



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

(11) PI 0703361-3 B1



* B R P I 0 7 0 3 3 6 1 B 1 *

(22) Data do Depósito: 16/08/2007

(45) Data de Concessão: 25/06/2019

(54) Título: SISTEMA DE PÓS-TRATAMENTO DE GÁS DE ESCAPE

(51) Int.Cl.: F01N 3/035; F01N 3/00; F01N 3/20.

(30) Prioridade Unionista: 16/08/2006 DE 102006038288-9.

(73) Titular(es): MAN NUTZFAHRZEUGE AG; MAN TRUCK & BUS AG.

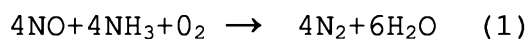
(72) Inventor(es): ANDREAS DÖRING.

(57) Resumo: SISTEMA DE PÓS-TRATAMENTO DE GÁS DE ESCAPE Sistema de pós-tratamento de gás de escape para a redução de óxido nítrico e de partículas em motores de combustão interna acionados com excesso de ar, sendo que a redução de óxido nítrico é feita por meio de um catalisador SCR e a redução de partículas por meio de um filtro de partículas (5,9) alojado no fluxo de gás de escape do motor de combustão interna. No caso do filtro de partículas (5,9) trata-se de um filtro de partículas de superfície ou de um filtro de profundidade que é carregado em seu lado de saída de fluxo com um material de catalisador ativo SCR (6, 14). A condução de um meio de redução liberador de amoníaco ou de amoníaco é feita no lado de entrada de fluxo para o filtro de partículas (5,9).

"SISTEMA DE PÓS-TRATAMENTO DE GÁS DE ESCAPE"

[0001] O objeto da presente invenção é um sistema de pós-tratamento de gás de escape para motores de combustão interna como motores diesel e motores a gasolina com injeção direta, de acordo com o conceito genérico da reivindicação 1.

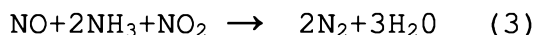
[0002] Além de partículas de matéria sólida óxidos nítricos também fazem parte dos componentes de gás de escape limitado, que surgem durante processos de combustão e cujas emissões permitidas são cada vez menores. Para minimizar esses componentes de gás de escape em motores de combustão interna acionados em automóveis são hoje empregados em diferentes processos. A redução dos óxidos nítricos ocorre na maioria das vezes com auxílio de catalisadores, em gás de escape rico em oxigênio é necessário adicionalmente um meio de redução para elevar a seletividade e as conversões de Nox. Esses processos tinham sido conhecidos sob o termo coletivo processos SCR, sendo que SCR substitui "redução catalítica seletiva". Sua aplicação é feita há muitos anos na área de usinas elétricas e recentemente também em motores de combustão interna. Uma ilustração detalhada de processos desse tipo pode ser vista no documento DE 34 28 232 A1. Como catalisadores SCR podem ser empregados óxidos mistos contendo V₂O₅, como por exemplo, na forma de V₂O₅/WO₃/Ti O₂. Porcentagens típicas V₂O₅ neste caso ficam entre 0,2-3%. Como meio de redução são utilizados na prática amoníaco ou compostos liberadores de amoníaco, tais como ureia ou formiato de amônia, na forma sólida ou em solução. Para a conversão de um mol de óxido nítrico é necessário um mol de amoníaco.



[0003] Se for ligado aos catalisadores SCR um catalisador de oxidação NO contendo platina para formar NO₂



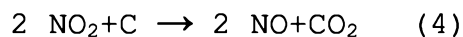
então a reação SCR poderá ser bastante acelerada e a atividade de baixa temperatura notadamente elevada.



[0004] No caso de motores de combustão interna acionados em automóveis a redução de óxido nítrico ocorre, por essa razão, com dificuldade com auxílio do método SCR, pois existem condições operacionais que se alternam, o que dificulta a medição quantitativa do meio de redução. Por um lado, obtém-se uma conversão em óxidos nítricos o mais alta possível, por outro, porém, é preciso atentar para o fato de que isso não provoca a emissão de amoníaco não consumido. Para criar um auxílio neste caso, muitas vezes é utilizado um catalisador de inibição de amônia conectado em série ao catalisador SCR, que converte amônia em excesso em nitrogênio e vapor d'água. Além disso, a utilização de V₂O₅ como material ativo para o catalisador SCR pode propiciar problemas caso a temperatura do gás de escape no catalisador SCR fique acima de 650° C, pois V₂O₅ é então sublimado.

[0005] Para minimizar as partículas de material fino são utilizados os assim chamados separadores de partículas ou filtros de partículas tanto na área de usinas elétricas como também em automóveis. Um arranjo típico para a aplicação em automóveis com separador de partículas aparece descrito, por exemplo, no documento EP 1 072 765 A 1. Arranjos desse tipo se diferenciam daqueles com filtros de partículas pelo fato de o diâmetro dos canais do separador de partículas ser bem maior do que o diâmetro das partículas de maior tamanho ali

presentes, enquanto que no caso dos filtros de partículas o diâmetro dos canais de filtro fica na faixa do diâmetro das partículas. Devido a essa diferença, os filtros de partículas oferecem o risco de entupimento, o que aumenta a contrapressão do gás de escape e reduz a potência do motor. No documento EP 0 341 832 A2 podemos ver a descrição de um arranjo e um método com filtro de partículas. Os dois arranjos e métodos acima mencionados se destacam pelo fato de o catalisador de oxidação disposto respectivamente no fluxo da corrente em direção ao separador de partículas ou filtro de partículas - na maioria das vezes um catalisador com platina como material ativo - oxida o monóxido de nitrogênio no gás de escape com auxílio do oxigênio residual também presente convertendo-o em dióxido de nitrogênio, que por sua vez, se converte em CO, CO₂, N₂ e NO no separador de partículas, ou no filtro de partículas com as partículas de carbono. Desse modo, é feita uma retirada contínua da partícula de material fino depositada. Ciclos de regeneração, tal como são feitos abundantemente em outros arranjos, não se realizam neste caso.



[0006] Para atender as especificações sobre gás de escape futuramente vigentes, é necessária a utilização simultânea tanto de arranjos para a redução da emissão de nitrogênio, como também de arranjos para a redução da emissão de partículas de material fino. Neste caso, já são conhecidos diferentes arranjos e métodos.

