

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 845 123**

51 Int. Cl.:

F01K 25/08

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **20.01.2017** **E 17152391 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **25.11.2020** **EP 3232023**

54 Título: **Procedimiento e instalación de conversión de energía de presión en energía eléctrica**

30 Prioridad:

12.04.2016 DE 102016106733

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

26.07.2021

73 Titular/es:

**ATLAS COPCO ENERGAS GMBH (100.0%)
Schlehenweg 15
50999 Köln, DE**

72 Inventor/es:

**RUBYCZ, RASMUS y
WALTER, EDUARD**

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 845 123 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Procedimiento e instalación de conversión de energía de presión en energía eléctrica

5 La invención se refiere a un procedimiento de conversión de energía de presión en energía eléctrica con una turbina de expansión, en el que un primer medio gaseoso puesto a presión es calentado antes de alimentarlo a la turbina de expansión y la turbina de expansión acciona un generador. Es también objeto de la invención una instalación de turbina de expansión para realizar el procedimiento.

10 En el marco de un creciente aumento de la eficiencia en instalaciones de procedimientos técnicos o instalaciones energéticas se está incrementando cada vez más la demanda de aprovechar la energía de alta presión de gases resultantes de procesos para operar con ella, por ejemplo, generadores de producción de energía eléctrica. A este fin, se alimenta el gas de proceso a una turbina de expansión o un expansor que reduce controladamente la presión y la convierte en energía mecánica en forma de energía de rotación.

15 Como consecuencia de la reducción de presión, se enfría fuertemente el gas de proceso por el llamado efecto Joule-Thomson. En este caso, especialmente cuando se emplean gases de proceso con cierta proporción de humedad residual, por ejemplo aire o gas natural húmedo, y cuando la temperatura se queda por debajo de una temperatura límite, por ejemplo en agua de $T = 0^{\circ}\text{C}$, puede tener lugar la formación de cristales de hielo. Debido a las velocidades de flujo relativamente altas en una turbina de expansión los cristales de hielo arrastrados en el flujo pueden conducir a considerables daños, por lo que ya en los trabajos preparatorios se deberá excluir una formación de hielo.

20 Se ha acreditado especialmente a este respecto un procedimiento en el que se calienta el gas de proceso antes de alimentarlo a la turbina de expansión de tal manera que en el curso de la expansión no se caiga por debajo de una temperatura límite inferior a la que pueden formarse cristales de hielo. Como fuente de calor para el proceso de calentamiento se utiliza principalmente el gas de escape caliente de un sistema de combustión.

25 Por ejemplo, el documento DE 101 55 508 A1 describe un procedimiento en el que gas natural puesto a presión es calentado, antes de su expansión en una turbina de expansión, por una corriente parcial del circuito de agua-vapor que se ha calentado previamente en una caldera de recuperación de calor perdido operada por los gases de escape calientes de una turbina de gas.

En el documento EP 0 670 957 B1 el calor necesario para el proceso de calentamiento se adquiere de una central térmica de calefacción de bloques de viviendas constituida por un motor de combustión de gas y un generador de corriente eléctrica.

30 No obstante, la problemática con los procedimientos utilizados hasta ahora radica en que un calentamiento del gas de proceso solamente puede efectuarse utilizando procesos de combustión. En consecuencia, este procedimiento no es especialmente eficiente tanto en el aspecto ecológico como en el aspecto económico. Es desventajoso también en este caso el hecho de que mediante una combustión de gas clásica se emiten también gases de efecto invernadero adicionales. En los documentos DE 10 2012 220 188 A1 y US 4,942,736 se describen procedimientos semejantes.

35 Por tanto, la invención se basa en el problema de proporcionar un procedimiento y un dispositivo de realización del procedimiento en los que puedan mejorarse la eficiencia y especialmente el rendimiento total.

Objeto y solución del problema son un procedimiento de conversión de energía de presión en energía eléctrica según la reivindicación 1 y una instalación de turbina de expansión según la reivindicación 9.

40 A este fin, la invención aporta la enseñanza de que en un procedimiento de la clase descrita al principio la turbina de expansión acciona un compresor además del generador, comprimiéndose por el compresor en una disposición de calentamiento al menos un segundo medio gaseoso y empleándose el calor producido en el curso de la compresión para calentar el primer medio gaseoso. Se hace uso en este caso de la circunstancia de que, en contraste con una turbina de expansión, se aumenta la temperatura mediante una compresión de un medio.

