtida com muito menos sensibilidade a todos os quatro fatores. É quase insensível ao ângulo de revestimento, dentro da faixa examinada, que foi um fator maior com o maçarico padrão. Em cada termo semelhante das equações acima, o coeficiente para os fatores é muito menor para o maçarico de chama. Isto é uma verificação muito útil em favor do maçarico de chama; permite que o processo de revestimento para este revestimento específico tenha uma "janela de processo" mais larga. Isto é, a configuração de revestimento em termos de ângulo de pulverização, distância de trabalho e velocidade de superfície é muito mais complacente e o revestimento das partes de forma complexa deve ser mais fácil em termos de obtenção da estrutura trincada desejada. Com o uso do método desta invenção, revestimentos de zircônia podem ser produzidos com cerca de 20 a cerca de 200 CPI de segmentações verticais, preferivelmente entre cerca de 30 e cerca de 70 CPI. Preferivelmente o revestimento de zircônia deve possuir uma porosidade entre cerca de 5% e cerca de 40%.

As temperaturas de substrato para todos os revestimentos feitos nesta série, tanto para o maçarico padrão quanto para o maçarico de chama, foram medidas. Estas temperaturas foram obtidas usando um pirômetro de contato tocando a face do revestimento imediatamente após o revestimento. A temperatura de botão média para os revestimentos de

maçarico padrão foi de 227°C (desvio padrão de 12,6°C). Para o maçarico de chama a temperatura média correspondente foi de 607°C (desvio padrão de 27,5°C).

Ao mesmo tempo que as amostras eram preparadas para a
5 avaliação de CPI, as amostras de choque térmico eram revestidas. Quatro
botões de 2,54 centímetros de diâmetro com o mesmo revestimento de ligação
de CoNiCrAlY termicamente tratado foram revestidos uma vez por cada
linha. As camadas de cerâmica de todas as amostras foram essencialmente de
mesma espessura de cerca de 0,076 centímetro (0,0815 centímetro para o
10 maçarico padrão e 0,0792 centímetro para o maçarico de chama, ambas
tomadas na média sobre conjunto de 13 amostras configuradas em linha). Um
botão foi seccionado para a avaliação de CPI, discutido acima. Três botões
foram avaliados em um teste de choque térmico. Neste teste, cada botão foi
mantido em uma fixação solta com pouco contato de borda. As fixações
15 foram mantidas em um disco que seqüencialmente apresentava as amostras de
barreira térmica a uma estação de aquecimento por chama, uma estação de
resfriamento por sopro de ar e então a duas estações de resfriamento na
temperatura ambiente. Este ciclo de aquecimento - resfriamento foi repetido
2.000 vezes. O aparelho de choque térmico permaneceu em cada estação por
20 20 segundos. A camada de cerâmica faceou a chama e foi aquecida para
1.277°C no final do período de aquecimento e foi resfriada para cerca de
316°C no término do período de resfriamento final. Antes do teste as bordas
dos botões foram lixadas para apresentar as camadas de revestimento em
esquadria sem raio de borda. Neste ponto quaisquer trincas de borda
25 horizontais indicando separação foram observadas pela medição em uma
magnificação de 30 X. Após o teste as trincas de borda foram novamente
medidas, e qualquer crescimento foi atribuído ao teste de choque térmico.
Todas as amostras de ambas as matrizes de teste tiveram essencialmente zero
trincas de borda de pré-teste. O revestimento de barreira térmica seria

considerado como tendo falhado no teste se mais do que 15% da circunferência tivesse trincas de separação. Nesta comparação, ambos os conjuntos de amostra foram bastante bons, mas as amostras do maçarico de chama foram melhores. As amostras do maçarico de gás protetor na
5 temperatura ambiente tiveram um valor de trinca de borda médio de 2,8% para todos os 13 revestimentos, com a pior amostra tendo um valor de trinca de borda de 13,3%. As condições experimentais com o maçarico de chama deram uma média de 0,8% e no pior caso de 2,3%. Assim os revestimentos produzidos por maçarico de chama sobre uma faixa de condições de
10 processamento foram muito mais resistentes ao choque térmico do que os do maçarico padrão, especialmente onde as condições de processo foram extremas, tal como distância de trabalho longa ou ângulo de revestimento insatisfatório.

