



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

(11) PI 0820616-3 B1

(22) Data do Depósito: 27/11/2008

(45) Data de Concessão: 02/01/2018



(54) Título: PROCESSO DE COMBUSTÃO

(51) Int.Cl.: C10L 1/12; C10L 10/04

(30) Prioridade Unionista: 06/12/2007 IT MI2007A002291

(73) Titular(es): ITEA S.P.A.

(72) Inventor(es): MASSIMO MALAVASI; GRAZIA DI SALVIA; EDOARDO ROSSETTI

“PROCESSO DE COMBUSTÃO”

A presente invenção diz respeito a um processo de combustão que permite reduzir substancialmente os pós finos em emissões provenientes de um combustor, assim com menor impacto no meio ambiente e nos seres vivos, usando tanto combustíveis convencionais quanto combustíveis de baixa qualidade, biomassas ou resíduo.

As emissões de pós de instalações de combustão estão sujeitas a regulamentações. Até o presente na Europa, a regulamentação mais rigorosa e a CE 2000/76, embora os pós tenham sido caracterizados de uma maneira não diferenciada (peso total). Esta regra fixa os limites para os pós com tamanhos de partículas menores que 10 μm (PM 10), e para a concentração de metais pesados. As concentrações de metais pesados, obtidas por amostragem isocinética do gás residual, são referidas como o volume de gás seco (desumidificado). Nas regulamentações, as concentrações dizem respeito ao gás residual seco para a combustão com ar e são inequivocadamente ligadas ao critério de equilíbrio de massa para as emissões, fixando a concentração de oxigênio em gás residual a 11 % em volume. A regulamentação especifica, no caso de combustão com comburente diferente de ar, por exemplo, ar enriquecido ou oxigênio, coeficientes de correção são aplicados de acordo com o critério de equilíbrio de massa. Por exemplo, no caso de combustão com oxigênio com conversão total de oxigênio, o coeficiente de correção (fator de normalização) varia com o tipo de combustível e pode ser baixo tal como 0,085. O critério de equilíbrio de massa é amplamente aceito. Por exemplo, a classificação BAT (Melhor Tecnologia Disponível) para emissões usa o equilíbrio de massa.

Atualmente, para gás residual que deixa os combustores, não existe regra para classificar a periculosidade de pós com base nos seus tamanhos de partícula e, portanto, não existem limites de referência para o tamanho de partícula. Isto provavelmente ocorrerá no futuro próximo, fixando

limites para o teor de pó com um diâmetro de tamanho de partícula menor que 2,5 μm (PM 2,5). Com este propósito, basta ver as regulamentações cada vez mais restritas para os pós no ar, por exemplo, nas cidades do mundo. Por exemplo, uma nova proposta da European Directive Proposal está em
5 discussão para superar a regra dos 96-62-CE, que limita somente a quantidade de PM 10 a não mais que 40 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$. A nova Diretiva deve introduzir um novo limite para o PM 2,5 em 20 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ no ar.

Além disso, tem-se levado em conta que o limite PM 2,5 de acordo com EPA (National Air Quality Standard) é de 15 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$, o valor
10 sugerido pela OMS (World Health Organization) é ainda menor, isto é, 10 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$. Por causa disto, o valor de PM 2,5 para o pó será considerado na tecnologia.

É conhecido na tecnologia anterior que os pós finos são contidos em gás residual de todos os processos usados industrialmente. Os
15 pós finos são formados de particulado sólido com diâmetro de partícula menor que 2,5 micrometros (PM 2,5), até tamanhos da ordem de alguns nanômetros. Eles são formados tanto de agregados de moléculas orgânicas, por exemplo, craqueamentos carbonáceos com teor de hidrogênio e oxigênio variável (conhecidos como fuligem ou partícula de diesel), e de agregados de
20 moléculas inorgânicas, por exemplo, sais e/ou óxidos de metais alcalinos, alcalinos terrosos e pesados, que derivam das cinzas não combustíveis contidas no combustível alimentado.

Os pós finos de origem orgânica são classificados, dependendo da forma, em cenoesferas e pleroesferas.

É também sabido que os pós finos não podem ser eliminados pelos processos de pós-tratamento industriais conhecidos do gás residual, como filtração em filtros de luva (filtração de impacto), eletrofiltros (migração em um campo eletrostático) ou depuradores de gás, usando ou
25 soluções aquosas com diferentes pH, ou soluções orgânicas.

