

(12) FASCÍCULO DE PATENTE DE INVENÇÃO

(22) Data de pedido: 2002.10.01	(73) Titular(es): VALTION TEKILLINEN TUTKIMUSKESKUS VUORIMIEHENTIE 5 02150 ESPOO FI
(30) Prioridade(s): 2001.10.02 FI 20011925	
(43) Data de publicação do pedido: 2004.06.30	(72) Inventor(es): ESA KURKELA FI MATTI NIEMINEN FI
(45) Data e BPI da concessão: 2007.08.01 118/2007	(74) Mandatário: MANUEL GOMES MONIZ PEREIRA RUA ARCO DA CONCEIÇÃO, N.º 3, 1º ANDAR 1100-028 LISBOA PT

(54) Epígrafe: **MÉTODO E APARELHO PARA GASEIFICAÇÃO DE COMBUSTÍVEL NUM REACTOR DE LEITO FLUIDIFICADO**

(57) Resumo:
MÉTODO E APARELHO PARA GASEIFICAÇÃO DE COMBUSTÍVEL NUM REACTOR DE LEITO FLUIDIFICADO

DESCRIÇÃO

MÉTODO E APARELHO PARA GASEIFICAÇÃO DE COMBUSTÍVEL NUM REACTOR DE LEITO FLUIDIFICADO

Esta invenção refere-se a um método para gaseificar combustível num fluxo de gás ascendente num reactor de leito fluidificado contendo partículas de material fluidificado sólido, compreendendo fornecimento de combustível na parte inferior do reactor e levando o gás final produzido na parte superior do reactor para um separador, por meio do qual as partículas sólidas são separadas do gás e são retornadas para o reactor. Além disso, a invenção refere-se a um aparelho de gaseificação para implementar o método.

Combustíveis adequados para gaseificação, biocombustíveis finamente divididos e resíduos tal como aparas de madeira, resíduos urbanos, matérias de embalagens, e resíduos plásticos. O gás final obtido pode ser utilizado em energia para fábricas substituindo os combustíveis de fábrica, tais como carvão vegetal, óleo ou gás natural.

Há dois principais tipos de reactores de leito fluidificados, um dos quais sendo baseado principalmente num leito fluidificado de borbulhação estática. O leito fluidificado de borbulhação consiste em partículas fluidificadas divididas grossas que se mantêm numa posição suportada por um fluxo de ar ascendente soprado para o espaço de reactor. A velocidade do fluxo de ar é tipicamente na ordem de 1 m/s. A concentração de matéria sólida é baixa num fluxo de gás acima de um leito de fluidificação de borbulhação claramente limitado. A temperatura do espaço de reactor acima do leito fluidificado num reactor de leito fluidificado de borbulhação

pode ser aumentada através de fornecimento adicional de ar ou reduzida através de injeção de água fria no fluxo de gás. Para aumentar a conversão de carvão vegetal, as partículas de pó presentes no fluxo de gás podem ser separadas com um ciclone independente, em que as partículas retornam para a parte inferior do espaço de reactor. "Gaseificadores Winkler" deste tipo são descritos na DE 195 48 324 A1 e DE 27 51 911 B2.

O segundo tipo principal de reactores de leito fluidificado é um leito fluidificado de circulação, em que as partículas fluidificadas sólidas crescem conjuntamente com o fluxo de ar soprado para o reactor. A velocidade do fluxo de ar, que tipicamente é da ordem de 5 m/s, é mais elevado e o tamanho das partículas fluidificadas é mais pequeno que as do reactor de leito fluidificado. As partículas fluidificadas são inclusas pelo gás final no ciclone, onde as partículas e o resíduo de carbonização que derivam do combustível são separadas e devolvidas para a parte inferior do espaço de reactor. Para obter o tempo necessário de retenção para a reacção de gaseificação, os reactores de leito fluidificado de circulação alcançaram uma altura substancialmente mais elevada que a dos reactores de leito fluidificado de borbulhação. Outras propriedades típicas de leitos de fluidificação de circulação são compreenderem uma temperatura igual e uma viscosidade relativamente igual à de suspensão de matéria sólida no espaço do reactor, sem uma característica de leito fluidificado claramente limitado de leitos de fluidificação de borbulhagem. Um processo de gaseificação de combustível típico com base em reactores de leito fluidificado de circulação é descrito na FI 62554 B.

Gaseificação de biomassas finamente divididas e resíduos contendo plásticos levadas a cabo com os métodos e equipamentos actuais envolve o problema da formação de compostos tal como alcatrão em abundância. Antes da combustão para fornecer energia às fábricas, o gás final é filtrado de modo a remover cinzas e metais pesados com filtros com temperatura de funcionamento compreendida entre 200 e 450°C. Para este propósito, o gás derivado do reactor numa temperatura compreendida entre 800 e 100 °C necessita de ser arrefecido, com um conversor de calor, sendo então os alcatrões condensados nas superfícies das condutas de gás, o conversor de calor e o filtro, ficam entupidos. Uma segunda fonte de problemas nos actuais processos de gaseificação é o cloro contido no combustível, tendo em consideração que o cloro encontra-se abundantemente presente, especialmente em resíduos plásticos ou combustíveis residuais semelhantes. O cloro reage com o cálcio usado como partículas fluidificadas ou inclusas pelo combustível, formando compostos, que também aderem às condutas de gás e aos conversores de calor causando o entupimento destes. Este processo tem sido observado para alcançar um máximo de modo a que quando o estiver gás final arrefecido esteja compreendido numa temperatura de aproximadamente 720 a 780 °C.