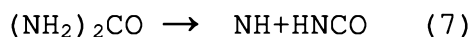
[0007] No documento DE 103 48 799 A1 é descrito um

arranjo, que é composto de um catalisador de oxidação de um catalisador SCR alojado no lado de saída de fluxo em relação a este último no fluxo do gás de escape e de um filtro de partículas alojado por sua vez no lado de saída de fluxo em relação a este por ultimo mencionado no fluxo do gás de escape. A alimentação do meio de redução para a reação catalítica seletiva que ocorre no catalisador SCR é feita diretamente perante o catalisador SCR através de um dispositivo de injeção de ureia controlado em função de parâmetros operacionais do motor de combustão interna. No caso desse arranjo existe a desvantagem de o dióxido de nitrogênio gerado no catalisador de oxidação através da redução catalítica seletiva no catalisador SCR ser quase totalmente consumido, não ficando assim disponível para a conversão da partícula de material fino depositada no filtro de partículas conectado em série. A regeneração do filtro de partículas, por isso, não precisa ser realizada dispendiosamente através do aquecimento cíclico do fluxo de gás de escape, quando o fluxo de gás de escape é enriquecido com hidrocarbonetos não queimado. Isso ocorre tanto pela adição de combustível à mistura de combustão ou pela injeção de combustível antes do filtro de partículas. Um arranjo desse tipo para regenerar o filtro de partículas e, por um lado, mais complexo, e conseqüentemente, mais caro, por outro lado, a regeneração cíclica do filtro de partículas situado na extremidade do arranjo, produz novamente poluentes que não podem ser mais removidos do gás de escape.

[0008] Uma outra combinação de filtro de partículas e um arranjo para a redução catalítica seletiva foi divulgada no documento EP 1 054 722 A1. O arranjo ali descrito é composto

de um catalisador de oxidação alojado no fluxo de gás de escape que eleva a porcentagem de dióxido de nitrogênio no gás de escape, de um filtro de material fino conectado em série no lado de saída de fluxo, de um reservatório para o fluido de redução, assim como de um dispositivo de injeção do fluido de redução, que fica alojado atrás do filtro de material fino, e de um catalisador SCR alojado no lado de saída de fluxo no fluxo de gás de escape. O arranjo descrito acima, na verdade, permite uma conversão contínua das partículas de material fino depositadas no filtro de material fino do tipo fumaça fuliginosa com auxílio do dióxido de nitrogênio produzido no catalisador de oxidação, porém, apresenta uma outra séria desvantagem. O filtro de partículas condiciona um resfriamento do gás de escape, de tal forma que na aplicação, por exemplo, do fluido de redução da solução aquosa de ureia ("AdBlue"), atualmente disponível no mercado a temperatura do gás de escape fique bem baixa principalmente após ligar o motor de combustão interna ou ao operar o motor de combustão interna na faixa de baixa potência, a fim de produzir amônia sem que gerar produtos secundários problemáticos decorrentes da solução de ureia aquosa a 33%.

[0009] Com relação à decomposição de ureia $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ na amônia (NH_3) é conhecido o fato de isso ocorrer sob condições ótimas (temperaturas acima de 350°C) em dois estágios, de acordo com



é feita primeiramente a termólise, ou seja, a decomposição térmica de ureia. Em seguida, é feita de acordo com

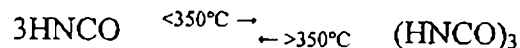


a hidrólise, ou seja, a decomposição catalítica de ácido

isociânico (HNCO) em amoníaco (NH₃) e dióxido de carbono (CO₂).

[0010] Como o meio de redução, quando utilizado a solução aquosa de ureia, está presente em uma forma dissolvida em água, essa água deve evaporar antes e durante a termólise e hidrólise propriamente ditas.

[0011] Se as temperaturas presentes durante a reação acima conforme (7) e (8) ficarem abaixo de 350° C ou ocorrer o aquecimento apenas lentamente, é conhecido a partir do documento DE 40 38 054 A1 que surge principalmente ácido cianúrico sólido infusível pela trimerização do ácido isociânico formado conforme (7), de acordo com



que provoca o entupimento do catalisador SCR a seguir. Pode ser criado um meio auxiliar, conforme assinalado no documento DE 40 38 054, pelo fato o fluxo de gás de escape carregado com o meio de redução ser conduzido através de um catalisador de hidrólise. A temperatura do gás de escape, a partir da qual é possível uma hidrólise quantitativa, pode ser reduzida para 160° C. Estrutura e composição de um catalisador correspondente aparece descrita na publicação citada tal como a estrutura e função de um sistema de catalisador SCR equipado com catalisador de hidrólise.

[0012] Partindo do estado da técnica descrito anteriormente e evitando as desvantagens de arranjos já conhecidos, é tarefa da presente invenção apresentar um sistema de pós-tratamento de gás de escape para reduzir o óxido nítrico e partículas em motores de combustão interna acionados com excesso de ar que reduza tanto a emissão de partículas como também a emissão de óxido nítrico e apresente

um tamanho construtivo diminuído pela composição de componentes e funções.

[0013] A presente tarefa é solucionada por um sistema de pós-tratamento de gás de escape, de acordo com a característica da reivindicação 1, estando os aperfeiçoamentos vantajosos do sistema de pós-tratamento de gás de escape caracterizados nas reivindicações dependentes.

[0014] Para a solução da tarefa partiu-se do fato de que para se obter os valores limites do gás de escape exigidos a redução do óxido nítrico é feita através de um catalisador SCR com auxílio de amoníaco e a redução de partículas é realizada por meio de um separador de partículas ou de um filtro de partículas. O sistema de pós-tratamento, de acordo com a invenção, provê no fluxo de gás de escape do motor de combustão interna um filtro de partículas, que é um filtro de partículas de superfície ou um filtro de profundidade. Para realizar a redução catalítica seletiva dos óxidos nítricos o filtro de partículas é carregado em seu lado no lado de saída de fluxo com um material catalisador ativo SCR. A alimentação de um meio de redução liberador de amoníaco, ou a alimentação de amoníaco, necessárias para a produção do amoníaco, é feita à montante em relação ao filtro de partículas. A vantagem de um arranjo desse tipo reside, por um lado, no tamanho construtivo diminuído e, conseqüentemente, na pouca necessidade de espaço para instalação do sistema em um automóvel, por outro lado é criada uma distância suficiente entre a oxidação da partícula de fumaça fuliginosa acumulada, exotérmica, e que se realiza no lado de entrada de fluxo do filtro de partículas e o carregamento do filtro de partículas, previsto no lado de saída de fluxo, com material

do catalisador ativo SCR. As temperaturas elevadas ocorridas durante a oxidação da partícula de fumaça fuliginosa não podem assim prejudicar o material do catalisador ativo SCR.