Os processos conhecidos são efetivos na remoção do particulado relativamente grosseiro (com um diâmetro de partícula médio maior que 2,5 micrometros), mas são completamente não eficazes na remoção do particulado fino, em particular aquele com um tamanho de partícula menor que 2,5 micrometros, mais particularmente um tamanho menor que um micrometro. Este tamanho de partícula representa a fração de particulado mais perigosa para saúde humana e animal. De fato, essas partículas permanecem nos alvéolos pulmonares, causando doenças graves.

As cinzas não combustíveis, as pesadas (não voláteis) mas, em particular, cinza volante, têm representado um problema tecnológico em instalações de combustão por muito tempo. De fato, elas determinaram a classificação histórica/econômica de combustíveis fósseis, de gás natural até óleo, até carvão.

Na tecnologia anterior, combustores operando com uma frente de chama a alta temperatura para fundir cinzas não combustíveis (escória-combustores) e para reduzir a cinza volante em emissões são também conhecidos. Nas ditas instalações, o impacto negativo dos pós carregados pelo gás residual quente na eficiência das instalações de recuperação de energia, é diminuída. O inconveniente desses combustores é que a cinza volante não é removida, uma vez que a fusão da cinza nunca é quantitativa, no máximo 70-80 % da cinza volante contida em combustíveis são removidos.

Para superar isto, combustíveis com um baixo teor de cinza são usados. Entretanto, esses combustíveis não estão disponíveis em altos teores. Processos de purificação de combustível, como é bem sabido, são muito caros. Além disso, deve-se salientar que as emissões provenientes de combustores sempre contêm pós finos.

Na natureza, combustíveis contendo cinzas, também em quantidades expressivas, são muito abundantes. Além disso, o aumento exorbitante dos consumos de combustível no mundo e a crescente demanda

para controlar seu impacto no meio ambiente e na saúde humana e animal, exigem que se tenham disponíveis processos de combustão, em que combustíveis convencionais podem ser usados, mesmo aqueles contendo cinzas também em teores muito altos, e simultaneamente com baixas emissões de pós finos em emissões provenientes de combustores. Adicionalmente, os combustíveis referidos são muito comuns na natureza,, por exemplo, biomassas.

Foi sentida uma necessidade de se ter disponível um processo industrial de combustão que permita reduzir emissões de pós finos de combustores, qualquer que seja o combustível usado.

Foi encontrado de forma inesperada e surpreendente um processo que soluciona o problema técnico supramencionado.

É um objetivo da presente invenção um processo de combustão em que um combustível, um comburente e componente A) são alimentados em um combustor, o componente A) compreendendo sais e/ou óxidos de baixo ponto de fusão ou suas misturas, com uma temperatura de fusão $< 1.450\text{ K}$ (1.177°C), a razão molar $A'/(A''-A')$ é ≥ 0.01 , sendo:

- A' a soma em moles da quantidade de metais, na forma de sais e/ou óxidos de baixo ponto de fusão ou suas misturas no componente A), e da quantidade de metais, na forma dos sais de baixo ponto de fusão e/ou óxidos de baixo ponto de fusão contidos no combustível,

- A'' é a soma em moles da quantidade de todos os metais contidos no combustível e daqueles contidos no componente A), em que o combustor é isotérmico e sem chama.

A razão molar $A'/(A''-A')$ é preferivelmente pelo menos 0,1, ainda mais preferivelmente pelo menos 0,2. O limite superior pode ser muito alto, por exemplo, ele pode ser até 1.000.000, no geral até 100. Ele pode também atingir um valor infinito quando $(A''-A')=0$. Isto acontece quando todos os compostos dos metais presentes no combustível são todos compostos

de baixo ponto de fusão, isto é, eles se fundem a uma temperatura menor que 1.450 K (1.177°C). Neste caso, compostos de metal que se fundem a uma temperatura maior que a supraindicada estão ausentes.

No processo da presente invenção, pode haver o caso em que $(A''-A') \neq 0$ ou o caso em que $(A''-A') = 0$. Foi observado de forma surpreendente e inesperada pelo requerente que, também neste caso, os pós finos (PM 2.5) nas emissões na saída do combustor são drasticamente reduzidos. Observou-se que nas paredes interiores dos equipamentos à jusante dos combustores não são formados depósitos significativos de cinzas solidificadas.