Os problemas acima mencionados foram detectados nos testes de gaseificação pelo requerente por meio de um reactor de leito fluidificado em relação a resíduos que continham resíduos de madeira, tais como aparas de madeira e plásticos em abundância, Com ambos os tipos de combustível há uma formação abundante de alcatrão apesar do facto de o combustível ter sido ministrado num leito de fluidificação de borbulhação. Parte do combustível rosa finamente dividido sem ser

gaseificado conjuntamente com o fluxo de ar na parte superior de espaço de reactor, que está quase totalmente livre de partículas fluidificadas. Com combustível contendo plástico a pirólise resulta em grandes quantidades de hidrocarbonetos pesados, que não tem tempo suficiente para desintegrar no leito fluidificado relativamente baixo. Estes compostos surgem da matéria sólida no reactor na parte superior vazia, onde a falta de superfícies de partículas de catalisação evitam que se desintegrem. Por este motivo, a expansão da secção transversal de fluxo da parte superior do gaseificador levada a cabo em vários gaseificadores de leito fluidificado conhecidos e a grande altitude do reactor não traz qualquer solução para o problema do alcatrão. Em testes conduzidos pelo requerente, a redução em concentração de alcatrão nas partículas fluidificadas na parte superior vazia do espaço de reactor a 900°C e com um atraso de 10 segundos era menos de 5% e as condutas de gás final foram entupidas devido à condensação de alcatrões e a compostos de cálcio/cloro presentes nos pós finamente divididos.

O requerente examinou também a gaseificação dos mesmos combustíveis com reactores de leito fluidificado. Nestes testes, o problema do alcatrão em aparas de madeira foi remediado através do uso de calcário ou dolomite como partículas fluidificadas, que catalisam a desintegração de alcatrão após terem sido calcionadas em óxido de cálcio. No entanto, continua a haver problemas causados por cal que é moída devido à elevada taxa de fluxo e o elevado consumo resultante de cal e aumento da quantidade de pó. Com combustíveis contendo cloro, a cal não é de grande utilidade, presumivelmente devido à reacção da libertação de HCl e partículas de cal, que desactivam estes combustíveis. Do

mesmo modo, o problema de entupimento das condutas de gás mantém-se devido aos compostos pegajosos cálcio/cloro. Num teste conduzido com resíduos de combustível, a conduta de gás final foi completamente entupida em 30 horas. Foi detectado no depósito cálcio e cloro em abundância. Nem é o problema devido ao material fluidificado usado, porque resíduo combustível contém cal suficiente para as condutas de gás a serem entupidos. Na US-A-5,658, 359 o problema foi resolvido ministrando de um modo separado o material grosso polido, tal como areia, no gás final, contudo isto ainda envolve o inconveniente dos custos acrescidos pelo equipamento adicional e a acção abrasiva de areia grossa nas condutas de gás e do conversor de calor.

A patente anterior do requerente FI 981817 A descreve um método de gaseificação que usa um reactor de leito de fluidificação de circulação, em que a matéria de leito consiste numa mistura de material duro e granulado e material já poroso e moído. O objectivo disto é alcançar uma situação, os metais alcalinos nas cinzas são ligados às partículas de cálcio divididas finamente e rapidamente passam através da circulação de ciclone fora do gaseificador. Nos exemplos da aplicação, o fluxo de gás ascendente tem a velocidade de 5 m/s, que é usual para um gaseificador de leito fluidificado de circulação e o pó separado pelo ciclone de circulação efectiva é recirculado no leito da areia grossa na parte inferior do leito. Deste modo, uma rápida moagem da cal circulada é melhorada e uma boa conversão de carbono é alcançada muito embora a uma temperatura relativamente baixa, tendo em conta que a matéria sólida de carbono que é circulada é devolvida para a zona oxidativa na parte inferior do reactor. O método descrito é adequado para materiais ricos

em alcalinos, em que o cloro é misturado com o sódio ou potássio no combustível. Por contraste, os testes conduzidos pelo requerente mostraram que materiais contendo um excesso de cloro em relação a sódio e potássio, tal como é frequentemente o caso de resíduos de combustíveis, é forte a formação de um depósito contendo cálcio e cloro no cano de gás seguido do ciclone.

A US-A-5 562 744 descreve tratamento de um processo de gás com impurezas tal como alcatrão num reactor contendo leito fluidificado de partículas sólidas. Algum material de leito fluidificado levado a cabo pelo processo de gás cresce no reactor é devolvido através de um dispositivo de arrefecimento centralmente posicionado. O gás limpo flui desde o topo do reactor até uma conduta de saída de gás. Material de leito fluidificado fino fresco é fornecido ao leito através uma conduta de alimentação superior e material de leito fluidificado grosseiro acumulado na porção inferior do reactor é removido através de uma conduta de saída. Não existe um separador exterior para separar partículas sólidas do gás de modo a que estas voltem para o reactor.