[0015] Como material para o filtro de partículas são indicados com relação ao carregamento com material do catalisador ativo SCR de modo vantajoso cordierita ou carboneto de silício ou metal sinterizado ou fibras cerâmicas ou fibras de silicato ou malha metálica.

[0016] Favorável e, portanto, vantajoso é se aumentar o carregamento com o material do catalisador ativo SCR no lado de saída de fluxo do filtro de partículas na direção do fluxo do gás de escape. É possível obter uma distribuição correspondente do material ativo SCR pelo fato de o filtro de partículas ser estruturado em camadas, sendo que as camadas no lado de saída de fluxo apresentam um carregamento do material ativo SCR crescente na direção de fluxo do gás de escape. Naturalmente também é possível realizar o carregamento com o material ativo SCR mediante revestimento ou impregnação do lado de saída de fluxo do filtro de partículas, de forma que o grau do carregamento do material do filtro com profundidade de penetração crescente da solução de impregnação ou de revestimento diminua. O material do catalisador ativo SCR, com o qual o filtro de partículas é carregado, pode conter como componente ativo vanádio e/ou V_2O_5 e/ou WO_3/TiO_2 e/ou zeólita contendo ferro e/ou zeólita contendo cobre e/ou zeólita contendo cobalto.

[0017] Para favorecer a liberação de amoníaco do meio de redução, é também vantajoso revestir ou impregnar o filtro de partículas adicionalmente no lado de entrada de fluxo com um material do catalisador ativo correspondente. Como componente

ativo de um material de catalisador desse tipo são cogitados TiO_2 e/ou $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$ e/ou $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ e/ou zeólita.

[0018] Para evitar que na reação SCR chegue ao meio ambiente NH_3 não consumido, é vantajoso revestir ou impregnar o filtro de partículas adicionalmente no lado de saída de fluxo, na direção de fluxo do gás de escape visto na extremidade do carregamento com material do catalisador ativo SCR, com um material de catalisador, que oxida o amoníaco em excesso presente no gás de escape. O material de catalisador apropriado neste caso para a oxidação de amoníaco em excesso pode conter como componente ativo elementos do grupo da platina e/ou seus óxidos e/ou zeólita.

[0019] Além disso, é vantajoso dispor no lado de entrada de fluxo em relação à alimentação do meio de redução um catalisador de oxidação que transforma pelo menos uma parte do monóxido de nitrogênio presente no fluxo de gás de escape em dióxido de nitrogênio. Através dessa medida é possível uma oxidação contínua das partículas de fumaça fuliginosa depositadas no filtro de partículas de acordo com as equações de 4 a 6, sendo que o nível de temperatura é menor do que durante uma regeneração cíclica do filtro de partículas através, por exemplo, de adição de combustível à mistura de combustão ou pela adição de hidrocarbonetos no gás de escape quente. Como material ativo do catalisador de oxidação para a transformação de monóxido de nitrogênio em dióxido de nitrogênio são apropriados platina e/ou óxido de platina e/ou zeólita.

[0020] Em conexão com o acima exposto, a vantagem do sistema pós-tratamento de gás de escape, de acordo com a invenção, torna-se evidente: Se todo o filtro de partículas

e, conseqüentemente também seu lado de entrada de fluxo receber revestimento ativo SCR, isso acarretaria, de acordo com a equação 3 uma redução acentuada da concentração de NO₂ no lado de entrada de fluxo, o que pioraria bastante a oxidação da fumaça fuliginosa ali precipitada e, portanto, a regeneração de filtro com auxílio do NO₂.

[0021] Uma forma de concretização especialmente favorável e, conseqüentemente, vantajosa do filtro de partículas prevê que esse filtro forme tanto em seu lado de entrada de fluxo como também em seu lado de saída de fluxo câmaras do tipo furo cego ou do tipo bolsa, sendo que as câmaras situadas no lado de entrada de fluxo ficam abertas em direção ao lado de entrada de fluxo e as câmaras situadas no lado de saída de fluxo ficam abertas em direção ao lado de saída de fluxo.

[0022] A seguir a presente invenção é mais detalhadamente esclarecida com auxílio dos desenhos com base em alguns exemplos, onde:

[0023] A figura 1 mostra uma ilustração esquemática de um sistema de pós-tratamento de gás de escape.

[0024] A figura 2 mostra uma combinação de filtro de partículas e catalisador SCR em ilustração esquemática.

[0025] A figura 3 mostra uma combinação de filtro de partículas, catalisador SCR e catalisador de oxidação NH₃ em ilustração esquemática.

[0026] A figura 4 mostra uma combinação de filtro de partículas, catalisador SCR e catalisador de hidrólise em ilustração esquemática.

[0027] A figura 5 mostra uma combinação de filtro de partículas e catalisador SCR no trato de gás de escape de um motor de combustão interna em ilustração esquemática.

[0028] Um sistema de pós-tratamento de gás de escape para a redução catalítica e para a redução de partículas de material fino no gás de escape de um motor de combustão interna aparece ilustrado na figura 1 de forma esquemática. Os gases de escape formados por um motor de combustão interna (aqui não ilustrado) através dos processos de combustão, simbolizado na figura 1 pelas setas, chegam primeiramente em um trato de preparação de gás de escape 1, no qual ao gás de escape é acrescido um meio de redução o mais próximo do motor. No caso do meio de redução trata-se, a exemplo do uso na prática em veículos com catalisador SCR, de uma solução de ureia aquosa, naturalmente podendo ser a adição de ureia na forma sólida, já como aparece descrito detalhadamente na literatura científica. Além disso, também é possível adicionar amoníaco como meio de redução, que em outro local, por exemplo, sob condições térmicas mais favoráveis, é obtido a partir de uma substância liberadora de amoníaco. A dosagem é feita em função de parâmetros operacionais do motor de combustão interna, controlada através de uma unidade de comando do motor (que não aparece ilustrada), de modo que através de uma dose 2 a solução de ureia aquosa é injetada em um fluxo de gás de escape 3. Paralelamente ao fluxo de gás de escape 3 fica alojado um catalisador de oxidação 4, cuja tarefa reside em oxidar, após a reação assinalada acima com (2), uma parte do monóxido de nitrogênio presente no gás de escape por meio do oxigênio em excesso presente no gás de escape, formando dióxido de nitrogênio. O dióxido de nitrogênio então formado é utilizado, por um lado, na redução das partículas de material fino e, por outro lado, na reação SCR subsequente, conforme é descrita mais detalhadamente a

seguir.

