



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

**(11) PI 0924263-5 B1**



**(22) Data do Depósito: 23/12/2009**

**(45) Data de Concessão: 06/07/2021**

**(54) Título:** SISTEMA DE COMPRESSÃO DE MÚLTIPLOS ESTÁGIOS

**(51) Int.Cl.:** F04D 17/12; F04D 25/06; F04D 27/02; F04D 29/58.

**(30) Prioridade Unionista:** 30/01/2009 GB 0901576.9.

**(73) Titular(es):** GARDNER DENVER DEUTSCHLAND GMBH.

**(72) Inventor(es):** JOUKO TAPANI PEUSSA.

**(86) Pedido PCT:** PCT EP2009009284 de 23/12/2009

**(87) Publicação PCT:** WO 2010/086009 de 05/08/2010

**(85) Data do Início da Fase Nacional:** 29/07/2011

**(57) Resumo:** APERFEIÇOAMENTOS EM COMPRESSORES CENTRÍFUGOS DE MÚLTIPLOS ESTÁGIOS A presente invenção refere-se a um compressor centrífugo de múltiplos estágios aperfeiçoado (10) compreendendo pelo menos quatro estágios de compressão centrífuga (11, 12, 13, 14), cada um incluindo um im-pulsor. Os impulsoradores de um par de estágios (12, 13) são monta-dos em um primeiro eixo (23) acoplado a um primeiro motor de acionamento direto de alta velocidade (16), e os impulsoradores de outro par de estágios (11, 14) são montados em um segundo eixo (24) acoplado a um segundo motor de acionamento direto de alta velocidade (15). A velocidade do primeiro e do segundo motores é controlada por pelo menos um acionador (25) de modo que os impulsoradores sejam todos acionados na mesma velocidade.

Relatório Descritivo da Patente de Invenção para "**SISTEMA DE COMPRESSÃO DE MÚLTIPLOS ESTÁGIOS**".

[0001] A presente invenção refere-se a aperfeiçoamentos nos compressores centrífugos de múltiplos estágios e, em particular, a um compressor centrífugo de múltiplos estágios aperfeiçoado.

[0002] Compressores dinâmicos de velocidade variável, tal como compressores centrífugos, têm sido utilizados para comprimir ar, ou outros gases, desde 1960. Compressores centrífugos, que compreendem um conjunto cilíndrico de lâminas de compressor montado em um eixo geométrico para formar o impulsor, são utilizados em uma ampla variedade de campos por várias razões. São geralmente eficientes em termos de energia, necessitam de pouca manutenção visto que possuem poucas partes móveis, e normalmente fornecem um fluxo de ar maior do que um compressor alternado de tamanho similar. A desvantagem principal dos compressores centrífugos é que geralmente os mesmos não alcançam altas razões de compressão dos compressores alternados sem múltiplos estágios, apesar de os compressores centrífugos de múltiplos estágios poderem alcançar pressões de descarga significativas.

[0003] O desempenho de um compressor centrífugo é expresso em termos de velocidade de impulsor, altura total e fluxo volumétrico necessário. Em compressores centrífugos a razão de pressão, que é a razão da pressão de ar que sai do compressor para a pressão de ar que entra no compressor, é proporcional à velocidade do impulsor. A eficiência de estágio correlaciona com a velocidade específica que é definida como a velocidade de um compressor ideal geometricamente similar ao compressor real que, quando está funcionando nessa velocidade aumentará uma unidade de volume, em uma unidade de tempo através de uma unidade de altura. A velocidade específica ( $N_s$ ) pode ser calculada a partir da fórmula a seguir:

$$N_s = (N \cdot \sqrt{Q}) / H^{0,75}$$

em que:

N = velocidade de rotação do impulsionador (rpm) Q = fluxo volumétrico (1/m)

H = altura manométrica total (m).

[0004] A figura 1 ilustra uma representação da eficiência contra velocidade para uma faixa de compressores centrífugos indicando que existe uma velocidade específica ideal, com a eficiência degradando em velocidades específicas alta e baixa.