A WO-A-99/32583 descreve gaseificação de material combustível de carbono sólido num leito de fluidificação de circulação com partículas que passam duas câmaras de reacção. O material de carbono é fornecido a uma primeira câmara de reacção, enquanto um agente de gaseificação contendo oxigénio é principalmente alimentado por uma segunda câmara de reacção de carbonizar. Um gás final de carregamento de partícula é descarregado de uma primeira câmara de reacção, as partículas contendo carbonização são separadas e circuladas para a câmara de reacção de carbonização, em que as partículas

formam um leito de borbulhação fluidificada. Gás final da câmara de reacção de carbonização é útil como gás de fluidificar na primeira câmara de reacção e partículas da câmara de reacção de carbonização são recirculadas para a primeira câmara de reacção para fazer a pirólise ao combustível de carbono.

O propósito da invenção é providenciar uma solução para os problemas expostos acima, que permita que os problemas de sujidade e entupimento das condutas de gás e conversores de calor devido aos alcatrões e/ou compostos cálcio/cloro sejam evitados ou substancialmente aliviados enquanto que o consumo de material fluidificado sólido mantém-se moderado durante o processo. O método da invenção é caracterizado pelo facto de o fluxo de gás ser usado para manter no reactor um leito de fluidificação de borbulhação contendo partículas de material fluidificado grossas com um tamanho compreendido entre 0.2 e 1.5 mm e acima disto um leito de circulação contendo partículas de material fluidificado finamente dividido com um tamanho compreendido entre 50 e 300 μm , e por as partículas que foram separadas do gás final para circulação são devolvidas para a parte superior do leito de fluidificação de borbulhação do reactor ou acima deste. Consequentemente, a ideia central da invenção é manter um leito de fluidificação de borbulhagem e um leito de circulação em paralelo no processo, com estes leitos a operarem substancialmente separados sem se misturarem. Este modo alcança um processo óptimo, que combina os benefícios das duas soluções básicas: gaseificação de leito fluidificado de borbulhação e gaseificação de leito de fluidificação de circulação.

O leito de fluidificação de borbulhação no reactor inferior da invenção requer uma velocidade relativamente baixa, então um tempo de retenção adequado é alcançado num reactor que é substancialmente mais baixo que os dos reactores de leito de fluidificação de circulação. O combustível é gaseificado no leito fluidificado de borbulhação, desde onde o gás passa até ao leito de circulação superior, onde a circulação divide finamente as partículas fluidificadas tem uma superfície de partícula de catalização para degradação de alcatrão. Para dividir de um modo fino as partículas de circulação a serem fluidificadas, uma velocidade de fluxo baixa do leito de borbulhação é suficiente, providenciando um tempo de retenção adequado e uma diminuição de desintegração e formação de pó causada por colisão de partículas. A recirculação de partículas circuladas para o nível do bordo superior do leito de fluidificação de borbulhagem ou acima destes rendimentos o especial beneficio das partículas não tem de compensar a perda de elevada pressão na ordem de 50 a 200 mbar do leito de borbulhação, que é o caso de reactores de leito fluidificado de borbulhação convencionais, onde a recirculação ocorre na parte inferior do leito de borbulhação ou na parte inferior do espaço de reactor.

Resíduos contendo plástico e um número de biocombustíveis são tipicamente ricos em substâncias de evaporação e/ou resíduos de carbonização formados por este é extremamente reactivo. Por isto é que a gaseificação de leito de fluidificação excede os requeridos 95% de conversão de carbono, e assim não é essencial separar pós de ciclone com a precisão máxima e devolve-los para o leito de fluidificação tal como nos gaseificadores convencionais Winkler mencionados acima. Isto permite o limite de separação do separador a ser ajustado de

modo que partículas sólidas mais pequenas no gás final não sejam devolvidas para fazerem parte do leito de circulação no reactor, mas são deixadas no fluxo de gás final para serem arrefecidas, onde servem para substancialmente aliviar o problema de entupimento causado pelos compostos cálcio/cloro. Com o limite de separação de partículas sólidas no separador ser compreendido entre cerca de 50 e 70 μm , partículas sólidas de um tamanho de 10-70 μm são obtidas no fluxo de gás final, que diminui a proporção de componentes que aderem pegajosamente na matéria sólida do gás, misturando-os e evitando que material pegajoso adira às condutas de gás, o ao conversor de calor e ao filtro de gás. O leito de fluidificação de borbulhação pode ter um tamanho de partícula, por exemplo, compreendido entre 0.3 e 1.5 mm e com o limite de separação do separador mencionado acima, uma fracção pode ser devolvida para o leito de fluidificação cujo tamanho de partícula está compreendido entre 50 e 300 μm . Partículas da última ordem de magnitude ascendente no fluxo de gás, que tem velocidade igual ou inferior à do leito de borbulhação, preferivelmente, por exemplo, compreendido entre 1 e 1.5 m/s. O espaço superior do reactor contendo o leito de circulação pode dar uma maior largura que a parte inferior contendo o leito de borbulhação de modo que a expansão irá compensar o aumento de fluxo de gás gerado pela gaseificação e previne a aceleração de fluxo.

O material fluidificado fornecido ao reactor é uma substância inorgânica particulada, que pode ser inerte ou reactiva, não formando ainda gás final combustivo como faz combustível.