[0029] No lado de saída de fluxo em relação ao fluxo parcial de gás de escape 3 e paralelamente a esse catalisador de oxidação 4 fica alojado um filtro de partículas 5, que acumula as partículas de fumaça fuliginosa presentes no gás de escape. As partículas de fumaça fuliginosa presas no filtro de partículas 5 são convertidas através do dióxido de nitrogênio gerado no lado de entrada de fluxo com auxílio do catalisador de oxidação 4, em monóxido de carbono, dióxido de carbono, nitrogênio e monóxido de nitrogênio continuamente de forma a dispensar ciclos de regeneração dispendiosos para o filtro de partículas 5.

[0030] A redução catalítica seletiva propriamente dita do óxido nítrico é feita através de um catalisador SCR 6, que aparece ilustrado na figura 1 para fins de simplificação, na verdade de forma esquemática como componente separado, conforme mais abaixo descrito, é projetado, de acordo com a invenção, como revestimento ativo SCR do filtro de partículas 5. Na reação de redução aqui falada uma porcentagem maior possível dos óxidos nítricos (NO_x) presentes no gás de escape, durante elevada seletividade simultânea da redução, deve ser transformada em nitrogênio e vapor d'água, sem que o amoníaco em excesso (NH_3) permaneça no fluxo de gás de escape. Na reação de redução SCR, o dióxido de nitrogênio residual presente ainda no fluxo de gás de escape é mais apto à reação do que o NO residual presente no gás de escape, portanto é preferível projetar o catalisador de oxidação 4 de forma que uma porcentagem o mais elevada possível de monóxido de nitrogênio seja transformada em dióxido de nitrogênio, ou seja, quando possível, é necessário mais do que para a

conversão das partículas de fumaça fuliginosa no separador de partículas. Através da oxidação de fumaça fuliginosa fortemente exotérmica pode ocorrer uma elevação acentuada de temperatura de tal forma que no lado de saída de fluxo do separador de partículas podem ocorrer temperaturas acima de 650° C, que danificam catalisadores SCR contendo V₂O₅. Por essa razão, a aplicação de catalisadores SCR isentos de V₂O₅, que na maioria das vezes são à base de zeólita contendo ferro, cobalto ou cobre, é bastante conveniente.

[0031] Considerando as condições operacionais constantemente alternadas de um motor de combustão interna acionado em um veículo, fica patente que a taxa de conversão desejada e o mais elevada possível de óxidos nítricos só pode ser obtida com segurança se for aceita um pequeno excesso de amoníaco. Para evitar em casos de conversão insuficiente que o amoníaco tóxico com o gás de escape parcialmente purificado seja lançado ao ar, é conectado em seguida ao catalisador SCR um catalisador de oxidação NH₃, através do qual o NH₃ em excesso é transformado em nitrogênio e vapor d'água. O catalisador de oxidação NH₃ 7, assinalado na figura 1 esquematicamente por um componente separado, pode, conforme apresentado mais abaixo, ser também parte da combinação de filtro de partículas 5 e catalisador SCR. A reação de oxidação para eliminar o amoníaco em excesso pode operar o mais seletivamente possível de forma que pelo menos porções de irídio ou óxido de irídio podem ser empregadas como material ativo para o catalisador de oxidação NH₃ 7.

[0032] Conforme assinalado na figura 1 com uma linha circunferencial tracejada, pode ser utilizado um catalisador 8 de hidrólise para melhorar a liberação do amoníaco do meio

de redução, se nível de temperatura no ponto de alimentação do meio de redução não for suficientemente elevado. Esse catalisador de hidrólise 8, alojado no fluxo de gás de escape no lado de saída em relação ao ponto de alimentação do meio de redução e no lado de entrada de fluxo em relação ao filtro de partículas 5, que aparece assinalado no desenho de forma esquemática como componente separado, pode porém, conforme mostrado mais abaixo, ser também um carregamento no lado de entrada de fluxo do filtro de partículas 5 com material de catalisador ativo.

[0033] A figura 2 ilustra uma concretização de um filtro de partículas com atividade SCR, também de forma esquemática, em corte, sendo que o plano de corte é selecionado paralelamente ao sentido de fluxo do gás de escape. A direção de fluxo neste caso, a exemplo das figuras de 3 a 5 descritas mais abaixo, é assinalada através de setas.

[0034] O filtro de partículas 9 apresenta tanto em seu lado de entrada de fluxo 11 como em seu lado de saída de fluxo 12 câmaras em forma de furo cego ou de bolsas 11a, 12a, sendo que as câmaras situadas no lado de entrada de fluxo 11 ficam abertas na direção do lado de entrada de fluxo 11 e as câmaras situadas no lado de saída de fluxo ficam abertas na direção do lado de saída de fluxo 12. Como material de filtração do filtro de partículas 9 podem ser utilizados cordierita ou carboneto de silício ou metal sinterizado ou fibras cerâmicas assim como fibras de silicato ou malha metálica.