[0005] Os compressores centrífugos da técnica anterior utilizados em aplicações de ar industriais são tipicamente compressores de dois ou três estágios. A fim de se alcançar a razão de pressão necessária, a eficiência geral pode ser aperfeiçoada com o resfriamento intermediário entre os estágios visto que o trabalho específico (w), isto é, o trabalho por fluxo de massa unitária por estágio pode ser calculado pela seguinte fórmula:

$$w = R_1 \cdot T_1 \cdot \left( \frac{n}{n-1} \right) \cdot (Pr^{(n-1)/n-1})$$

em que:

$R_1$  = calor específico do gás a uma pressão constante (J/kg.K)

$T_1$  = temperatura de entrada (K)

n = a razão do calor específico do gás em uma pressão constante e calor específico do gás a um volume constante

Pr = razão de pressão

[0006] Ignorando pequenas mudanças no calor específico ( $R_1$ ), pode ser observado que o trabalho específico geral (w) é menor para a compressão em dois estágios com o resfriamento de volta para perto da temperatura de entrada ( $T_1$ ) na entrada do segundo estágio, do que para compressão em um estágio único. De forma similar, o trabalho es-

pecífico ( $w$ ) para a compressão de três estágios com resfriamento intermediário é menor do que para a compressão de dois estágios.

[0007] À medida que o ar ou o gás é comprimido em cada estágio, o fluxo volumétrico ( $Q$ ) reduzirá proporcionalmente à razão de pressão de estágio ( $P_r$ ). Se a elevação de altura for dividida igualmente através dos estágios, então a velocidade específica ( $Ns_2$ ) do segundo estágio será menor do que a velocidade específica ( $Ns_1$ ) do primeiro estágio. De forma similar, a velocidade específica do terceiro estágio ( $Ns_3$ ) será menor do que a velocidade específica ( $Ns_2$ ) do segundo estágio. Tipicamente, a velocidade específica do segundo estágio ( $Ns_2$ ) estará na faixa de eficiências de alto estágio visto que a faixa de velocidades específicas com boa eficiência é suficientemente ampla nessa faixa de compressores. É possível que a eficiência do terceiro estágio seja inferior ao ideal se a velocidade específica for suficientemente baixa (vide figura 1).

[0008] Os compressores centrífugos de três estágios da técnica anterior frequentemente possuem os impulsionadores de primeiro e segundo estágios em um eixo e o impulsionador de terceiro estágio em um segundo eixo. Uma caixa de engrenagem é disposta para acionar cada eixo em, ou perto, da velocidade ideal.

[0009] Um exemplo de tal disposição é descrito em US-B-6488467.

[00010] Mais recentemente, no entanto, acionadores diretos têm sido empregados em compressores centrífugos, por exemplo, como descrito em EP-A-1319132 e EP-A-1217219. Caixas de engrenagem não são utilizadas em compressores de acionamento direto e, logo, a velocidade de cada estágio pode ser otimizada pela utilização de motores individuais e acionadores como ilustrado, por exemplo, em US-A-20070189905. A desvantagem de tais sistemas é que os motores individuais e acionadores são caros e exigem sistemas de controle complexos para controlar os múltiplos motores/acionadores.

[00011] É, portanto, um objetivo da presente invenção fornecer um compressor de múltiplos estágios aperfeiçoado que possua uma eficiência aperfeiçoada.

[00012] A invenção, portanto, compreende um sistema de compressão de múltiplos estágios compreendendo pelo menos quatro estágios de compressão centrífuga, cada um incluindo um impulsionador, onde os impulsionadores de um par de estágios são montados em um primeiro eixo acoplado a um primeiro motor de acionamento direto de alta velocidade, e os impulsionadores de outro par de estágios são montados em um segundo eixo acoplado a um segundo motor de acionamento direto de alta velocidade, a velocidade dos primeiro e segundo motores sendo controlada por pelo menos um acionador de modo que os impulsionadores sejam todos acionados na mesma velocidade.

[00013] Essa disposição tem a vantagem de o sistema de compressão poder ser simplificado em termos de número de acionamentos sem comprometer as eficiências do estágio.