45 El medio caliente puede alimentarse luego, por ejemplo directamente, a un intercambiador de calor de entrada, con lo que se efectúa una transferencia de energía al primer medio. La disposición de calentamiento presenta un circuito termodinámico cerrado con un medio que primero se almacena en un depósito en un estado de agregación al menos parcialmente líquido y que se evapora bajo la acción de energía exterior. Por tanto, la energía de evaporación puede utilizarse en el circuito de una manera especialmente ventajosa y, en particular, eficiente. La energía exterior puede suministrarse, por ejemplo, por solartermia, geotermia u otros procesos térmicos.

50 Según la invención, se puede prescindir de la combustión de combustibles fósiles o bien de una alimentación de energía de otra clase, alimentándose también – como se describirá seguidamente con más detalle – calor ambiente además de la energía de presión, preferiblemente según un principio de intercambio de calor. Resulta también la ventaja de que puede operarse de manera autárquica un procedimiento según la invención o una instalación de turbina de expansión prevista para realizar el procedimiento, teniendo únicamente que evacuarse el medio como gas a presión y después de la expansión y utilizándose o llevándose fuera la energía eléctrica obtenida.

Como primer medio que se expansiona para su aprovechamiento energético puede emplearse, por ejemplo, gas natural o aire comprimido. Por ejemplo, después de su transporte el gas natural licuado (LNG) evaporado se presenta frecuentemente a altas presiones, pero a temperaturas relativamente bajas, debiendo convertirse en energía eléctrica, en el marco de la invención, la energía de presión o la alimentación de la misma a una red de gas remota o a otro punto de utilización. Sin embargo, en el marco de la invención se pueden utilizar también otros medios de cualquier naturaleza, como, por ejemplo, aire comprimido.

El segundo medio debe posibilitar un intercambio de calor efectivo, debiendo aprovecharse preferiblemente también la capacidad calorífica para una evaporación o una condensación. En el marco de la invención es adecuado como segundo medio, por ejemplo, el propano.

Especialmente preferida es una ejecución en la que el segundo medio y las presiones técnicas del procedimiento se seleccionan de tal manera que la temperatura de evaporación del segundo medio esté por debajo de la temperatura ambiente. A este fin, se mide y determina de antemano la temperatura ambiente. Debido a la diferencia de temperatura entre el ambiente y el segundo medio se produce una corriente de calor del ambiente al segundo medio, con lo que, con un ejecución constructiva correspondiente de la disposición de intercambiador de calor, se produce una evaporación preferiblemente completa del segundo medio aún parcialmente líquido y así el segundo medio puede alimentarse al compresor en un estado de agregación gaseoso y se aprovecha energéticamente el calor de evaporación. Además o alternativamente a una evaporación completa, puede tener lugar también, según la diferencia de temperatura resultante, un ligero calentamiento del segundo medio gaseoso.

Si se suministra la energía por otros procedimientos termodinámicos, se tienen que adaptar entonces de manera correspondiente la elección del segundo medio y los rangos de presión para la puesta en práctica del procedimiento. En este contexto, se ha comprobado que es especialmente adecuado el propano.

En principio, la invención comprende la posibilidad de una compresión monoetapa o multietapa en el compresor. En una compresión bietapa se devuelve el segundo medio al depósito después de una primera compresión, con lo que, por un lado, se puede estabilizar el flujo y, por otro lado, se puede separar el posible líquido producido en el curso de la compresión. El segundo medio se alimenta seguidamente en estado gaseoso a una segunda etapa de compresión. Sin embargo, es posible también una variante de ejecución en la que el segundo medio únicamente se comprima en la primera etapa de compresión y se utilice otro medio en la segunda etapa de compresión, teniendo lugar primeramente un intercambio de calor entre los dos medios durante los trabajos preparatorios realizados para la segunda etapa de compresión.

En una ejecución especialmente preferida de la invención el segundo medio no se emplea directamente para calentar el primer medio gaseoso en un intercambiador de calor de entrada, sino que primero transfiere su calor a un tercer medio en un primer intercambiador de calor, empleándose seguidamente el tercer medio para calentar el primer medio gaseoso en el intercambiador de calor de entrada. Preferiblemente, como tercer medio se utiliza un líquido, especialmente agua.

Preferiblemente, el tercer medio circula en un circuito cerrado. A este fin, el tercer medio se almacena primero en un depósito y luego, impulsado por una bomba, es alimentado al intercambiador de calor de entrada. Seguidamente, el tercer medio así enfriado es calentado de nuevo por el segundo medio en un primer intercambiador de calor antes de que se le alimente a continuación nuevamente al depósito. Para que ya durante la puesta en funcionamiento de la turbina de expansión se presente una cantidad suficiente del tercer medio calentado, dicho tercer medio puede precalentarse opcionalmente en el depósito asociado por medio de un calentador independiente.