O tempo de permanência do combustível no combustor preferivelmente varia de 0,5 segundo até 30 minutos ou mais, mais preferivelmente de 2 a 10 segundos. É possível usar também maiores tempos de permanência, se desejado.

A determinação de metais presentes nos combustíveis é realizada nas cinzas do combustível por técnicas de plasma, por exemplo, ICP-OES. As cinzas do combustível são obtidas, por exemplo, de acordo com o teste ISO 1171, ou com qualquer método de pirólise usando uma temperatura de 600°C.

A temperatura de fusão da cinza pode ser obtida usando métodos conhecidos, por exemplo, teste ASTM D 1857-87.

Para determinar as frações de baixo ponto de fusão, as cinzas do combustível são aquecidas a uma temperatura de 1.450 K (1.177°C) e deixadas nesta temperatura preferivelmente por um tempo de pelo menos 2 horas. Na fração fundida, metais são determinados. Em particular, a fração de baixo ponto de fusão é isolada das cinzas do combustível usando, por exemplo, um cadinho de fusão com um furo no fundo com um diâmetro de 5 mm.

No processo da invenção, a pressão no combustor é

compreendida entre 101.3 kPa (pressão atmosférica) e até cerca de 2.000 kPa. A temperatura no combustor é preferivelmente compreendida entre 1.500 K (1.223°C) e 2.100 K (1.827°C).

O comburente é preferivelmente oxigênio. Por exemplo, 5 oxigênio de alta pureza (98,5 % em volume) pode ser usado. No geral, oxigênio com titulação 88-92 % VSA (absorção com oscilação de vácuo) e 88-92 % VPSA (absorção com oscilação de pressão e vácuo) podem também ser usados. Preferivelmente o limite inferior da titulação de oxigênio é 70 % em volume, o complemento de 100 % sendo formado de gases inertes e/ou 10 nitrogênio. O comburente no processo da invenção é preferivelmente usado em excesso molar com relação à quantidade estequiométrica necessária para a reação com o combustível. Entretanto, ele pode também ser usado abaixo da quantidade estequiométrica.

Preferivelmente, os gases de combustão na saída do combustor 15 são resfriados a uma temperatura menor ou igual a 1.100 K (827°C), de qualquer maneira, menor que a temperatura de solidificação dos vapores condensados de cinzas fundidas. Isto é uma vantagem, uma vez que instalações de recuperação térmica e máquinas rotativas feitas de materiais convencionais podem ser usadas.

20 Uma mistura com uma temperatura de fusão ≤ 1450 K, de um ou mais compostos A) misturados com sais de alto ponto de fusão e/ou óxidos de alto ponto de fusão com temperatura de fusão acima de 1.450 K (1.177°C), pode também ser usado como o componente A). O um ou mais compostos A) são usados em quantidades preferivelmente maiores que 5 % em peso, mais 25 preferivelmente até 30 % em peso. Um exemplo de composto de alto ponto de fusão é bentonita.

Portanto, composições eutéticas ou composições tipo eutéticas, desde que elas tenham um ponto de fusão menor que 1.450 K (1.177°C), podem ser usadas na presente invenção.

Como sais e/ou óxidos de baixo ponto de fusão do composto A), óxidos e/ou sais de sódio e/ou potássio, por exemplo, sulfatos, fosfatos e cloretos, alumínio silicatos de metais alcalinos e alcalinos terrosos, etc. podem ser usados. Misturas de baixo ponto de fusão supradescritas podem ser facilmente obtidas pelos versados na técnica, por exemplo, usando "CRC Handbook of Chemistry and Physics" 1996-1997 Ed. ou "The American Ceramics Society, www.ceramics.-org/phase".

Outros componentes opcionais, argilas, sílica aluminas, etc. podem ser adicionados no combustor.

10 A adição do componente A) no combustor pode ser realizada alimentando-o separadamente do combustível preferivelmente em mistura com ele.

Quando o componente A) é alimentado separadamente, ele pode ser, por exemplo, na forma de uma solução aquosa, ou suspensão.