De acordo com a invenção, o reactor é fornecido com dois tipos de tamanho de partículas diferentes de modo a que

partículas grossas formem um leito de fluidificação de borbulhação no reactor e além disso partículas finamente divididas formem um leito de circulação. As partículas de material de fluidificação a serem adicionadas, que pode consistir em, por exemplo, areia, podem então ficar compreendidas na variação mencionada acima entre o leito de borbulhação e o leito de circulação. De modo opcional, o material fornecido pode consistir exclusivamente em partículas sólidas divididas grosso modo, por exemplo, na ordem de 0.3 a 1.5 mm, cujo material é friável, de modo a que esse material, após ter sido moído no leito de borbulhação, junta o fluxo de ar ascendente e assim forma material fluidificado no leito de circulação. Num leito de borbulhação e num leito de circulação, uma fracção de material sólido é ainda obtida da fracção fina formada, passando do separado para o fluxo de gás final, e esta fracção serve para evitar o entupimento das condutas de gás e o conversor de calor causado por cinzas pegajosas. Cal é uma material fluidificado em pó particularmente adequado, no entanto, óxido de magnésio e caulino são também utilizáveis.

De modo a minimizar o entupimento de condutas de gás, é também vantajoso providenciar um arrefecimento de gás final em duas etapas subsequentes com dois conversores de calor separados, o primeiro arrefece o gás para uma temperatura compreendida entre 600 e 720°C e o segundo para uma temperatura de 450°C ou menos. O primeiro conversor de calor passa o gás pela temperatura compreendida entre 720 e 780°C, que é crítica em termos de entupimento, tendo em conta que os componentes de cinza contendo cálcio e cloro perdem a sua capacidade de aderência, eliminando assim o risco de entupimento no segundo conversor de calor que opera a uma

temperatura baixa e o filtro de gás. O primeiro conversor de calor, por sua vez, tem preferencialmente dimensões largas de modo a que a taxa de fluxo de gás seja baixa, e os tubos de gás possam ser dispostos verticalmente, sendo assim o risco de adesão minimizado.

Uma medida adicional para também evitar o entupimento é alimentar um absorvente, tal como um sódio adequado, ou um composto de potássio ou cálcio no fluxo de gás final antes do conversor de calor de modo a ligar as partículas de cinza.

O aparelho de gaseificação da invenção implementa o método descrito acima compreende como elemento conhecidos por si só um reactor de leito de fluidificação, material fluidificado que consiste dm partículas sólidas, uma entrada de alimentação para produzir um fluxo de gás ascendente no reactor, uma entrada de alimentação de combustível, uma entrada de alimentação para introduzir material fluidificado no reactor, uma conduta de exaustão de gás que começa na parte superior do reactor, um separador para separar partículas de matéria sólida do gás final que deixou o reactor, e uma linha de retorno para devolver partículas separadas para reactor. De acordo com a invenção, o aparelho é caracterizado pelo facto de um leito de fluidificação de borbulhação contendo partículas de material fluidificado grossas com um tamanho compreendido entre 0.2 e 1.5 mm possa ser providenciado no reactor e acima disto, partículas, um leito de circulação contendo partículas de material fluidificado fino com um tamanho compreendido entre 50 e 300 μm pode ser providenciado, de modo que a linha de retorno para as partículas retornarem do separador para o reactor

terminem no nível superior do leito de fluidificação de borbulhação ou acima deste.

O espaço do reactor compreende preferivelmente uma parte inferior para o leito de fluidificação de borbulhação e uma parte superior mais larga em secção transversal para o leito de fluidificação. O rácio do diâmetro da parte superior para a parte inferior é mais apropriada compreendida entre 1.15 e 1.5. As partes podem ser espaçadas por uma porção cónica expandida, cujo ângulo cónico em relação ao eixo vertical do espaço do reactor é obtuso, preferivelmente menos que 10° e mais preferivelmente menos que 7° . Esta expansão evita que a taxa de fluxo de gás num leito de circulação de exceder o do leito de borbulhação.

O separador para separar as partículas sólidas que retornam para o leito de circulação do reactor das partículas finas permanecem no fluxo de gás consiste num ciclone. Um ciclone largo dimensionado para uma velocidade de fluxo baixa preferivelmente abaixo de 15 m/s pode ser usada, provocando perda de pressão baixa, preferivelmente menos que 15 mbar, Isto facilita o retorno de partículas do leito de circulação para o reactor e o gás final irá reter partículas sólidas que são capazes de varrer o pó das paredes da conduta de gás para ligar componentes de cinza adesiva pegajosa.

A invenção é explicada de um modo mais detalhado abaixo fazendo referência aos desenhos anexos, que exemplificam um aparelho de gaseificação da invenção compreendendo um leito de fluidificação de borbulhação e um leito de circulação superior.

O aparelho de gaseificação ilustrado no desenho compreende um reactor de leito fluidificado, que consiste numa parte inferior cilíndrica 2, uma parte de expansão cónica superior 3 e uma parte superior cilíndrica 4, tendo a parte superior 4 uma área de secção transversal maior que a parte inferior 2. No reactor 1, nas proximidades da sua parte inferior, há uma grade 5, sobre a qual ar de gaseificação ou vapor são fornecidos desde a entrada de alimentação 6. Na referida parte de reactor inferior 2, um leito de fluidificação de borbulhagem 7 é mantido suportado pelo fluxo de ar ascendente, o leito de fluidificação consiste em partículas sólidas fluidificadas finamente divididas com um tamanho acima de 0.2 mm, preferivelmente compreendido entre cerca de 0.3 e 1.5 mm.