[00014] A invenção será descrita agora, por meio de exemplo apenas, com referência aos desenhos em anexo, nos quais:

[00015] A figura 1 é um gráfico ilustrando a eficiência de um compressor centrífugo versus velocidade específica;

[00016] A figura 2 é uma representação esquemática de uma modalidade da invenção; e

[00017] A figura 3 é uma representação esquemática de outra modalidade da invenção.

[00018] Como ilustrado na figura 2, um compressor centrífugo de três estágios 10 compreende dois primeiros estágios 11, 12 montados em paralelo um ao outro, e um segundo estágio 13 e um terceiro estágio 14, cada um conectado em série. Dessa forma, o fluido a ser comprimido é dividido igualmente através das entradas de fluido para os dois primeiros estágios 11, 12 e é comprimido simultaneamente. O fluido

descarregado nas saídas de fluido dos dois primeiros estágios 11, 12 é então recombinação antes de passar para a entrada de fluido do segundo e então do terceiro estágio. Os estágios 11/12, 13, 14 são acionados por um par de motores de alta velocidade e acionamento direto 15/16.

[00019] Os quatro impulsionadores são montados em dois eixos 23, 24 que são acionados por dois motores de acionamento direto de alta velocidade 15, 16. O impulsionador do segundo estágio 13 é montado no mesmo eixo de acionamento 23 que o impulsionador de um dos primeiros estágios 12. O impulsionador do terceiro estágio 14 é montado no mesmo eixo 24 que o impulsionador do outro primeiro estágio 11. A velocidade dos motores 15, 16 é controlada por uma única frequência variável ou outro acionador ou controlador 25 e, dessa forma, todos os quatro impulsionadores são acionados na mesma velocidade. Mais que um acionador 25 ou controlador pode ser utilizado, caso no qual todos os quatro impulsionadores ainda serão acionados na mesma velocidade.

[00020] O fluido a ser comprimido é puxado para dentro dos impulsionadores dos dois primeiros estágios paralelos 11, 12. As correntes de fluido comprimido descarregadas a partir de dois primeiros estágios 11, 12 são passadas através de um resfriador intermediário 21 e combinadas antes de serem puxadas para dentro do impulsionador do segundo estágio 13. O fluido descarregado a partir do segundo estágio 13 é passado através de um segundo resfriador intermediário 22 antes de ser puxado para dentro do impulsionador do terceiro estágio 14. O fluido descarregado a partir do terceiro estágio 14 é finalmente passado depois do resfriador 26 antes de ser descarregado para uso. As duas correntes de fluido de primeiro estágio comprimido podem ser combinadas antes ou depois de passarem através do primeiro resfriador intermediário 21.

[00021] Essa configuração com a divisão do primeiro estágio 11/12

tem a vantagem de o custo, a complexidade e a probabilidade de uma operação ruim associada com os acionadores e motores adicionais serem muito reduzidos. A eficiência de cada estágio 11/12, 13, 14 pode estar perto do ideal visto que a faixa de velocidade específica através dos três estágios 11/12, 13, 14 é relativamente pequena.

[00022] Por exemplo, se a razão de pressão geral ( $P_r$ ) for 8, e com elevação de pressão igual através de cada estágio 11/12, 13, 14, a velocidade específica ( $N_{s1}$ ) de cada um dos primeiros estágios 11, 12 será proporcional a  $\sqrt[3]{(Q/2)}$ , onde  $Q$  é o fluxo volumétrico total através do compressor na entrada e cada primeiro estágio 11, 12 comprime 50% do fluxo. A velocidade específica ( $N_{s2}$ ) do segundo estágio 13 será proporcional a  $\sqrt[3]{(Q/2)}$  e a velocidade específica ( $N_{s3}$ ) do terceiro estágio 14 será proporcional a  $(Q/4)^{0,5}$ .