En principio, la invención comprende también la posibilidad de que, aparte del calor de compresión y el calor ambiente obtenido por intercambio de calor, se emplee también otro calor residual para el proceso de calentamiento del tercer medio, por ejemplo calor proveniente de un refrigerador del aceite o un refrigerador del generador.

Especialmente preferida en el marco de la invención es una forma de ejecución en la que, para la conversión de energía de presión en energía eléctrica, se utilizan exclusivamente la energía de presión, el calor ambiente y eventualmente el calor residual resultante en el propio proceso. Por tanto, este procedimiento puede operarse de manera completamente autónoma e independiente sin que sea necesaria para ello una alimentación de energía de otros procesos termodinámicos.

Dado que como tercer medio se emplea preferiblemente un líquido, especialmente agua, se tiene que, debido a la temperatura de ebullición del líquido, es limitada la diferencia de temperatura entre el primer medio y el tercer medio. Por este motivo, en una ejecución preferida de la invención se expansiona primeramente el primer medio en una primera etapa hasta un nivel de presión medio, luego se le precalienta nuevamente y, por último, se le somete en una segunda etapa a una expansión remanente hasta una presión final. De este modo, se mantiene alta la temperatura media del primer medio durante la expansión sin que sea necesario un tercer medio especialmente caliente para calentar el primer medio. En este caso, se emplea también preferiblemente el tercer medio para el segundo proceso de calentamiento. Sin embargo, la invención comprende en principio también la posibilidad de una expansión monoetapa en la que, sin un segundo proceso de calentamiento intercalado, se efectúe directamente una expansión hasta la presión final.

Es también objeto de la invención una instalación de turbina de expansión para realizar el procedimiento previamente descrito, en la que la instalación de turbina de expansión dispone de una turbina de expansión y un generador, y la turbina de expansión acciona el generador a través de un mecanismo de transmisión. La turbina de expansión está unida también a través del mecanismo de transmisión con un compresor que está previsto como parte integrante de una disposición de calentamiento para comprimir el segundo medio, presentando la disposición de calentamiento un intercambiador de calor de entrada en una alimentación de la turbina de expansión para calentar el primer medio.

La invención comprende también el procedimiento termodinámico de conversión de energía de presión en energía eléctrica, en el que primero se precalienta y luego se expande un gas de proceso puesto a presión y en el que se convierte la energía de presión en energía mecánica y seguidamente en energía eléctrica. En el procedimiento descrito se utiliza una parte de la energía mecánica para operar un proceso cíclico termodinámico. En el proceso cíclico primero se evapora un medio de calentamiento líquido por alimentación de energía exterior y luego se le comprime en estado gaseoso.

Después de enfriar y condensar el medio de calentamiento gaseoso por cesión directa o indirecta de energía al gas de proceso se estrangula el medio de calentamiento, con lo que se reduce nuevamente la presión de modo que el medio refrigerante puede ser alimentado de nuevo al proceso cíclico.

Según un perfeccionamiento del proceso cíclico termodinámico, la cesión del calor del medio de calentamiento al gas de proceso no se efectúa directamente, sino que sirve para calentar un segundo proceso cíclico termodinámico. En este segundo proceso cíclico termodinámico se habilita primeramente un medio de transferencia líquido que circula aportando trabajo mecánico. Al ceder energía calorífica al gas de proceso se enfría el medio de transferencia y éste se vuelve a calentar seguidamente por alimentación de energía calorífica del medio de calentamiento.

A continuación, se explicará la invención con más detalle ayudándose de un dibujo que representa únicamente un ejemplo de realización. Muestran:

La figura 1, un procedimiento según la invención con un gas de proceso, un medio de calentamiento y un medio de transferencia, y

La figura 2, un procedimiento según la invención con un gas de proceso y un gas caliente.

La figura 1 muestra esquemáticamente un diagrama de proceso para el procedimiento según la invención destinado a convertir energía de presión en energía eléctrica.

Un gas de proceso P puesto a presión, por ejemplo gas natural, se calienta inicialmente como primer medio en un intercambiador de calor de entrada 1 y se expande seguidamente en una primera etapa 2a de una turbina de expansión 2 hasta un nivel de presión medio. A continuación de esto, se efectúa un nuevo calentamiento del gas de proceso P en un intercambiador de calor intermedio 3. Finalmente, se efectúa una segunda expansión del gas de proceso P en una segunda etapa 2b de la turbina de expansión 2.