O combustível finamente dividido para ser gaseificado, que consiste em biomassa, tal como serradura ou resíduos urbanos ou industriais, tais como resíduos de plástico, é fornecido através da entrada 8 para a parte inferior do reactor 2, no leito de fluidificação 7. O combustível é gaseificado no leito de fluidificação de borbulhação, de modo a que o gás formado passe para o fluxo de gás ascendente no espaço do reactor enquanto cinzas 9 são removidas da parte inferior do reactor.

Um leito de circulação é mantido com o fluxo de gás na parte expandida de modo cónico 3 do reactor de leito fluidificado 1 e na parte cilíndrica superior 4, as partículas sólidas fluidificadas neste leito de circulação mais pequeno que os do leito de fluidificação de borbulhação inferior 7, tendo preferivelmente um tamanho compreendido entre 50 e 300 μm . A expansão cónica 3 do espaço de reactor é preferivelmente

dimensionado com o aumento de uma superfície de secção transversal que corresponde ao aumento na quantidade de gás provocado pela gaseificação de combustível, de modo a que a velocidade do fluxo de gás ascendente no leito de borbulhação na parte inferior mais estreita 2 do reactor é o mesmo que no leito fluidificado de circulação na parte superior 4 do reactor, na ordem de 1 para 1.5 m/s. Estes parâmetros de operação podem ser ajustados por meio do ar de gaseificação e do fornecimento de combustível, e é ainda concebível que a velocidade de fluxo de gás no leito de circulação seja inferior à do leito de borbulhação.

O fluxo de gás final é conduzido desde a parte superior do espaço de reactor 1 através da conduta 10 para o ciclone de separação 11, que separa as partículas fluidificadas do fluxo de circulação para serem obtidas através da conduta 12 de volta para o reactor de leito fluidificado 1. A conduta de retorno 12 junta o espaço de reactor ao nível do bordo superior do leito fluidificado de borbulhação 7 tal como ilustrado no desenho. O leito fluidificado e o leito de circulação irão então ser separados um do outro sem misturarem de partículas fluidificadas entres os leitos. No entanto, na prática, a altura do leito de borbulhação 7 pode variar para outro tamanho, por outras palavras, o bordo superior do leito pode crescer momentaneamente um pouco acima da extremidade da conduta de retorno 12, ou de acordo, baixar ligeiramente abaixo deste. No entanto, é essencial que as partículas de circulação retornem para o reactor 1 compensando com o seu peso na conduta 12 apenas a perda de pressão que ocorre no leito de circulação e o ciclone, mas não uma perda substancial de grande de pressão que ocorre no leito de borbulhação, que poderia ser o caso, devendo as

partículas de circulação serem ministradas ou ministradas por baixo do leito de borbulhação.

O desenho mostra duas entradas de abastecimento 13, 14 para partículas fluidificadas para serem introduzidas no processo, de modo que as partículas mais grossas do leito de borbulhação 7 possam ser introduzidas no fornecedor de combustível 8 e partículas finas do leito de circulação possam ser introduzidas na entrada de retorno 12 do fluxo de circulação. As partículas a serem introduzidas podem ser, por exemplo, fracções de areia, cujo tamanho de partícula é diferente na curva de borbulhação. Por outro lado, material fluidificado friável tal como cal pode também ser usada, que, quando dividido em pequenos pedaços no leito de borbulhação 7, produz as partículas fluidificadas divididas mais finas no leito de circulação. Nesse caso, pode ser o suficiente se materiais fluidificados forem ministrados apenas ao leito de borbulhação 7 através da entrada 13. O leito de circulação pode de modo opcional ser fornecido com ar secundário subindo a sua temperatura através da entrada 15 ou água de arrefecimento ou vapor baixando a temperatura através da entrada 16, nas proximidades da parte superior do espaço de reactor.

O ciclone 11 tem a tarefa de separar as partículas fluidificadas do leito de circulação que retorna para o reactor 1 do fluxo de gás final, que é conduzido através das condutas 17, 18 para ser arrefecido em dois conversores de calor sucessivos 19, 20. O fluxo de gás removido do ciclone 11 para a conduta 17 tipicamente tem a temperatura na ordem de 800 a 1000°C e é arrefecido para uma temperatura compreendida entre 600 e 720°C com o primeiro conversor de

calor 19 na direcção do fluxo. Arrefecendo abaixo da temperatura compreendida entre 720 e 780 °C, o que é problemático em termos de adesão de partículas de cinza e entupimento causado por isto, irá ocorrer no tubo do conversor de calor 19, que é posicionado adequadamente de um modo vertical e foram dadas dimensões suficientemente largas e em que a velocidade de fluxo de gás é baixo, por exemplo, aproximadamente 4 m/s. Com o limite de separação de partícula no ciclone 11 a ser cerca de 50 a 70 µm, partículas sólidas do tamanho de 10-70 µm irão permanecer no fluxo de gás final e terão um impacto essencial na ligação de cinzas e evitar entupimentos. Além disso, um solvente tal como compostos de cálcio, sódio ou potássio reagem com o cloro podem ser ministrados ao conversor de calor 19 através da entrada 21. Se necessário, água fria ou vapor podem também ser ministrados no fluxo de gás no conversor de calor 19. O conversor de calor 19 actua em simultâneo como separador para remover cinzas voadoras para a saída 22.