[00023] Em uma modalidade alternativa da presente invenção, um quarto estágio é adicionado, que permite que o compressor 10 alcance pressões mais altas do que a modalidade previamente descrita. Como ilustrado na figura 3, existe apenas um primeiro estágio único 12 e um terceiro resfriador intermediário 27 é localizado entre o terceiro estágio 14 e o quarto estágio 28. O resfriador intermediário adicional 27 ajuda a otimizar a eficiência da compressão termodinâmica pela manutenção de baixas temperaturas na entrada para o quarto estágio 28.

[00024] Nessa disposição, os impulsadores do primeiro e segundo estágios 12, 13 são montados em um primeiro eixo 23 e os impulsadores dos terceiro e quarto estágios 14, 28 são montados no segundo eixo 24. Como antes, cada eixo 23, 24 é acionado por um motor de acionamento direto de alta velocidade 15, 16 e os motores 15, 16 são controlados por um ou mais acionadores 25.

## REIVINDICAÇÕES

1. Sistema de compressão de múltiplos estágios (10) compreendendo pelo menos quatro estágios de compressão centrífuga (11, 12, 13, 14), cada um incluindo um impulsor, no qual os impulsores de um par de estágios (12, 13) são montados em um primeiro eixo (23) acoplado a um primeiro motor de acionamento direto de alta velocidade (15), e os impulsores de outro par de estágios (11, 14) são montados em um segundo eixo (24) acoplado a um segundo motor de acionamento direto de alta velocidade (16), a velocidade do primeiro e do segundo motores (15, 16) sendo controlada por pelo menos um acionador (25) de modo que os impulsores sejam todos acionados na mesma velocidade, **caracterizado pelo fato de que** um impulsor de cada par de estágios de compressão forma um dentre um par de primeiros estágios de compressão (11, 12), em que o sistema compreende ainda meios para dividir o fluido a ser comprimido igualmente entre o par de primeiros estágios de compressão (11, 12).

2. Sistema de compressão de múltiplos estágios (10), de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo fato de que** o par de primeiros estágios de compressão (11, 12) é montado em paralelo um com o outro, e um segundo e um terceiro estágios de compressão (13, 14) são montados em série com o par de primeiros estágios (11, 12).

3. Sistema de compressão de múltiplos estágios (10), de acordo com a reivindicação 2, **caracterizado pelo fato de que** o impulsor de um dos primeiros estágios (12) e o impulsor do segundo estágio (13) são montados no primeiro eixo (23) e o impulsor do segundo dos primeiros estágios (11) e o impulsor do terceiro estágio (14) são montados no segundo eixo (24).

4. Sistema de compressão de múltiplos estágios (10), de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo fato de que** um primeiro, um segundo, um terceiro e um quarto estágios de compressão

(12, 13, 14, 28) são montados em série.

5. Sistema de compressão de múltiplos estágios (10), de acordo com a reivindicação 4, **caracterizado pelo fato de que** o impulsor do primeiro estágio (12) e o impulsor do segundo estágio (13) são montados em um primeiro eixo e o impulsor do terceiro estágio (14) e o impulsor do quarto estágio (28) são montados no segundo eixo (23).

6. Sistema de compressão de múltiplos estágios (10), de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, **caracterizado pelo fato de que** um primeiro resfriador intermediário (21) é conectado a uma saída de fluido dos primeiros estágios de compressão (11, 12) e a entrada de fluido do segundo estágio de compressão (13).

7. Sistema de compressão de múltiplos estágios (10), de acordo com a reivindicação 6 como dependente da reivindicação 2, **caracterizado pelo fato de que** o primeiro resfriador intermediário (21) é conectado a uma saída de fluido de cada um dos primeiros estágios de compressão (11, 12), de modo que as correntes de fluido recebidas a partir de cada um dos dois primeiros estágios de compressão (11, 12) são combinadas para fornecer uma única corrente de fluido de resfriador para o segundo estágio de compressão (13).

8. Sistema de compressão de múltiplos estágios (10), de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, **caracterizado pelo fato de que** um segundo resfriador intermediário (22) é conectado a uma saída de fluido do segundo estágio de compressão (13) e uma entrada de fluido do terceiro estágio de compressão (14).