Embora os dados experimentais mostrando as melhorias dos
15 protetores de gás de viscosidade alta para o revestimento de pulverização térmica fossem realizados usando um maçarico de chama Praxair Modelo 1108, a invenção não se limita a este dispositivo de pulverização térmica. Semelhantemente, a invenção não se limita ao projeto específico do protetor de gás que foi usado. É óbvio que os parâmetros de operação do dispositivo
20 de pulverização térmica e do protetor mudariam com o projeto específico de cada. Em adição, embora os experimentos de revestimento fossem realizados com um material cerâmico específico, é óbvio que a invenção incluiria qualquer material cerâmico ou resistente à oxidação.

O presente exemplo tem claramente mostrado a utilidade da
25 fixação de protetor de chama em um maçarico de plasma pela melhoria do revestimento de amostras óxido de zircônio mostrada pelo teste de choque térmico subsequente. Sem o desejo de se basear em teoria, o mecanismo exato pelo qual o protetor de chama tem melhorado o revestimento não é conhecido. Os dados mostraram que a chama elevou a temperatura do substrato sendo

revestido, e no Exemplo 2 os dados mostraram que a chama elevadamente aumentou a temperatura de gás coaxial a jusante do maçarico e formou um comprimento de fluxo laminar visível de várias polegadas. Estes últimos resultados são mostrados nas Figuras 1 a 4. Contudo, os dados para as figuras
5 foram tomados com o efluente do maçarico desligado, e com o maçarico ligado, o arco foi muito brilhante para se ver a chama, e assim foi provável que as características da chama tivessem mudado com o maçarico ligado, o protetor de chama ainda teria algum comprimento de fluxo laminar e foi possível que em adição à manutenção do efluente mais quente em distâncias
10 mais longas, e o aquecimento do substrato, que esta zona de fluxo laminar fosse de certa forma responsável pela melhoria do revestimento.

Um protetor coaxial dual que teria um fluxo coaxial interno de gás inerte e circundando-o com um fluxo coaxial de gases combustíveis e/ou gases laminares se beneficiaria de sua característica de distância de trabalho
15 prolongada e de sua característica de prevenção ao óxido.

Outras variações dos métodos descritos estão dentro do escopo intencionado desta invenção como reivindicada abaixo. Como previamente enunciado, modalidades detalhadas da presente invenção são aqui descritas; contudo, é para ser entendido que as modalidades descritas são meramente
20 exemplares da invenção que pode ser representada por modalidade em várias formas.

REIVINDICAÇÕES

1. Método de proteção do efluente de um dispositivo de pulverização térmica, caracterizado pelo fato de compreender o aquecimento de uma fonte anular de gás protetor para uma temperatura acima da ambiente e o citado fluxo de gás protetor estando substancialmente circundando o citado efluente em uma maneira coaxial e a fonte anular para o citado gás protetor está em um plano normal ao citado efluente proporcionando deste modo o citado fluxo de gás paralelo ao efluente, em que a temperatura do citado gás protetor é pelo menos 260°C, medida sobre a linha central do fluxo cônico a 33 centímetros a jusante da fonte de citado fluxo protetor, e em que o citado gás protetor é um fluxo possuindo pelo menos um segmento laminar a partir da fonte do citado fluxo de efluente.

2. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a citada fonte anular compreendendo uma primeira seção coaxial interna para o fluxo de um primeiro gás substancialmente circundando o citado efluente e uma segunda seção externa coaxial para o fluxo de segundo gás circundando o citado fluxo interno de citado primeiro gás e citado segundo fluxo é aquecida para uma temperatura acima da ambiente e as fontes anulares para os citados gases protetores estão em um plano normal ao citado efluente proporcionando deste modo o citado fluxo de gás paralelo ao efluente.

3. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o gás protetor é um gás combustível compreendendo uma chama de combustão e produtos de combustão ou o citado gás protetor é um fluxo possuindo pelo menos um segmento laminar da fonte de citado fluxo de efluente.

4. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o citado efluente compreende um material reativo ou um material de óxido.

5. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o citado efluente é depositado sobre um substrato para formar uma camada de revestimento ou uma camada de revestimento possuindo entre cerca de 20 e cerca de 200 trincas de segmentação vertical por polegada (2,54 cm).

5 6. Método de acordo com a reivindicação 5, caracterizado pelo fato de que uma primeira camada do primeiro efluente é depositada utilizando um primeiro conjunto de condições de gás protetor, e repetindo este método pelo menos uma vez com o mesmo efluente ou com efluente diferente utilizando as mesmas condições de gás protetor ou condições de gás protetor
10 diferentes para obter múltiplas camadas de revestimento.

7. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a razão de fluxo de gás total de citado gás protetor para o fluxo de gás total de citado dispositivo de pulverização térmica está entre cerca de 0,05 e cerca de 2,0.

15 8. Método de acordo com a reivindicação 5, caracterizado pelo fato de que o citado substrato é selecionado do grupo consistindo de componentes de motor de foguete, de motor a diesel, e de turbina a gás.

9. Método de acordo com a reivindicação 6, caracterizado pelo fato de que a citada primeira camada é uma camada revestida metálica e as
20 citadas camadas subseqüentes são camadas revestidas cerâmicas ou camadas revestidas mistas de metal-cerâmica, e opcionalmente as citadas camadas são selecionadas do grupo consistindo de zircônia, ítria, háfnia, alumina, crômia, NiCrAlY, CoCrAlY, NiCoCrAlY, CoNiCrAlY, cerâmicas baseadas em zircônia, cerâmicas e suas misturas.

25 10. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o citado gás protetor aquecido compreende um material de gás combustível de um gás contendo carbono e um oxidante no qual a razão de carbono para oxigênio de citado gás protetor está entre cerca de 0,6 e cerca de 1,0.