La energía mecánica obtenida por la turbina de expansión 2 se emplea para accionar, a través de un mecanismo de transmisión, por un lado, un generador eléctrico 4 y, por otro lado, un compresor 5 que comprende una primera etapa 5a y una segunda etapa 5b.

Se habilita como segundo medio un medio de calentamiento H en un depósito 6 de medio de calentamiento, presentándose el medio de calentamiento H en su depósito 6 como una mezcla bifásica líquida/gaseosa. Se extrae del depósito 6 el medio de calentamiento H en un estado al menos parcialmente líquido y se le alimenta a una disposición de evaporación 7. La disposición de evaporación 7 puede constar de varios evaporadores individuales 7a, 7b, 7c, ..., estando los distintos evaporadores 7a, 7b, 7c, ... conectados en paralelo uno con otro. Para evaporar el medio de calentamiento H es adecuada en principio cualquier fuente de energía que presente una temperatura más alta que la temperatura de evaporación del medio de calentamiento H. En el ejemplo representado se utiliza preferiblemente propano como medio de calentamiento H, puesto que el propano se evapora ya a muy bajas temperaturas, si bien puede devolverse a un estado líquido de una manera sencilla mediante compresión y enfriamiento. Gracias a la baja temperatura de ebullición del propano se puede efectuar una evaporación bajo solamente la acción del calor ambiente W. Esto es especialmente ventajoso cuando el procedimiento descrito se ejecuta en una instalación montada en una región con temperaturas ambiente especialmente altas. De este modo, aparte de la evaporación, se puede efectuar también un ligero calentamiento del medio de calentamiento H ahora gaseoso.

A continuación de la evaporación se alimenta el medio de calentamiento H al compresor 5 accionado por la turbina de expansión 2. La compresión se efectúa aquí en dos etapas. En la primera etapa 5a se comprime el medio de calentamiento H hasta un nivel de presión medio y luego se le alimenta nuevamente al depósito 6 de medio de calentamiento. Debido a las diferentes condiciones de densidad del medio de calentamiento líquido y gaseoso H la fracción líquida se deposita en el fondo del depósito 6 de medio de calentamiento y la fracción gaseosa se deposita en la zona del techo del depósito 6 de medio de calentamiento.

De este modo, el estado de agregación del medio de calentamiento H puede seleccionarse según sea el punto de extracción elegido. A través de una abertura de la zona del techo del depósito 6 de medio de calentamiento se extrae nuevamente de dicho depósito 6 el medio de calentamiento H sometido a un nivel de presión medio y se le alimenta a una segunda etapa de compresión 5b del compresor 5.

- 5 El medio de calentamiento H calentado como consecuencia del aumento de presión en la segunda etapa 5b se alimenta seguidamente a un primer intercambiador de calor 8 y el calor del medio de calentamiento H se transfiere al medio de transferencia U actuante como tercer medio.

El primer intercambiador de calor 8 consiste para ello en varios intercambiadores de calor individuales conectados 8a, 8b, 8c, ... Además, se transfieren también al medio de transferencia U la energía calorífica de una refrigeración 9 del generador y la energía calorífica de una refrigeración 10 del aceite.

10 El medio de transferencia U circula también en un circuito cerrado y se almacena primero en un depósito 11 de medio de medio de transferencia. Dado que en una puesta en funcionamiento de la turbina de expansión 2 no se presenta aún ningún medio de transferencia calentado U y, en consecuencia, no puede tener lugar ningún precalentamiento del gas de proceso P, el depósito 11 de medio de transferencia está provisto adicionalmente de una calentador independiente 12 que precalienta el medio de transferencia líquido a la temperatura necesaria hasta que pueda suministrarse por el medio de calentamiento comprimido H la cantidad de calor requerida.

15 Como medio de transferencia U para fines de precalentamiento se utiliza agua en el ejemplo representado, la cual circula en estado líquido desde el depósito 11 de medio de transferencia, por mediación de una bomba 13, tanto a través del intercambiador de calor de entrada 1 como a través del intercambiador de calor intermedio 3. El intercambiador de calor de entrada 1 y el intercambiador de calor intermedio 3 están conectados para ello en paralelo uno con otro. Sin embargo, es imaginable también una disposición en la que el intercambiador de calor de entrada 1 y el intercambiador de calor intermedio 3 estén conectados en serie.

20 Como consecuencia de la transferencia de calor se enfría el medio de transferencia U, seguidamente se calienta éste tanto por el calor de compresión como por el calor de la refrigeración 9 del generador y la refrigeración 10 del aceite y se le alimenta de nuevo al depósito 11 de medio de transferencia.