15 Observou-se de forma surpreendente e inesperada que nas emissões provenientes do combustor, operado de acordo com o processo da invenção, a quantidade de pó é drasticamente reduzida e em particular a quantidade da fração de cinza com tamanho de partícula menor ou igual a 2,5 μm , mais especificamente menor que 1 μm , ainda mais especificamente
20 menor que 0,4 μm , é drasticamente reduzida.

Como combustíveis utilizáveis no processo da invenção, podem ser mencionadas biomassas, por exemplo, que derivam de açúcares, comidas de animais, carbono, sucatas industriais de reações de neutralização, frações de refinaria de alto ponto de ebulição, betumes e xistos oleosos, sucatas de processamento de areias de alcatrão, turfas, solventes esgotados, piches, sucatas de processos industriais em geral e resíduo, incluindo as
25 frações residuais de resíduo urbano, opcionalmente compreendendo CDR (combustível de resíduo). Emulsões de combustíveis líquidos de origem de óleo podem também ser usadas.

Como dito, o combustor usado no processo da presente invenção é isotérmico e sem chama, uma vez que é operado a temperaturas maiores ou iguais a 1.500 K (1.277°C), preferivelmente maiores que 1.700 K (1.427°C) até 2.100 K (1.827°C), e a uma pressão maior que 103 kPa (1 bar),
5 preferivelmente maior que 200 kPa, ainda mais preferivelmente maior que 600 kPa e até 2.026 kPa.

O combustor isotérmico usado no processo da invenção é descrito no pedido de patente WO 2004/094.904 no nome do requerente, aqui incorporado pela referência.

10 Quando o combustível é introduzido no combustor isotérmico em mistura com água e/ou vapor, o combustor opera tal como descrito no pedido de patente WO 2005/108.867.

Preferivelmente, o oxigênio comburente alimentado é pré-misturado com emissões de reciclagem, a quantidade de emissões é no geral maior que 10 % em volume, preferivelmente maior que 50 % em volume. As emissões de reciclagem preferivelmente contêm também água, na forma de vapor, no geral em quantidades, calculadas com base no volume total das emissões de reciclagem, maiores que 10 % em volume, preferivelmente maiores que 20 % em volume, ainda mais preferivelmente maiores que 30 %
20 em volume.

O comburente alimentado pode também estar em mistura com vapor, que pode substituir parcial ou totalmente as emissões de reciclagem.

O combustível de alimentação pode conter também água/vapor em uma quantidade dependendo do tipo de combustível usado. A
25 porcentagem de água no combustível, expressa como porcentagem em peso, pode ser também até 80 % ou mesmo mais, com a condição de que o valor da capacidade térmica inferior (LHV) > 6.500 kJoule/Kg da mistura alimentada.

Os gases na saída do combustor são resfriados misturando-os em um misturador com os gases de reciclagem até atingir uma temperatura

final menor que 1.100 K (827°C). As emissões podem ser transferidas para um trocador de calor em que água é alimentada para produzir vapor. As emissões que foram submetidas à etapa de transferência de calor são comprimidos novamente para reciclagem tanto para o combustor quanto para o misturador, na saída do combustor. Preferivelmente, a porção de emissões correspondente à produção líquida de emissões da combustão é expandida para obter trabalho mecânico e então levada a uma unidade de pós-tratamento de emissão. As emissões a serem expandidos são tomados em correspondência da saída do misturador. A expansão pode ser conseguida usando um turboexpansor uma vez que as emissões são substancialmente sem cinza volante.

Na parte inferior do combustor, é provido um vaso de coleta para as cinzas fundidas. As cinzas coletadas são então resfriadas, por exemplo, em um banho de água, e transferidas em um estado vitrificado sólido para sedimentadores estáticos.

Observou-se de forma inesperada e surpreendente que, no processo da presente invenção, tanto os metais presentes no combustível quanto aqueles presentes no componente A), permanecem no estado líquido no combustor e são então removidos, como dito, do fundo do combustor. Além disso, o valor de emissão PM 2,5 de acordo com a norma EC 2000/76 é reduzido a valores menores que 50 microgramas/Nm³.