No conversor de calor 20 que é segundo na direcção de fluxo, o fluxo de gás é arrefecido a uma temperatura de 450 °C ou menos. O gás final arrefecido continua até o filtro 23, cuja temperatura de operação está compreendida entre 200 a 450 °C e a partir da qual o gás final purificado é queimado para a conduta 24 e a fracção de pós mais fina separada é removida para a saída de descarga 25.

É concebível que a conduta de retorno 12 para fluxo de circulação junta-se ao espaço de reactor no ponto mais elevado que o mostrado no desenho e as partículas de circulação a serem ministradas na parte de expansão cónica 3 do reactor, ou ainda para a parte superior do reactor 4.

Então o leito de borbulhação 2 e o leito de circulação irão operar de um modo completamente independente um do outro, sem as partículas serem, mesmo que momentaneamente misturadas na interface do leito.

A operacionalidade do processo da invenção foi confirmada com um equipamento piloto de aproximadamente 600kW, que realizou no total 460 horas de testes de gaseificação em combustível reciclado de resíduos domésticos e nas misturas de madeira e combustível reciclado. O aparelho piloto compreende todos os componentes essenciais da invenção. Um leito fluidificado sólido consiste em material de leito grosso foi mantido na parte inferior do gaseificador de leito fluidificado e acima disto um leito de circulação que consiste em areia fina, cal e partículas de cinza foi mantido. O gás final foi conduzido através de um ciclone amplamente dimensionado, em que o gás no tubo de entrada tem uma taxa de fluxo inferior a 15 m/s e o material de leito separado pelo ciclone retorna através da entrada de retorno do tubo localizado acima do leito fluidificado do gaseificador. A diferença de pressão entre o ciclone e a linha de circulação foi de menos que 5 mbar e a circulação actuou com segurança durante os ensaios e durante os testes de gaseificação, não houve nem um único problema causado por entupimento da conduta de retorno para cinzas de ciclone, que é típico de leitos fluidificados de borbulhação convencionais.

Após o ciclone, o gás final e as partículas que têm um tamanho de 0 a 70 μm arrastado pelo gás através do ciclone que passa primeiramente através do primeiro conversor de calor. Este conversor de calor contém tubos de conversão de calor verticais, e o gás corrido da parte superior na

direcção da parte inferior. O gás foi arrefecido para uma temperatura de aproximadamente 550 °C neste conversor de calor, que foi desenhado correctamente em termos de prevenção de entupimentos. Devido ao desenho do conversor de calor, a partícula adequada carregada do gás final e ao nível de temperatura adequada (abaixo dos 600 °C) o entupimento da linha de gás foi completamente evitada, que causou problemas nos testes o requerente realizou previamente com leito fluidificado de borbulhação convencional e gaseificadores de leito fluidificado de circulação. Após o primeiro conversor de calor, o gás foi arrefecido para a temperatura de operação de filtro numa unidade de conversão de calor convencional, que compreende tubo de conversor de calor horizontal. Nalguns períodos, hidróxido de cálcio finamente dividido foi injectado no gás final antes do filtro de modo a melhorar a retenção de cloro que ocorreu com a ajuda de cal de leito e metais alcali contidos no combustível. O filtro compreende filtros de fibra reforçados com cerâmica, que resiste a uma temperatura de cerca de 500 °C. O filtro foi usado a uma temperatura de cerca de 400 °C.

O combustível reciclado dos exemplos de 1 a 2 representam substancia de combustível reciclado de fraca qualidade, que é derivado exclusivamente de resíduos domésticos. Na prática, detritos de embalagens e madeira de lojas e comércio estão também usualmente disponíveis em fábricas de gaseificação, estes detritos tem uma melhor qualidade de composição que os detritos domésticos sendo assim adequados para um processo de gaseificação avançado. É óbvio para os que são técnicos na arte que a implementação da invenção não se encontra restrita para os combustíveis exemplificados, pelo contrário, a invenção pode utilizar vários detritos e biocombustíveis, que

tenham as características comuns de uma grande quantidade de substâncias de evaporação e a presença de uma substância que gera cloro ou outros depósitos de alcatrão.

Exemplo 1

O equipamento piloto foi usado para gaseificação de combustível reciclado triturado preparado de resíduos domésticos com uma humidade de 26% e a seguinte composição elementar de matéria seca: C: 50.2%, H: 6.8%, N: 1.1%, S:0.2%, CI: 0.70%, O:26.2% e cinzas 14.8%. O combustível foi desintegrado para partículas com um tamanho abaixo de 20 mm. O material de leito no gaseificador consiste numa mistura de areia e pedra calcária. Nenhum solvente de remoção de cloro foi injectado na conduta de gás final antes do filtro, a retenção de cloro baseia-se nos metais alcalis de combustível apropriado e cálcio de leito. O tamanho de partícula de areia foi seleccionado de modo a que a parte da areia permaneça no leito inferior e parte foi capturada no fluxo de circulação acima do leito. Pedra calcária foi ministrada conjuntamente com areia no leito, que por sua vez foi caucionada e moída entrando no fluxo de circulação e eventualmente alcançando a conduta de gás com o gás final num estado de pó fino.

As condições de gaseificação e os resultados são mostrados na seguinte tabela. A conversão de carbono da gaseificação foi acima de 98% e 96.3% de cloro no combustível foi principalmente retido nos pós voadores. Todos os metais pesados, excepto mercúrio, foram retidos com um grau de separação acima de 99% nos fluxos de cinza do gaseificador.