Anel de 24 orifícios

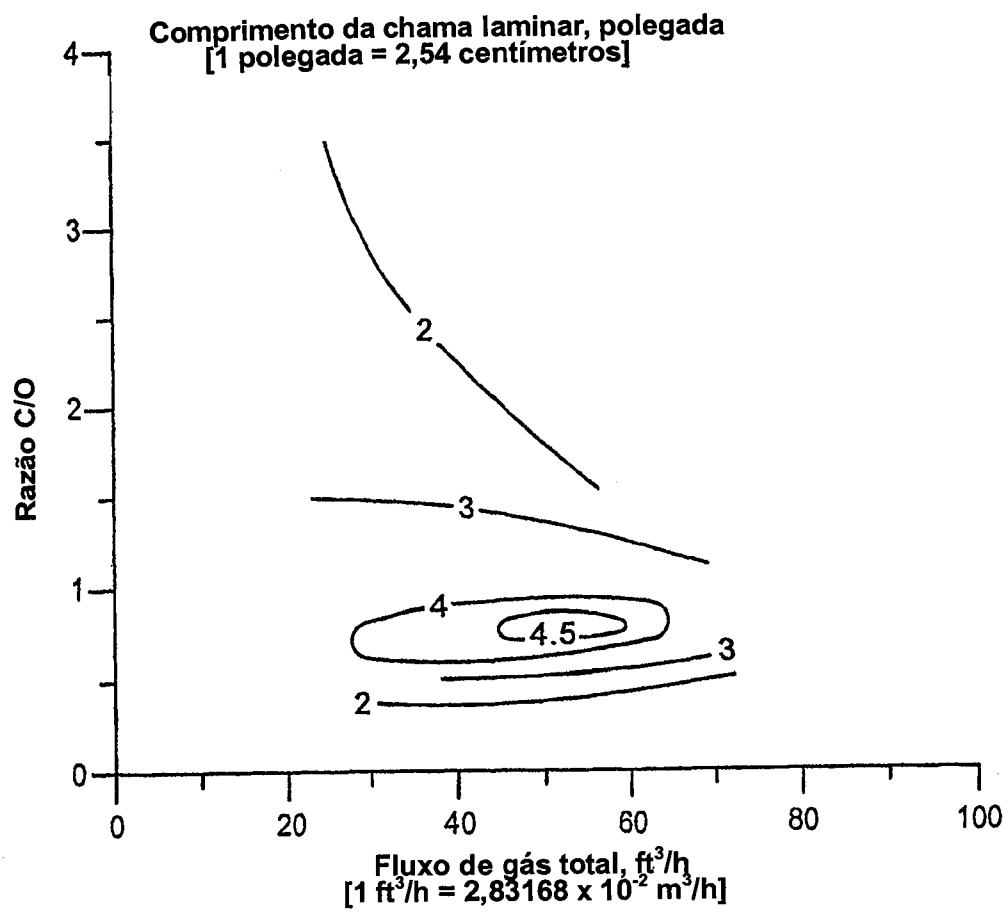


FIG. 1

Anel de 24 orifícios