Controle de processo para determinar partículas com diâmetro de tamanho de partícula <2,5 micrometros é realizado usando sensores localizados nas emissões na saída do combustor. Por exemplo, um opacímetro pode ser usado. Em particular, um instrumento ELPI (Impactador Elétrico de Baixa Pressão) pode ser usado. Este opera para varrer continuamente o PUF (Particulado Ultrafino), no geral com tamanhos de partículas 2,5-0,01 µm, com uma frequência de 10 minutos. Isto supre a informação necessária para a dosagem do composto A) no combustor a fim de manter o teor de PUF total

bem abaixo das concentrações citadas, algumas ordens de grandeza menores que reportado na tecnologia anterior, por exemplo, em BATs.

Como dito, o requerente observou de forma surpreendente e inesperada que o processo da invenção é particularmente efetivo na
5 manutenção do estado fundido no combustor também daqueles metais pesados que normalmente estão presentes nas emissões em quantidades notáveis na forma de pós finos. Por exemplo, na tecnologia anterior é bem sabido que cádmio, na forma de óxido CdO , volatiliza nos processos de combustão da tecnologia anterior e é totalmente encontrado como particulado
10 ultrafino em emissões e passa praticamente inalterado nas instalações de pós-tratamento de emissão. Ao contrário, em condições usadas no processo da presente invenção, óxido de cádmio é quase completamente removido das emissões descarregadas na atmosfera.

Com o processo da presente invenção também outros metais
15 pesados, por exemplo, manganês, cobre, cromo, vanádio, chumbo, podem ser removidos quase por completo.

O processo da presente invenção permite adicionalmente uma significativa redução ou até mesmo remoção de vanádio de emissões de combustão, que, em vez disso, é particularmente difícil com os processos da
20 tecnologia anterior. O metal está presente em óleos brutos, em quantidades significativas em brutos pesados, em betumes, em xistos e em areias de alcatrão, bem como em frações pesadas de resíduos de processamentos de óleo. Vanádio, como é de conhecimento, é um metal pesado tóxico.

Nas temperaturas de combustão usadas no processo da
25 presente invenção, vanádio é no geral na forma de óxido V_2O_5 , que é um sólido de alto ponto de fusão. Em temperaturas maiores que 1.670 K (1.397°C), V_2O_5 é transformado em VO_2 volátil. Além do mais, V_2O_5 catalisa a conversão de SO_2 a SO_3 , que é um gás particularmente agressivo, por causa da formação de ácido sulfúrico, que é depositado nas paredes das instalações

à jusante do combustor, nas temperaturas nas quais as instalações de recuperação térmica são operadas.

Observou-se surpreendentemente que, com o processo da invenção, operando a temperaturas de combustão de 1.500 K (1.277°C) até
5 <1.670 K (1.397°C), é possível reduzir significativamente, ou mesmo remover, a quantidade de vanádio em emissões.

Com o processo da presente invenção é assim possível usar também combustíveis de baixa qualidade, que não podem ser usados com os combustores da tecnologia anterior.

10 Além disso, é possível combinar um ciclo Joule-Bryton com o combustor da invenção, por exemplo, pressurizado a 1.000 kPa, seguido por turboexpansão na produção líquida de emissões, e um ciclo Rankine no calor recuperado de gases quentes, antes de reciclá-los para o combustor e para o
15 misturador-resfriador de emissões. Desta maneira, rendimentos de transformação de energia térmica em energia elétrica maiores que 57 % podem ser conseguidos.

Os exemplos seguintes ilustram com propósitos não limitantes a presente invenção.

EXEMPLOS

20 EXEMPLO 1

Caracterização de pós

O particulado contido em emissões de combustão é coletado por um impactador tipo Andersen Mark III equipado com um pré-separador capaz de remover as partículas com diâmetro aerodinâmico maior que 10 µm
25 e separar PM 10, usando uma vazão de amostragem de 14 litros/min, e filtros para frações granulométricas com diâmetro aerodinâmico na faixa de 10-9 µm; 9-5,8 µm, 5,8-4,7 µm, 4,7-3,3 µm, 3,3-2,1 µm, 2,1-1,1 µm, 1,1-0,7 µm, 0,7-0,4 µm.

No final do procedimento de amostragem, as frações de

particulado coletadas foram submetidas a análise físico-química por microscopia eletrônica por varredura (SEM) e análise por raios-X.

A análise química de partícula foi realizada com um microscópio SEM Philips XL30, equipado com um sistema de janela delgada EDX para a microanálise por espectrometria de dispersão de energia, usando um sistema automático capaz de detectar automaticamente as partículas quando um patamar predeterminado é excedido.