Exemplo 2

O exemplo 2 foi conduzido da mesma forma que no exemplo 1, excepto a média de humidade do combustível reciclado de resíduos domésticos que era de 23% e a composição elementar de matérias secas era como se segue: C: 49.0%, H: 6.6%, N: 1.1%, S: 0.2%, Cl: 0.61% O:26.6% e cinzas 15.9%. O material de leito no gaseificador consiste na mesma mistura tal como no exemplo 1. Para melhorar a retenção de cloro, o solvente de remoção de cloro foi injectado na conduta de gás final antes do filtro. Esta gaseificação foi também conduzida com sucesso com bons resultados, que aparecem da seguinte tabela. A conversão de carbono excedeu os 98%, o grau de retenção de cloro foi de 96.9% e a eficiência de separação de metais pesados excedeu 99%. A diferença de pressão entre o conversor de calor e a conduta de gás permanece constante.

A gaseificação nos exemplos 1 e 2 foi levada a cabo como parte de um teste extenso de 200 horas, que mostrou que o processo operado de um modo seguro e eficiente não levou a cabo formação de depósitos na linha de gás final ou no conversor de calor. A diferença de pressão entre o conversor de calor e a conduta de gás permanece constante através do teste, a uma pressão abaixo de 2 mbar.

Exemplo 3

No exemplo 3, o gaseificador teve a trabalhar um período total de 80 horas. Neste exemplo, o combustível consiste numa mistura de madeira seca e combustível reciclado preparado de detritos domésticos, em que a proporção de madeira era de cerca de 30% por peso e a proporção de combustível reciclado

era de 70% por peso. A média de humidade da mistura era de 19% e a composição elementar de matéria seca era como se segue: C: 49.4%, H: 6.5%, N:0.8%, S: 0.1%, CI: 0.57%, O:31.9% e cinzas 10.7%. o material de leito no gaseificador consiste numa mistura de areia e cal. Nenhum solvente de remoção de cloro foi injectado na conduta de gás final. Também nenhuma medidas de cloro ou metais pesados foram feitas, mas ao invés, o teste focou-se na determinação do desempenho do gaseificador com uma mistura de madeira e combustível reciclado. A operação do aparelho era também boa com esta mistura de combustível, e apesar de uma reactividade certa forma baixa da madeira comparada com o combustível reciclado, a conversão de combustível continuava a ser de 97.5%. Não foram formados depósitos no conversor de calor ou nas condutas de gás e a perda de pressão permanece constante. As condições e resultados são indicados na seguinte tabela.

Tabela

Exemplo	1	2	3
Combustível	100% REF	100% REF	70%REF + 30% madeira
Mistura de combustível, m %	26	23	19
Fornecimento de combustível, g/s	34.0	34.6	33.0
Duração de ensaio, h	54	29	10
Temperatura média de leito fluidificado baixo, °C	835	849	858
Temperatura média de leito fluidificado alto, °C	868	871	874
Temperatura de gás após o primeiro conversor de calor, °C	550	560	520
Temperatura de operação do filtro, °C	420	420	420
Material de leito gaseificador, fluxo de massa g/s	Areia + cal 4.5	Areia + cal 5.1	Areia + cal 5.6
Cloro de remoção de absorvente, fluxo de massa g/s	–	Ca(OH) ₂ 0.4	–
Fornecimento de ar, g/s	64.1	63.9	62.0
Fornecimento de vapor,	4.3		

g/s		4.3	4.9
Fluxo de gás final, m ³ n/h	315	320	300
Taxa de fluxo de gás, m/s	1.2	1.2	1.3
Na parte inferior do leito sólido na parte superior do gaseificador	1.1	1.1	1.0
Composição de gás, volume%			
CO	4.2	4.6	5.9
CO ₂	13.1	13.0	14.2
H ₂	4.8	4.9	6.5
N ₂ (+Ar)	48.6	48.0	45.8
CH ₄	2.9	2.9	3.0
C ₂ -C ₅ Hy	1.7	1.5	1.4
C ₆ H ₆ + alcatrões	0.5	0.5	0.5
H ₂ S	0.02	0.02	nd
COS	0.001	0.001	nd
NH ₃	0.3	0.3	0.3
H ₂ O	23.9	24.1	22.1
LHV de gás final, MJ/m ³ n	3.9	3.9	4.3
Conversão de carbono, % por w. de carbono de combustível	98.4	98.4	97.5
Conteúdo de carbono, % por w. das cinzas da parte inferior	<0.5	<0.5	<0.5
Conteúdo de carbono das cinzas voadoras, %			

por w.	6.1	7.9	10.9
Qualidade de carbono (saída/entrada) equilibrado de substância			
Oxigénio	1.00	1.00	1.00
Cinzas	0.97	0.98	1.00
	1.02	0.97	0.91
Retenção de cloro, % de conteúdo HCl de cloro de combustível de gás final após filtração, volume ppm	96.3	96.9	nd
	70	40	nd
nd - não determinado			

29-10-2007

REIVINDICAÇÕES

1. Método para gaseificar um combustível num fluxo de gás ascendente num reactor de leito fluidificado (1) contendo partículas de material fluidificado sólido, compreendendo o fornecimento de combustível (8) na parte inferior do reactor que leva o gás final (10) formado pela parte superior do reactor para um separador (1), por meio do qual partículas sólidas são separadas do gás e são devolvidas para o reactor (12), caracterizado por o fluxo de gás ser usado para manter no reactor (1) um leito fluidificado de borbulhação (2, 7) contendo partículas de material fluidificado grosso com um tamanho compreendido entre 0.2 e 1.5 mm e acima disto um leito (4) contendo partículas de material fluidificado finamente dividido com um tamanho compreendido entre 50 e 300 μm e por as partículas que foram separadas do gás final para circulação retornem para a parte superior do leito de fluidificação de borbulhagem do reactor ou acima deste.