[0035] Conforme podemos observar na ilustração, o fluxo de saída carregado com partículas de fumaça fuliginosa 10 e com amoníaco (NH_3) (não ilustrado) se depara com o lado de

entrada de fluxo 11 do filtro de partículas 9 e deposita as partículas de fumaça fuliginosa 10 principalmente nas câmaras 11a do tipo furo cego ou no formato de bolsa como bolo de filtração 13a, antes de o gás de escape filtrado de partículas de fumaça fuliginosa 10 circular pelo material de filtração nas câmaras 12a do lado de saída de fluxo 12, do tipo furo cego ou no formato de bolsas. Antes de chegar até as câmaras 12a o gás de escape carregado com NH_3 penetra na camada do filtro de partículas 9, carregada com material de catalisador ativo SCR, situada no lado de saída de fluxo 12, e fica em contato com ela até sair das câmaras 12a do tipo furo cego ou no formato de bolsas. No caminho ao longo da camada do material de catalisador ativo SCR, assim como nas câmaras 12a, ocorre a redução catalítica seletiva após as reações (1) e (2), na qual os óxidos nítricos são transformados em nitrogênio e vapor d'água. O gás de escape filtrado de partículas de fumaça fuliginosa e óxidos nítricos sai do arranjo de filtração no lado de saída de fluxo 12.

[0036] Para regenerar o filtro de partículas 9 o bolo de filtração 13 deve ser removido ou continuamente ou ciclicamente. A remoção contínua do bolo de filtração 13, conforme já descrito em relação a figura 1, é feita pelo fato de ser conectado ao filtro de partículas 9 um catalisador de oxidação não ilustrado na figura 2, que após a reação (2) transforma pelo menos uma parte do monóxido de nitrogênio presente no gás de escape em dióxido de nitrogênio. O catalisador de oxidação também precisa no ponto no lado de entrada de fluxo, no qual o meio de redução é adicionado ao fluxo de gás de escape, já que senão o meio de redução oxidaria e, conseqüentemente, seria inútil para a reação SCR.

[0037] O dióxido de nitrogênio acumulado no gás de escape provoca em contato com o bolo de filtração 13, após as reações (4), (5) e (6) uma conversão das partículas de fumaça fuliginosa 10 em CO, CO₂, N₂ e NO, sendo que essas reações transcorrem continuamente de forma que o bolo de filtração possa ser mantido em um nível praticamente constante em uma espessura praticamente constante e em uma contrapressão do gás de escape provocada pelo bolo.

[0038] Alternativamente à regeneração contínua do filtro de partículas 13 também existe a possibilidade de regenerar esse filtro ciclicamente. Para tanto, o conteúdo de hidrocarbonetos no gás de escape é elevado de forma já conhecida, de tal forma que estes hidrocarbonetos em contato com o bolo de filtração oxidem as partículas de fumaça fuliginosa 10 em uma reação fortemente exotérmica.

[0039] O aumento de temperatura local ocorrido nos dois casos da regeneração do filtro de partículas 9 no lado de entrada de fluxo 11 do filtro de partículas 9 é relativamente bem protegido pelo material de filtração para o carregamento com material de catalisador ativo SCR, disposto no lado de saída de fluxo 12 do filtro de partículas 9, eliminando o risco de danificar o material de catalisador ativo SCR. Para evitar com segurança que o material de catalisador ativo SCR seja danificado em proporções críticas de temperatura, podem ser utilizados como material de catalisador em substituição ao vanádio ou V₂O₅ mais sensíveis a temperatura, WO₃/TiO₂ ou zeólita contendo ferro, cobre ou cobalto.

[0040] Por motivos de estabilidade térmica também pode ser vantajoso se o carregamento do lado ativo SCR do filtro de partículas aumentar na direção de fluxo do gás de escape.

Isso pode ser obtido se o filtro de partículas for projetado em camadas, sendo que o carregamento das camadas com material ativo SCR cresce na direção de fluxo do gás de escape, ou ser obtido se o carregamento com o material ativo SCR for feito por camadas ou por impregnação do lado de saída de fluxo do filtro de partículas de tal forma que o grau do carregamento do material de filtração diminua com uma profundidade de penetração crescente da solução de impregnação ou de revestimento.

[0041] Para que seja feita uma conversão maior possível de óxidos nítricos em nitrogênio ou vapor d'água durante o funcionamento do motor de combustão interna, tal como ocorre normalmente em motores de combustão interna acionados em veículos, é necessário operar o sistema de pós-tratamento de gás de escape com pouco excesso de amoníaco. Como o gás amoníaco tóxico não pode ser lançado no ar, existe a possibilidade de prever na extremidade do arranjo de pós-tratamento de gás de escape um catalisador de oxidação de amoníaco. Um arranjo desse tipo aparece ilustrado na figura 3 de forma esquemática. Neste caso também é selecionada uma ilustração em corte cujo plano de corte passa paralelo à direção de fluxo do gás de escape. Depois que a representação na figura for igual em outras partes em relação à representação na figura 2, foram escolhidos sinais iguais de referência para peças iguais. Essas peças iguais, para evitar repetições, não serão novamente descritas, ao invés disso será feita referência à descrição quanto à figura 2.

[0042] Para a oxidação do amoníaco em excesso no gás de escape foi planejado realizar no lado de saída de fluxo 12 do filtro de partículas 9, na saída das câmaras do tipo furo

cego ou em formato de bolsa 12a, ou uma impregnação do material de catalisador ativo SCR 14 com um material 15 para a oxidação de amoníaco (na figura 3 abaixo) ou revestir o material de catalisador ativo SCR 14 com um material 15 para a oxidação de amoníaco (na figura 3 acima). Nos dois casos o amoníaco em excesso é transformado com segurança em nitrogênio e vapor d'água.

[0043] As possibilidades de fabricação do corpo básico do filtro de partículas 3 são mostradas em combinação com a figura 3 a título de exemplo. Para produzir uma estrutura do tipo furo cego, pode ser reunida ou uma multiplicidade de produtos em formato tubular formando um pacote espesso, sendo que respectivamente tubos adjacentes são fechados alternadamente ou no lado de entrada de fluxo ou no lado de saída de fluxo. O fechamento pode ser feito com o mesmo material, que é empregado também para o filtro de partículas 9, o material pode porém ser também diferente, por exemplo não ser específico ao produto. Uma outra possibilidade para produzir as câmaras do tipo furo cego 11a, 12a reside em prever canais em um corpo filtrante do tipo bloco, pelos quais câmaras adjacentes são alternadamente fechadas nas extremidades respectivamente ali defrontes.