Os parâmetros morfológicos e a composição foram determinados para cada uma das partículas identificadas medindo-se as intensidades das linhas características do espectro de raios-X, então convertidos nas concentrações atômicas correspondentes.

O particulado com tamanho menor que 0,4 μm , que escapa do último estágio do impactador Andersen, foi coletado em suportes de mica para a análise por microscópio de energia atômica por um atuador pneumático capaz de coletar, pelo efeito termoforético, um número suficiente e estatisticamente significativo de partículas. A corrente gasosa proveniente do impactador é então levada a um sistema de condensação da combustão vapor. A fase condensada foi então submetida a análise espectroscópica para determinar a concentração do particulado nanométrico ($<0,4 \mu\text{m}$).

A análise de metais é realizada por espectroscopia de plasma de indução usando o instrumento ICP-OES da Thermo Eletron Corporation.

Cinzas de combustíveis são determinadas de acordo com o teste ISO 1171. Os combustíveis são pirolisados a 600°C até um peso constante.

A temperatura de fusão da cinza é determinada de acordo com o teste ASTM D 1857-87.

A fração de baixo ponto de fusão das cinzas do combustível é determinada usando um cadinho de fusão com um furo no fundo com um diâmetro de 5 mm. A amostra de cinza do combustível é aquecida a 1.450 K

(1.177°C) e deixada nesta temperatura por pelo menos 2 horas. Então, o peso da fração fundida que escoar do fundo do cadinho de fusão é determinado. Na dita fração, é realizada determinação de metal.

EXEMPLO 2

5 Um combustor isotérmico e sem chama 5 MW é operado a 1.650 K (1.377°C) e na pressão de 5 bar e usando oxigênio como comburente a 92 % em volume, acima da quantidade estequiométrica, de maneira a ter uma concentração de oxigênio nas emissões provenientes do combustor compreendida entre 1 % e 3 % em volume. Um resíduo industrial é também alimentado a uma
10 taxa de 11 kg/min, constituído de uma mistura de solventes esgotados, água e um resíduo insolúvel sólido em uma quantidade de 1,4 % em peso em relação ao peso total de resíduo.

A análise do resíduo deu uma quantidade de cinza não combustível igual a 1,04 % em peso. Pela análise por ICP óptica (plasma acoplado
15 indutivo: ICP-OES) observou-se que as cinzas são formadas basicamente de alumina, sílica e cálcio (sulfato de cálcio). As cinzas contêm adicionalmente metais pesados, entre os quais níquel, manganês, cobalto, cromo, cobre, chumbo, em uma concentração total em peso de 370 ppm.

A temperatura de fusão das cinzas não combustíveis é de 1.712 K.
20 0,5 L/min de uma suspensão aquosa da composição seguinte é alimentado no combustor:

- 10 % em peso de bentonita comercial em pó com uma composição de cerca de $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2$, temperatura de fusão 1.590 K (1.317°C),
- 3 % em peso de pirofosfato de potássio comercial, com uma
25 temperatura de fusão de 1.363 K.

Por análise por ICP óptica dos metais no componente A), o componente bentonita opcional e o combustível são determinados. Observou-se que a razão molar $A'/(A''-A')$ é igual a 0,1.

Pós totais nas emissões na saída do combustor são determinados

em $0,02 \text{ mg/Nm}^3$.

Depois de filtração das emissões na luva de filtro de combustível, nas emissões emitidas no ar, observou-se que $\text{PM}_{2,5}$ é $8 \text{ } \mu\text{g/Nm}^3$. Nota-se que ambos os valores citados são muito baixos.

5 Nas emissões emitidas no ar, os valores de concentração normalizados de metais pesados são menores que $1 \text{ } \mu\text{g/Nm}^3$.

EXEMPLO 3 Comparativo

Exemplo 2 é repetido, mas omitindo a adição da suspensão aquosa de bentonita e pirofosfato de potássio.

10 Observou-se que, nas emissões emitidas no ar, o particulado $\text{PM}_{2,5}$ é 3 mg/Nm^3 , e o teor de metal pesado é de $0,15 \text{ mg/Nm}^3$.