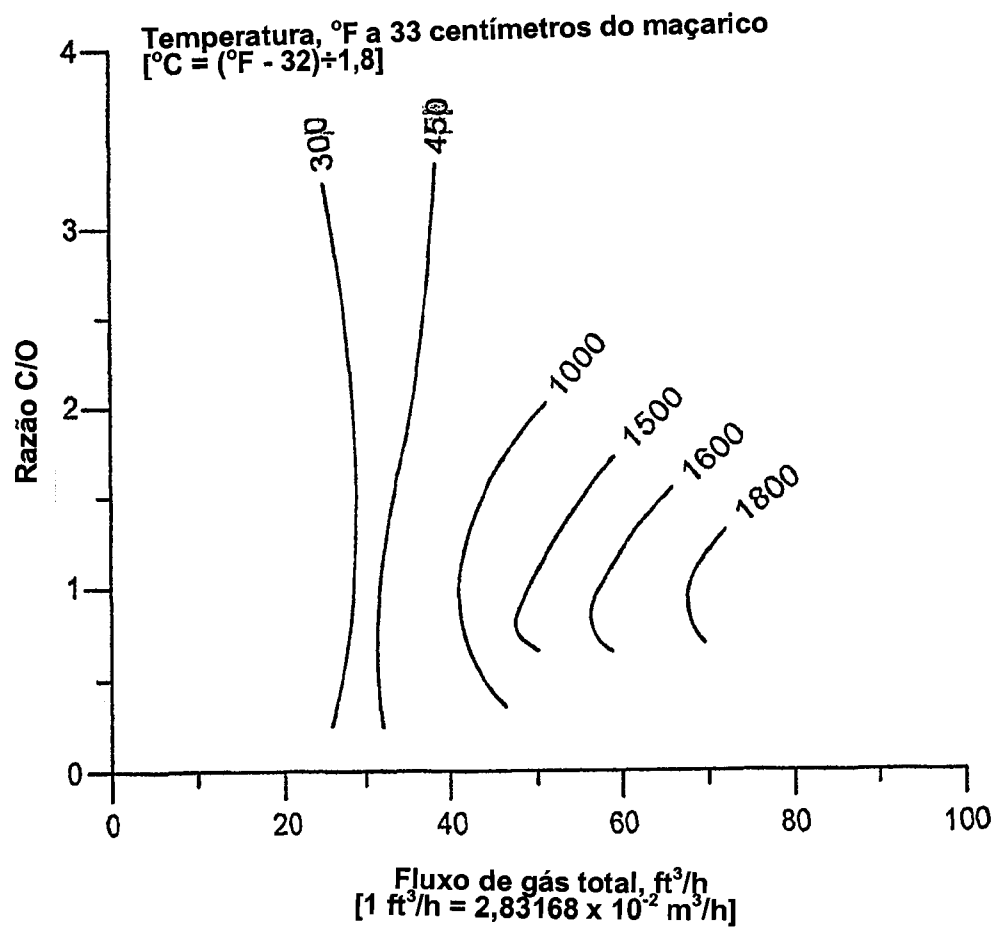
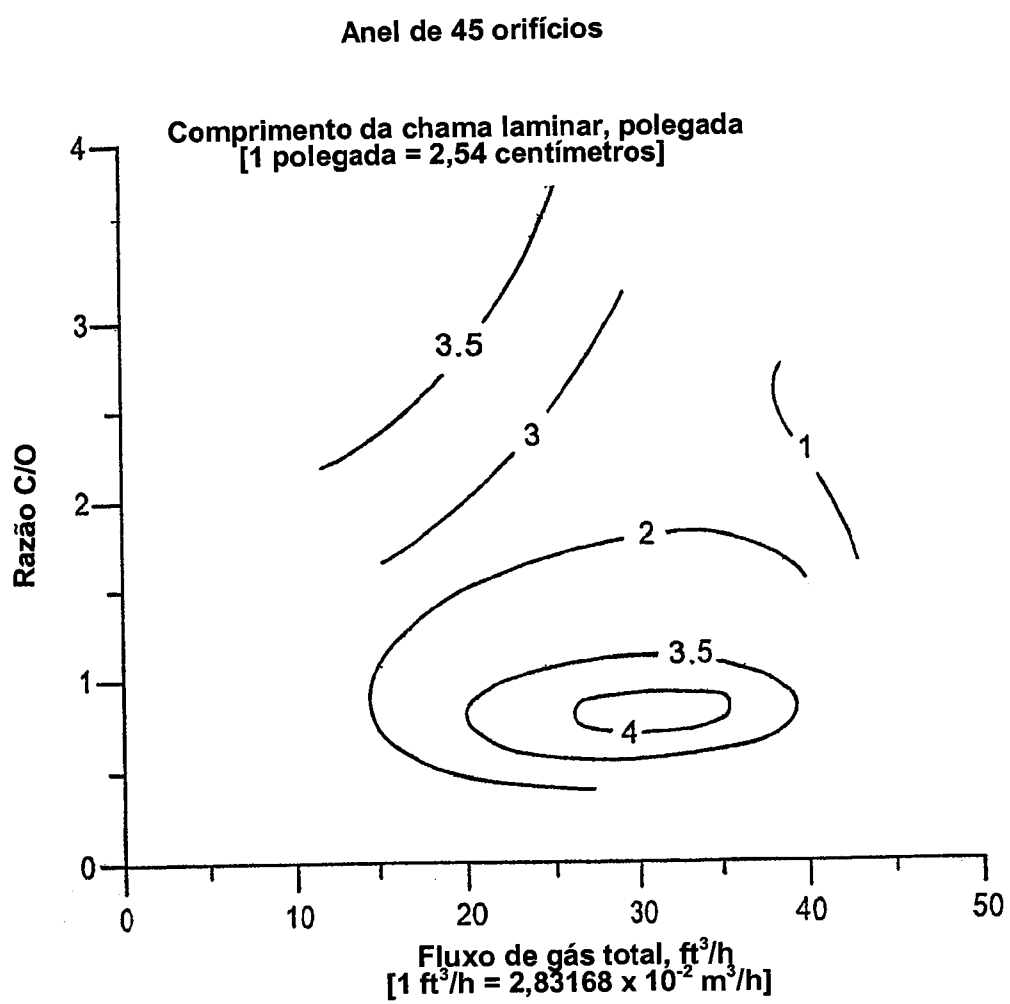