9. Sistema de compressão de múltiplos estágios (10), de acordo com a reivindicação 4, **caracterizado pelo fato de que** um terceiro resfriador intermediário (27) é conectado a uma saída de fluido do terceiro estágio de compressão (14) e à entrada de fluido do quarto estágio de compressão (28).

10. Sistema de compressão de múltiplos estágios (10), de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, **caracterizado pelo fato de que** um resfriador posterior (27) é conectado a uma saída de fluido do último dos estágios de compressão.

11. Sistema de compressão de múltiplos estágios (10), de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, **caracterizado pelo fato de que** os motores (15, 16) são controlados por pelo menos um acionador de frequência variável.

1/2

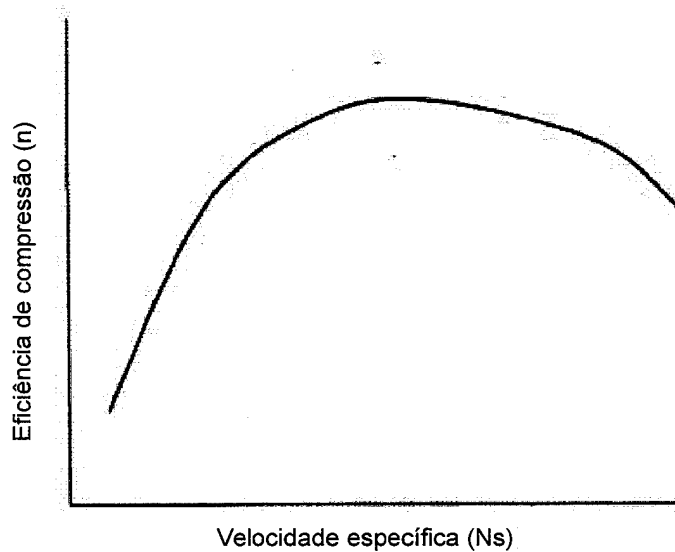


FIG. 1

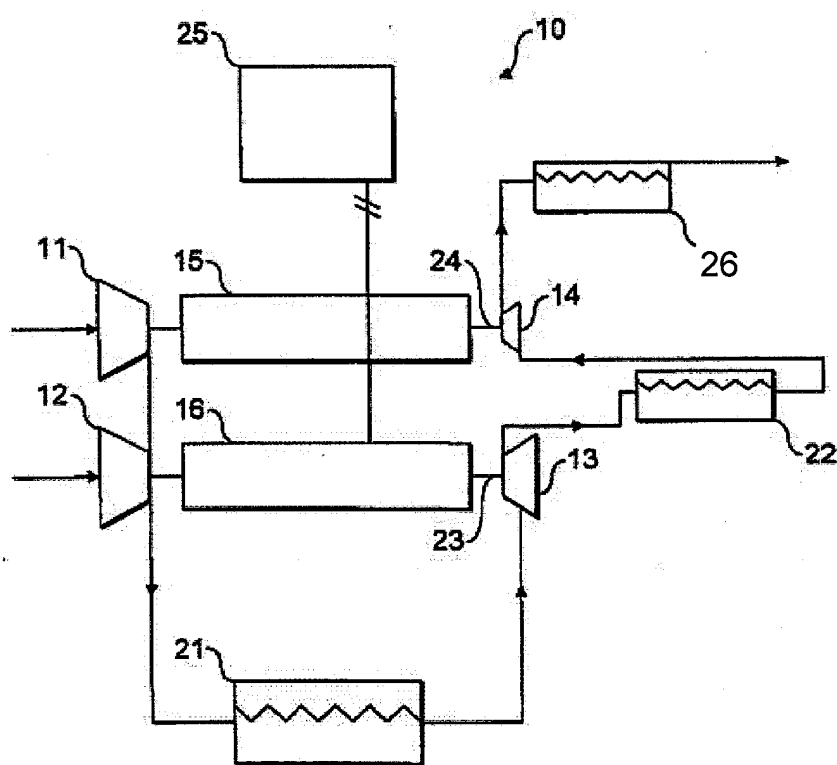


FIG. 2

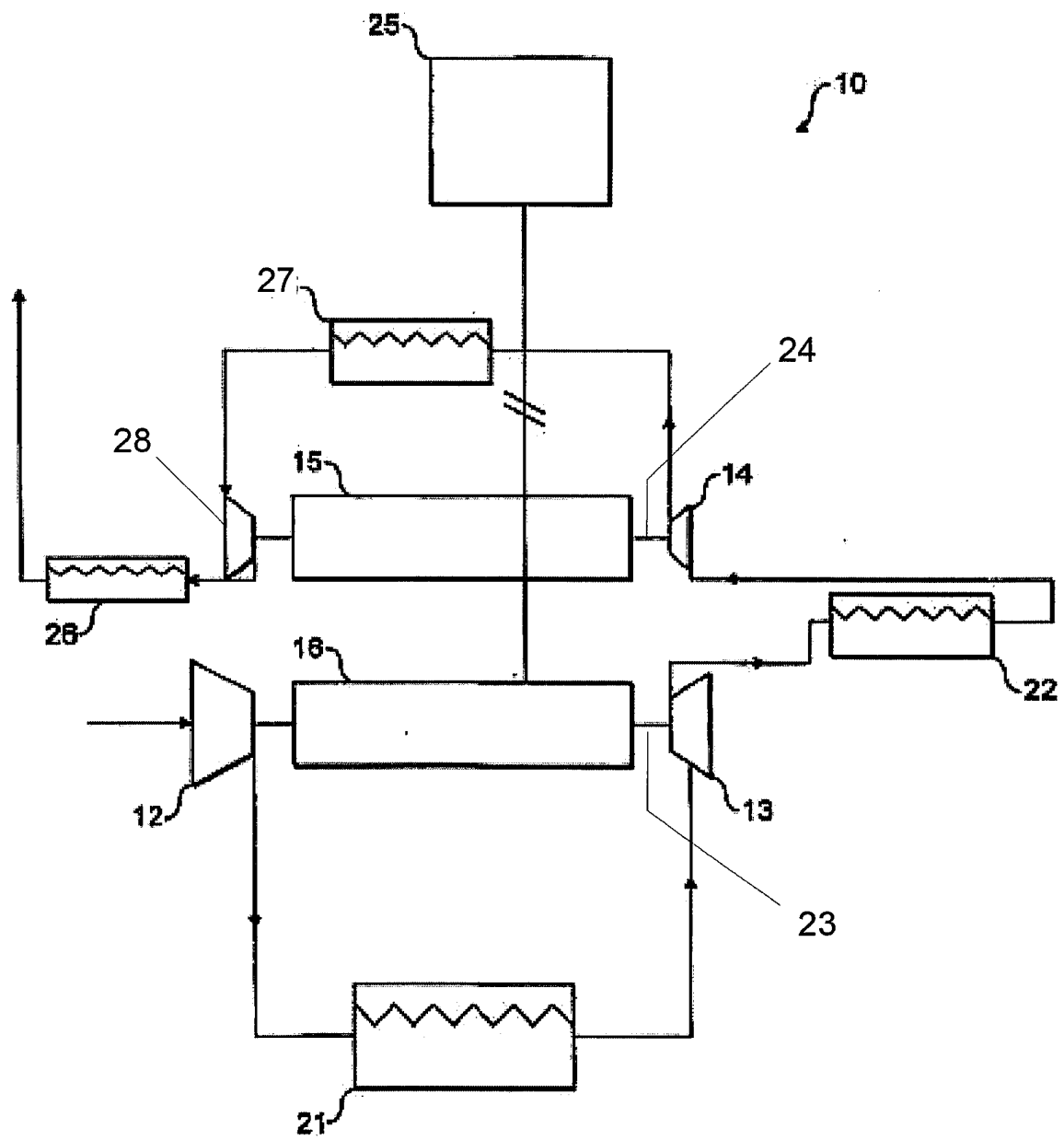


FIG. 3