25 La figura 2 muestra esquemáticamente un diagrama de proceso para el procedimiento según la invención destinado a convertir energía de presión en energía eléctrica con una expansión de una sola etapa en una turbina de expansión 2. El calentamiento del gas de proceso P se efectúa por medio de un intercambiador de calor de entrada 1 y no se necesita un intercambiador de calor intermedio 3 debido al proceso monoetapa. La compresión del medio de calentamiento H se efectúa también en una sola etapa del compresor 5 accionado por la turbina de expansión 2.

30 El medio de calentamiento H se habilita como segundo medio en un depósito 6 de medio de calentamiento, presentándose aquí también el medio de calentamiento H como una mezcla bifásica líquida/gaseosa. Partiendo de un estado al menos parcialmente líquido se alimenta seguidamente el medio de calentamiento H a una disposición de evaporación 7 constituida por varios evaporadores individuales 7a, 7b, 7c, ... Los distintos evaporadores 7a, 7b, 7c, ... están conectados aquí en paralelo uno con otro. Como particularidad con respecto al procedimiento representado en la figura 1 se utiliza directamente el calor de la refrigeración 9 del generador y la refrigeración 10 del aceite para evaporar y calentar el medio de calentamiento H.

35 Después de la evaporación en la disposición de evaporación 7 se comprime el medio de calentamiento H en el compresor 5 y luego se le alimenta directamente al intercambiador de calor de entrada 1. Por tanto, no se efectúa ninguna transferencia de calor a un medio de transferencia U elegido como segundo medio. En el intercambiador de calor de entrada 1 se enfría el medio de calentamiento H y éste se condensa al menos parcialmente en el ulterior desarrollo del proceso. En este estado, se alimenta nuevamente el medio de calentamiento H a su depósito 6 de modo que pueda recorrerse nuevamente el proceso.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de conversión (2) de energía de presión en energía eléctrica con una turbina de expansión (2), en el que un primer medio gaseoso puesto a presión es calentado antes de alimentarlo a la turbina de expansión (2) y la turbina de expansión acciona un generador (4), en el que la turbina de expansión (2) acciona un compresor (5) además del generador (4), y en el que se comprime por el compresor (5) en una disposición de calentamiento al menos un segundo medio gaseoso y se emplea el calor producido en el curso de la compresión para calentar el primer medio gaseoso, **caracterizado** por que la disposición de calentamiento presenta un circuito cerrado en el que circula el segundo medio, el cual, partiendo de un depósito (6) de medio de calentamiento, se presenta en un estado al menos parcialmente líquido.
2. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que se evapora el segundo medio por la acción de calor exterior ante de su alimentación al compresor (5).
3. Procedimiento según la reivindicación 2, en el que se determina una temperatura ambiente, en el que el segundo medio se alimenta a un punto de intercambio de calor con el ambiente y en el que la temperatura de evaporación del segundo medio está por debajo de la temperatura ambiente de modo que el segundo medio sea evaporado de preferencia completamente por la acción de la energía ambiente.
4. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el que la compresión se efectúa en dos etapas.
5. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en el que el segundo medio transfiere su calor a un tercer medio en un primer intercambiador de calor (8) y el tercer medio se emplea para calentar el primer medio gaseoso en un intercambiador de calor de entrada (1).
6. Procedimiento según la reivindicación 5, en el que el tercer medio, impulsado por una bomba (13) y partiendo de un depósito, circula en un circuito cerrado.
7. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en el que la expansión de primer medio gaseoso se efectúa en dos etapas, precalentándose nuevamente el primer medio gaseoso entre las dos etapas (2a, 2b) en un intercambiador de calor intermedio (3).
8. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, en el que, para la conversión de energía de presión en energía eléctrica, se utilizan la energía de presión, el calor ambiente (W) y opcionalmente el calor residual del propio procedimiento.
9. Instalación de turbina de expansión para realizar un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, que comprende una turbina de expansión (2) que acciona un generador (4) a través de un mecanismo de transmisión, en la que está conectado al mecanismo de transmisión un compresor (5) que está previsto como parte integrante de una disposición de calentamiento para comprimir el segundo medio de calentamiento y en la que la disposición de calentamiento presenta un intercambiador de calor de entrada (1) en una alimentación de la turbina de expansión (2) para calentar el primer medio, **caracterizada** por que la disposición de calentamiento presenta un circuito cerrado en el que circula el segundo medio, el cual, partiendo de un depósito (6) de medio de calentamiento, se presenta en un estado al menos parcialmente líquido.