[0044] O carregamento com material de catalisador ativo SCR pode ser feito no caso das estruturas acima apresentadas, ao se fechar inicialmente apenas todo segundo orifício no lado de saída de fluxo 12 e então imergir o corpo filtrante em uma solução de revestimento ou de impregnação sendo que a solução de revestimento ou de impregnação aumenta nos canais abertos em direção do lado de saída de fluxo. A solução de revestimento ou de impregnação em excesso é novamente

descarregada depois de realizado o revestimento ou a impregnação e os canais revestidos ou impregnados são então fechados em direção ao lado de entrada de fluxo 11.

[0045] Uma possibilidade de produzir estruturas no formato de bolsa reside em fabricar pacotes de placas distantes entre si, sendo que os compartimentos livres adjacentes, produzidos pelo distanciamento são alternadamente fechados no lado de entrada de fluxo 11 e no lado de saída de fluxo 12 de tal forma que se forme uma estrutura no formato de bolsa. O carregamento do lado de saída de fluxo 12 com o material de catalisador ativo SCR 14 pode ser feito pelo fato de as placas utilizadas para a organização da estrutura serem carregadas em um lado com material de catalisador ativo SCR e de as placas serem de tal modo revestidas, que dois lados de placa carregados e dois lados de placa não carregados ficam defrontes entre si. O carregamento das placas neste pode ser feito de modo que as placas sejam montadas em camadas, sendo que o grau do carregamento das camadas com material de catalisador ativo SCR aumente na direção do lado de saída de fluxo. Porém, existe também a possibilidade de realizar o carregamento das placas com material de catalisador ativo SCR por pulverização ou cobertura com soluções de revestimento ou de impregnação ativa SCR. A produção das camadas ativas NH₃ mais acima descritas na saída é feita analogamente ao arranjo. O mesmo se aplica em camadas ativas do filtro de partículas 9 no lado de entrada de fluxo 11, conforme aparecem descritas a seguir em combinação com a figura 4.

[0046] Conforme já mencionado em conexão com a figura 1, pode ser necessário para melhorar a liberação de amoníaco do meio de redução - por exemplo, solução aquosa de ureia- a

utilização de um catalisador que facilite a liberação a fim de impedir a formação de ácido cianúrico após as reações (7) e (9). A formação de ácido cianúrico é por isso problemática pois isso pode acarretar um bloqueio do filtro de partículas e, conseqüentemente, não apenas à falha do sistema de pós-tratamento de gás de escape como também à falha do motor de combustão interna. O catalisador é projetado para melhorar a liberação de amoníaco do meio de redução de modo que, conforme mostrado de forma esquemática na figura 4, o lado de entrada de fluxo do filtro de partículas 9 seja carregado com um material de catalisador 16 que favorece a liberação. São cogitados para este caso os materiais TiO_2 ou TiO_2/SiO_2 ou $TiO_2/SiO_2/Al_2O_3$ assim como zeólita. A realização de um carregamento correspondente é feita analogamente aos procedimentos acima descritos. A ilustração na figura 4 corresponde à ilustração mostrada na figura 2, evitando uma descrição repetida, sendo feita referência às partes de descrição correspondentes em relação à figura 2.

[0047] A figura 5 mostra de forma esquemática numa ilustração em corte uma outra forma de concretização do sistema de pós-tratamento de gás de escape, de acordo com a invenção. Além disso, na figura 5 o arranjo do sistema de pós-tratamento de gás de escape é sugerido em uma carcaça integrada no trato de gás de escape de um motor de combustão interna.

[0048] Um filtro de partículas 9' projetado no formato de sanfona, que forma bolsas 11a' no lado de entrada de fluxo e bolsas 12a' no lado de saída de fluxo, é carregado com um material de catalisador ativo SCR 14' em seu lado voltado para as bolsas situadas no lado de saída de fluxo 12a ,

analogamente ao exemplo na figura 2. Através da configuração do filtro de partículas 9, no formato de sanfona, forma-se um compartimento interno 19, que é fechado em uma de suas extremidades 21, e em sua outra extremidade aberta 20 vem em seguida a um orifício de saída de fluxo 22 de uma carcaça 17, na qual o filtro de partículas 9' fica alojado. O compartimento interno da carcaça 17 é dividido através do filtro de partículas 9' em duas seções, o compartimento interno 19 do filtro de partículas 9' já citado, e o compartimento externo 18 situado entre a lateral da carcaça 17 e o filtro de partículas 9. Na seção de afluxo do compartimento externo 18 fica alojado um catalisador de oxidação 4' que transforma parte do monóxido de nitrogênio presente no fluxo de gás de escape em dióxido de nitrogênio. No centro do catalisador de oxidação 4' encontra-se um orifício que forma um fluxo parcial de gás de escape 3' ao qual é adicionado um meio de redução através de um bocal 2'.

[0049] Conforme sugerido na ilustração através de setas que indicam a direção de fluxo do gás de escape, o gás de escape vindo do motor de combustão interna (aqui não ilustrado) passa pelo catalisador de oxidação 4' e absorve no fluxo parcial 3' paralelamente conduzido o meio de redução, por exemplo, o amoníaco. Então o gás de escape carregado com NH₃ e enriquecido com NO₂ circula desde o compartimento externo 18, atravessando as bolsas no lado de entrada de fluxo 11a' através do filtro de partículas 9' e de seu lado de saída de fluxo carregado com material de catalisador ativo SCR 14' até chegar nas bolsas no lado de saída de fluxo 12 a' e deixando o arranjo através do compartimento interno subsequente 19 e do orifício de saída de fluxo 22. Em seu

trajeto pelo filtro de partículas 9' são acumuladas partículas de fumaça fuliginosa presentes no gás de escape em sua superfície no lado de entrada de fluxo e oxidadas continuamente através de NO_2 acumulado no gás de escape. Os óxidos nítricos arrastados no gás de escape são transformados juntamente com o amoníaco também ali presente durante a circulação de partes do filtro de partículas 9' carregadas com material de catalisador ativo SCR 14, em nitrogênio e vapor d'água. O gás de escape então filtrado deixa o sistema de pós-tratamento de gás de escape através do compartimento interno 19 e do orifício de saída de fluxo 22. Com relação às reações químicas abordadas é feita referência às relações de fórmula já acima apresentadas.

[0050] As concretizações acima descritas podem ser naturalmente projetadas de diferentes formas com base em conhecimentos específicos acessível ao habilitado na técnica sem abandonar a idéia básica da invenção, sendo que as formas concretização descritas foram apresentadas somente a título de exemplo.