FIG. 2

**FIG. 3**

Anel de 45 orifícios

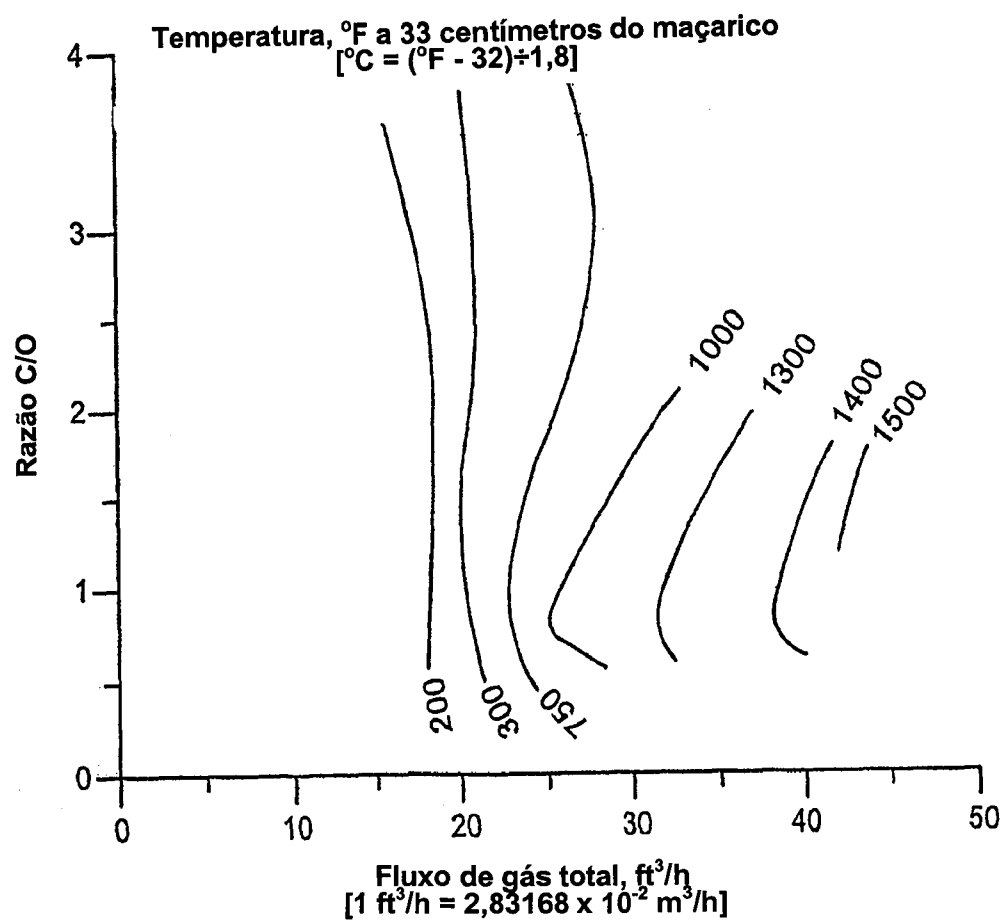


FIG. 4

RESUMO**“MÉTODO DE PROTEÇÃO DO EFLUENTE DE UM DISPOSITIVO DE PULVERIZAÇÃO TÉRMICA”**

Esta invenção proporciona um envoltório ou protetor gasoso
5 único circundando o efluente de um dispositivo de pulverização térmica que
efetivamente pode prolongar a distância de trabalho ou distância de segurança
entre o dispositivo de pulverização térmica e a superfície sendo revestida.
Esta invenção proporciona um método de pulverizar materiais, incluindo
materiais cerâmicos e materiais reativos, em uma distância de trabalho longa e
10 um método de controlar a temperatura do efluente sendo depositado usando
protetor gasoso aquecido.