2. Método como definido na reivindicação 1, caracterizado por o leito de fluidificação de borbulhação (1) conter partículas de material fluidificado que têm um tamanho compreendido entre 0.3 e 1.5 mm.

3. Método tal como definido em qualquer uma das reivindicações precedentes, caracterizado por o gás final (17) removido do separador (1) conter partículas sólidas com um tamanho compreendido entre 10 e 70 μm .

4. Método tal como definido em qualquer uma das reivindicações precedentes, caracterizado por a taxa de fluxo de gás no leito de circulação ser igual ou inferior ao do leito de borbulhação.

5. Método tal como definido na reivindicação 4, caracterizado por a taxa de fluxo de gás no leito de circulação estar compreendido entre 1 e 1.5 m/s.

6. Método tal como definido em qualquer uma das reivindicações precedentes, caracterizado por o reactor ser alimentado com partículas de material fluidificado grossas (13) que terminam no leito de fluidificação de borbulhação e também partículas de material fluidificado finamente dividido (14) que terminam no leito de fluidificação de circulação.

7. Método tal como definido em qualquer uma das reivindicações da 1-5, caracterizado por o reactor (1) ser alimentado com partículas de material fluidificado com um tamanho compreendido entre 0.3 e 1.5 mm e um material friável, de modo a que a desintegração das partículas resulte na passagem das partículas do leito de fluidificação de borbulhação para o leito de fluidificação de circulação.

8. Método tal como definido na reivindicação 7, caracterizado por as partículas a serem adicionadas serem as partículas de cal.

9. Método tal como definido em qualquer uma das reivindicações precedentes, caracterizado por o combustível (8) ser ministrado através do leito de fluidificação de borbulhação.

10. Método tal como definido em qualquer uma das reivindicações precedentes, caracterizado por o separador ser um ciclone (11), em que a linha de separação entre as partículas sólidas é aproximadamente compreendida entre 50 e 70 μm .

11. Método tal como definido em qualquer uma das reivindicações precedentes, caracterizado por o gás final (17) removido do separador (11) ser conduzido para um conversor de calor (19) onde o gás é arrefecido para uma temperatura compreendida entre 600 e 720°C e subsequentemente para outro conversor de calor (20), onde o gás é também arrefecido para uma temperatura de 450 °C ou menos, seguido de uma filtração (23) do gás final.

12. Método tal como definido na reivindicação 11, caracterizado por um solvente (21) para ligar partículas de pó ser adicionado ao gás final no primeiro conversor de calor (19).

13. Método tal como definido em qualquer uma das reivindicações precedentes, caracterizado por o combustível (8) a ser gaseificado ser uma biomassa finamente dividida, tal como polpa de madeira.

14. Método tal como definido em qualquer uma das reivindicações da 1-12, caracterizado por o combustível (8) a ser gaseificado conter plástico.

15. Método tal como definido em qualquer uma das reivindicações da 1-12, caracterizado por o combustível (8) a ser gaseificado conter cloro.

16. Aparelho de gaseificação adequado para o método definido em qualquer uma das reivindicações precedentes, compreendendo um reactor de leito fluidificado (1), material fluidificado que consiste em partículas sólidas, uma entrada de abastecimento (6) para gerar um fluxo de gás ascendente no reactor, uma entrada de abastecimento de combustível (8) uma

entrada de abastecimento (13, 14) para adicional material fluidificado ao reactor, uma conduta de gás queimado (10) que começa na parte superior do reactor, um separador (11) para separar partículas sólidas do gás final removido do reactor, e uma linha de retorno (12) para retornar as partículas separadas para o reactor, caracterizado por um leito fluidificado de borbulhação (7) contendo partículas de material fluidificado grossas com um tamanho compreendido entre 0.2 a 1.5 mm pode ser providenciado no reactor (1) e acima deste um leito de circulação contendo mais partículas de material fluidificado finamente dividido com um tamanho compreendido entre 50 e 300 μm , a linha de retorno (12) para partículas retornadas do separador para o reactor termina ao nível da parte superior do leito de fluidificação de borbulhação ou acima deste.

17. Aparelho tal como definido na reivindicação 16, caracterizado por o reactor compreender uma parte inferior (2) para o leito fluidificado (7) e uma parte superior (4) grande em secção transversal para o leito fluidificado de circulação.

18. Aparelho tal como definido na reivindicação 16 ou 17, caracterizado por o separador ser um ciclone (11).

19. Aparelho tal como definido em qualquer uma das reivindicações da 16 á 18, caracterizado por compreender dois conversores de calor (19, 20) em sucessão na direcção de fluxo para um arrefecimento gradual do gás final levando-o do separador (11) e um filtro (23) para filtrar o gás final arrefecido.