EXEMPLO 4 Comparativo

Em um combustor térmico de 6 MW da tecnologia anterior, operado a pressão atmosférica e usando ar como comburente, 13 kg/min do mesmo resíduo industrial usado em exemplo 2 são alimentados. As paredes do combustor são mantidas a uma temperatura maior que 1.150 K (877°C). As emissões deixam a câmara de combustão na temperatura de 1.310 K (1.037°C).

Depois da filtração das emissões de combustão em um filtro de luva e em um filtro eletrostático, as emissões emitidas no ar contêm uma quantidade de pós de 9 mg/Nm^3 . $\text{PM}_{2,5}$ é 6 mg/Nm^3 , metais pesados $0,44 \text{ mg/Nm}^3$.

Comparando-se os dados obtidos no exemplo da invenção com aqueles dos exemplos comparativos, nota-se que os pós nas emissões descarregadas na atmosfera no processo da invenção são muito inferiores àqueles obtidos nos processos da tecnologia anterior. O $\text{PM}_{2,5}$ é menor que duas a três ordens de grandeza, e o teor de metal pesado menor que duas ordens de grandeza que nos exemplos comparativos.

Portanto, com o processo da presente invenção, uma notável melhoria na redução de pós e metais pesados emitidos é obtida em comparação com os processos da tecnologia anterior.

REIVINDICAÇÕES

1. Processo de combustão, caracterizado pelo fato de que um combustível, um comburente e componente A) são alimentados em um combustor, o componente A) compreendendo sais e/ou óxidos de baixo ponto de fusão e/ou suas misturas com uma temperatura de fusão $\leq 1.450 \text{ K}$ (1.177°C), a razão molar $A'/(A''-A')$ é $\geq 0,01$, sendo:

- A' a soma em moles da quantidade de metais, na forma de sais e/ou óxidos de baixo ponto de fusão e/ou suas misturas presentes no componente A), e da quantidade de metais na forma dos sais e/ou óxidos de baixo ponto de fusão ou suas misturas contidos no combustível,

- A'' é a soma da quantidade de todos os metais contidos no combustível e daqueles contidos no componente A), em que o combustor é do tipo isotérmico e sem chama.

2. Processo de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a razão molar $A'/(A''-A')$ é pelo menos 0,1, preferivelmente pelo menos 0,2.

3. Processo de acordo com as reivindicações 1-2, caracterizado pelo fato de que a pressão no combustor é maior que a pressão atmosférica e até 2.000 kPa e a temperatura é compreendida entre 1.500 K (1.277°C) (1.223°C) e 2.100 K (1.827°C).

4. Processo de acordo com as reivindicações 1 a 3, caracterizado pelo fato de que o comburente é oxigênio em excesso com relação à quantidade estequiométrica para a reação de combustão com o combustível.

5. Processo de acordo com as reivindicações 1 a 4, caracterizado pelo fato de que os gases de combustão na saída do combustor são resfriados a uma temperatura menor ou igual a 1.100 K (827°C).

6. Processo de acordo com as reivindicações 1 a 4, caracterizado pelo fato de que, como componente A), uma mistura com uma

temperatura de fusão $\leq 1.450 \text{ K}$ (1.177°C) é usada consistindo em um ou mais compostos, definidos em A) e de sais e/ou óxidos com uma temperatura de fusão acima de 1.450 K (1.177°C).

5 7. Processo de acordo com as reivindicações 1 a 6, caracterizado pelo fato de que o componente A) é alimentado no combustor separadamente do combustível ou em mistura com o combustível.

8. Processo de acordo com as reivindicações 1 a 7, caracterizado pelo fato de que o tempo de permanência do combustível no combustor varia de 0,5 segundo até 30 minutos.

10 9. Processo de acordo com as reivindicações 1 a 8, caracterizado pelo fato de que o oxigênio alimentado é pré-misturado com emissões de reciclagem, a quantidade de emissões é maior que 10 % em volume.

15 10. Processo de acordo com as reivindicações 1 a 9, caracterizado pelo fato de que as emissões de reciclagem contêm água na forma de vapor em uma quantidade maior que 10 % em volume calculada com base no volume total de emissões de reciclagem.

20 11. Processo de acordo com as reivindicações 1 a 10, caracterizado pelo fato de que o combustível contém água/vapor em uma quantidade, expressa como porcentagem em peso, de até 80 %.