REIVINDICAÇÕES

1. Sistema de pós-tratamento de gás de escape, para reduzir óxido nítrico e partículas em motores de combustão interna acionados por excesso de ar, a redução de óxido nítrico sendo feita por meio de um catalisador SCR e a redução de partículas por meio de um filtro de partículas, e

- um filtro de partículas (5,9) sendo disposto no fluxo de gás de escape do motor de combustão interna ,

- o filtro de partículas (5,9) sendo um filtro de partículas de superfície ou um filtro de profundidade,

- o filtro de partículas (5,9) sendo carregado em seu lado de saída de fluxo com um material de catalisador ativo SCR (6, 14),

- um meio de redução que libera amoníaco ou amoníaco sendo alimentado no lado de entrada de fluxo para o filtro de partículas (5,9),

caracterizada pelo fato de o carregamento com o material de catalisador ativo SCR (6, 14) aumentar no lado de saída de fluxo do filtro de partículas em direção ao fluxo de gás de escape.

2. Sistema de pós-tratamento de gás de escape, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de o filtro de partículas (5,9) ser composto de cordierita ou carboneto de silício ou metal sinterizado ou fibras cerâmicas ou fibras de silicato ou malha metálica e de ser revestido ou impregnado com um material de catalisador ativo SCR.

3. Sistema de pós-tratamento de gás de escape, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 ou 2, caracterizado pelo fato de o material de o catalisador ativo SCR (6,14) conter como componente ativo vanádio e/ou V_2O_5 e/ou WO_3/TiO_2 e/ou

zeólita contendo ferro e/ou zeólita contendo cobre e/ou zeólita contendo cobalto.

4. Sistema de pós-tratamento de gás de escape, de acordo com qualquer uma das reivindicações de 1 a 3, caracterizado pelo fato de o filtro de partículas (5,9) ser adicionalmente revestido ou impregnado com um material de catalisador ativo SCR no lado de entrada de fluxo, que favorece a liberação do amoníaco do meio de redução.

5. Sistema de pós-tratamento de gás de escape, de acordo com a reivindicação 4, caracterizado pelo fato de o material de catalisador, que favorece a liberação do amoníaco do meio de redução, conter como componente ativo TiO_2 e/ou TiO_2/SiO_2 e/ou $TiO_2/SiO_2/Al_2O_3$ e/ou zeólita.

6. Sistema de pós-tratamento de gás de escape, de acordo com qualquer uma das reivindicações de 1 a 5, caracterizado pelo fato de o filtro de partículas (5,9) ser revestido ou impregnado adicionalmente com um material de catalisador no lado de saída de fluxo, em direção ao fluxo do gás de escape visto na extremidade do carregamento com material de catalisador ativo SCR (6, 14), que oxida o amoníaco em excesso presente no gás de escape.

7. Sistema de pós-tratamento de gás de escape, de acordo com a reivindicação 6, caracterizado pelo fato de o material de catalisador para a oxidação de amoníaco em excesso conter elementos do grupo platina e/ou seus óxidos e/ou zeólita.

8. Sistema de pós-tratamento de gás de escape, de acordo com qualquer uma das reivindicações de 1 a 7, caracterizado pelo fato de no lado de entrada de fluxo para a condução de meio de redução estar alojado um catalisador de oxidação (4), que transforma pelo menos uma parte do monóxido de nitrogênio

presente no fluxo de gás de escape em dióxido de nitrogênio.

9. Sistema de pós-tratamento de gás de escape, de acordo com a reivindicação 8, caracterizado pelo fato de o catalisador de oxidação (4) conter como material ativo para a transformação de monóxido de nitrogênio em dióxido de nitrogênio platina e/ou óxido de platina e/ou zeólita.

10. Sistema de pós-tratamento de gás de escape, de acordo com qualquer uma das reivindicações de 1 a 9, caracterizado pelo fato de o filtro de partículas (5,9) formar tanto em seu lado de entrada de fluxo como também em seu lado de saída de fluxo câmaras (12) do tipo furo cego ou em formato de bolsa, sendo que as câmaras situadas no lado de entrada de fluxo ficam abertas na direção do lado de entrada de fluxo e as câmaras situadas no lado de saída de fluxo ficam abertas em direção ao lado de saída de fluxo.

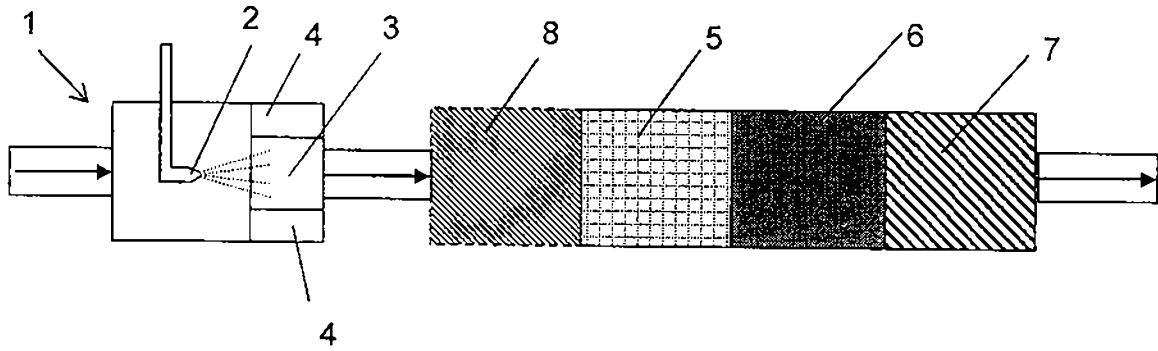


FIG.1

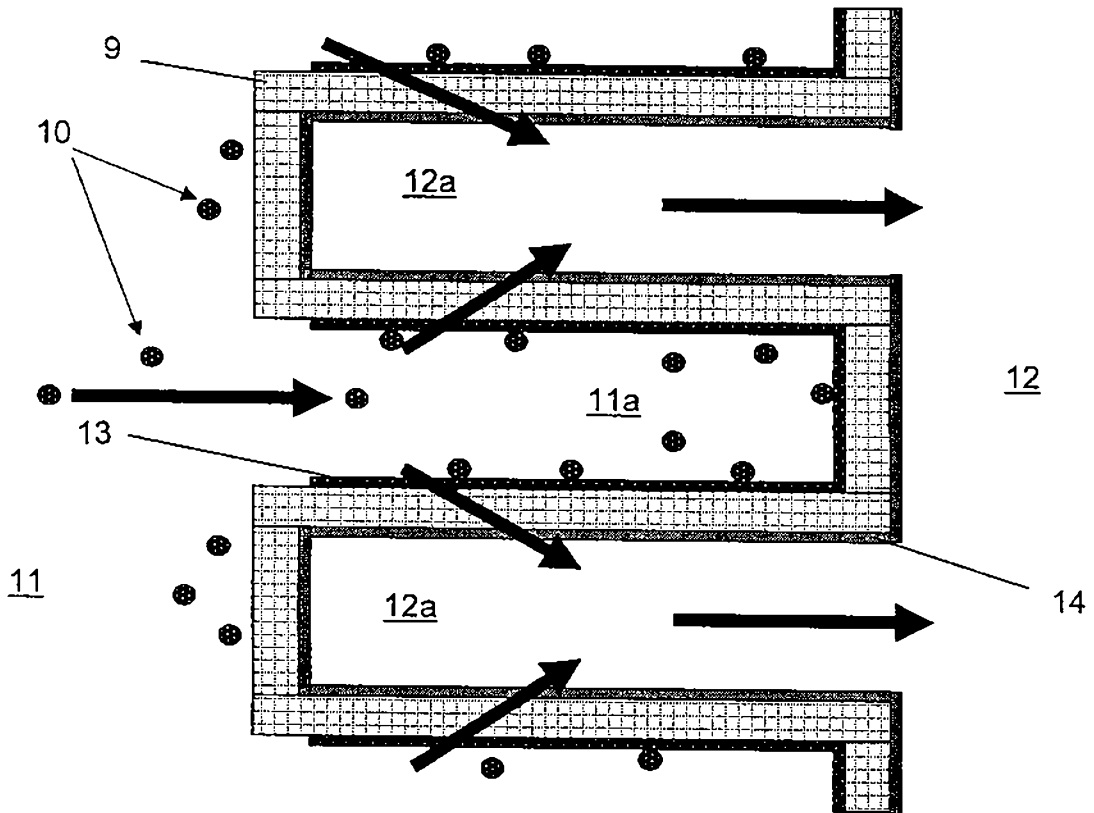


FIG.2

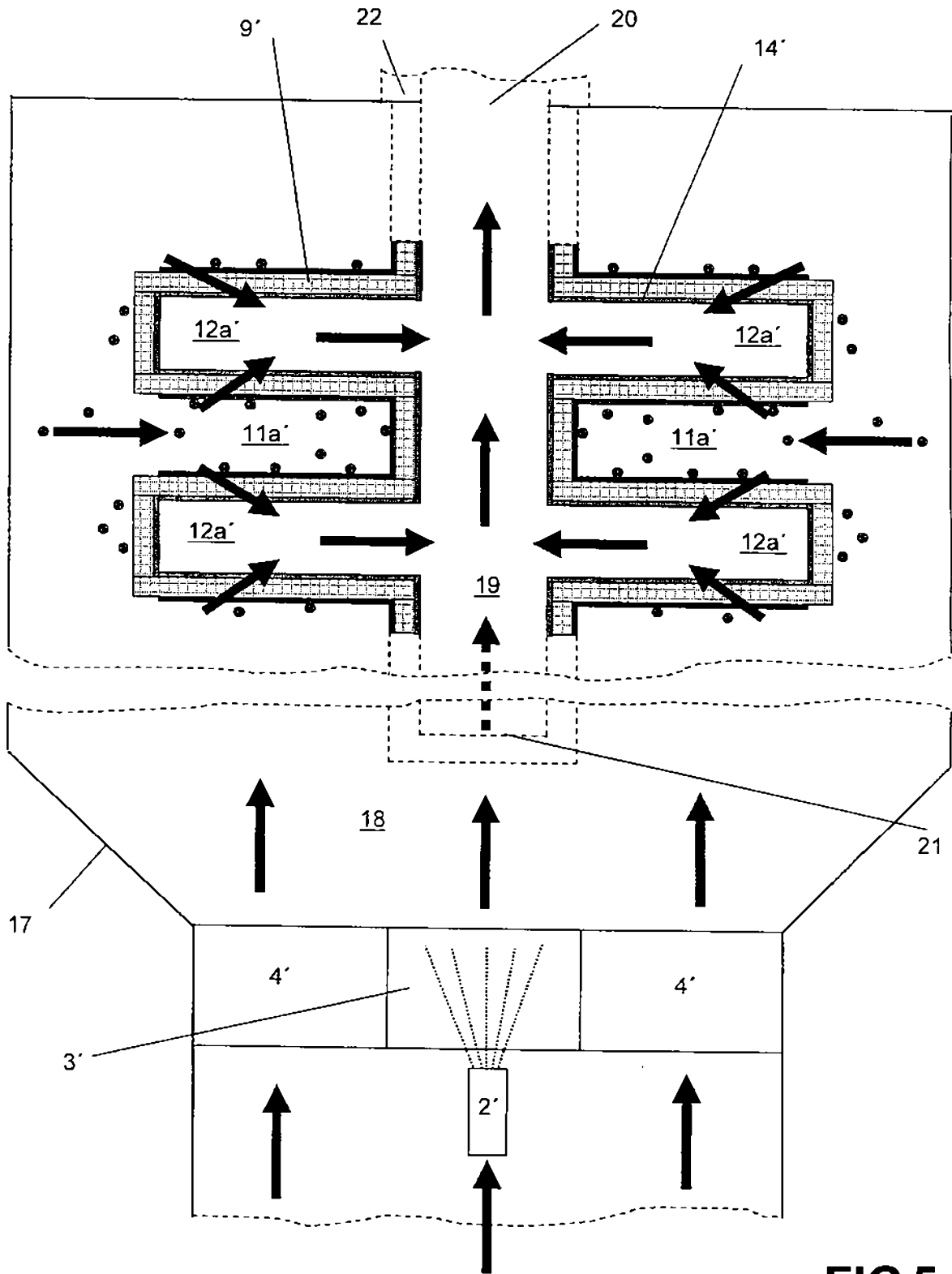


FIG.5