

(19)



Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

EP 1 147 293 B1

(12)

FASCICULE DE BREVET EUROPEEN

(45) Date de publication et mention
de la délivrance du brevet:

21.04.2004 Bulletin 2004/17

(21) Numéro de dépôt: **00900528.1**

(22) Date de dépôt: **05.01.2000**

(51) Int Cl.7: **F01D 25/00**

(86) Numéro de dépôt international:
PCT/FR2000/000012

(87) Numéro de publication internationale:
WO 2000/045033 (03.08.2000 Gazette 2000/31)

(54) **PROCEDE ET DISPOSITIF D'ENLEVEMENT DE SALISSURES DANS UNE PARTIE INTERNE
D'UNE TURBOMACHINE, PENDANT LE FONCTIONNEMENT DE LA TURBOMACHINE**

VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR ENTFERNUNG VON SCHMUTZPARTIKELN WÄHREND
DES MASCHINENBETRIEBS AUS EINEM TURBOMASCHINENINNENTEIL

METHOD AND DEVICE FOR REMOVING IMPURITIES IN THE INTERNAL PART OF A
TURBO-MACHINE, WHILE SAID TURBO-MACHINE IS OPERATING

(84) Etats contractants désignés:
CH DE FR GB IT LI NL

(30) Priorité: **29.01.1999 FR 9901046**

(43) Date de publication de la demande:
24.10.2001 Bulletin 2001/43

(73) Titulaire: **Thermodyn
92400 Courbevoie (FR)**

(72) Inventeurs:

- **PUGNET, Jean-Marc
F-71200 Le Creusot (FR)**
- **HUS, Henri
F-91430 Igny (FR)**
- **TRICOT, Daniel
F-71200 Le Creusot (FR)**

(74) Mandataire: **Kremer, Robert A.M. et al
BUREAU D.A. CASALONGA - JOSSE
Paul-Heyse-Strasse 33
80336 München (DE)**

(56) Documents cités:
US-A- 4 898 123

- **PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 007, no.
183 (M-235), 12 août 1983 (1983-08-12) -& JP 58
085371 A (MITSUBISHI JUKOGYO KK), 21 mai
1983 (1983-05-21)**
- **PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 008, no.
166 (M-314), 2 août 1984 (1984-08-02) -& JP 59
060036 A (HITACHI SEISAKUSHO KK;OTHERS:
01), 5 avril 1984 (1984-04-05)**
- **PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 008, no.
186 (M-320), 25 août 1984 (1984-08-25) -& JP 59
077010 A (FUJI DENKI SEIZO KK), 2 mai 1984
(1984-05-02)**

Il est rappelé que: Dans un délai de neuf mois à compter de la date de publication de la mention de la délivrance du brevet européen, toute personne peut faire opposition au brevet européen délivré, auprès de l'Office européen des brevets. L'opposition doit être formée par écrit et motivée. Elle n'est réputée formée qu'après paiement de la taxe d'opposition. (Art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

EP 1 147 293 B1

Description

[0001] L'invention concerne un procédé et un dispositif d'enlèvement de salissures déposées dans une partie interne d'une turbomachine et en particulier d'un compresseur centrifuge sans arrêter la production du compresseur.

[0002] L'encrassement des parties internes des turbomachines, et en particulier des compresseurs centrifuges, est un phénomène que l'utilisateur peut difficilement maîtriser ou empêcher.

[0003] Le dépôt et l'agglomération de salissures sur les parties internes aérodynamiques des turbomachines peuvent avoir des conséquences tout-à-fait indésirables sur les performances de fonctionnement.

[0004] D'une part, la conduite du procédé mis en oeuvre dans la turbomachine peut être modifiée de manière importante. Dans le cas d'un compresseur centrifuge, les niveaux de pression et de température ou les débits de circulation dans le compresseur peuvent être modifiés du fait de la formation de dépôts dans les canaux aérodynamiques tels que les aubages ou les diffuseurs du compresseur.

[0005] D'autre part, les éléments mécaniques de la turbomachine peuvent être soumis à des sollicitations entraînant leur détérioration. Il est donc nécessaire de protéger ces éléments mécaniques. En particulier, les balourds ou les variations de poussée engendrées par les dépôts sur les parties dynamiques de la turbomachine et les encrassements des garnitures internes peuvent induire des vibrations qui sont préjudiciables à la bonne marche de la turbomachine.

[0006] Le dépôt et l'agglomération de salissures sur les parties internes des turbomachines et en particulier des compresseurs centrifuges sont dus à deux causes principales. Tout d'abord, les filtres et les séparateurs disposés en amont des turbomachines ne peuvent arrêter des particules ayant une taille de quelques micromètres. En outre, les niveaux de pression et de température atteints dans le compresseur, ainsi que la nature des gaz dont on réalise la compression favorisent des réactions du type polymérisation sur les matières déposées ou la corrosion des parties internes du compresseur sous l'effet des matières déposées.

[0007] De manière générale, l'encrassement des parties internes des turbomachines et en particulier des compresseurs centrifuges est un phénomène général qui se produit dans tous les cas pendant le fonctionnement normal de la turbomachine. Cet encrassement peut atteindre un niveau tel qu'il devienne nécessaire d'arrêter la turbomachine et donc le cycle de production ou de fabrication en cours. Il est donc tout-à-fait souhaitable de disposer de moyens permettant d'enlever les salissures de la partie interne encrassée d'une turbomachine ou de limiter le dépôt de salissures dans cette partie interne.

[0008] On ne connaît pas jusqu'ici de procédé général permettant de réaliser le nettoyage des parties internes

de turbomachines quel que soit le type de turbomachines concerné, la substance en circulation dans ces turbomachines et le type et la nature des salissures susceptibles de se déposer dans leurs parties internes.

[0009] Chaque exploitant de turbomachines essaie de remédier au problème d'encrassement qu'il rencontre, en fonction du type d'encrassement ou des caractéristiques d'organisation de la production.

[0010] On connaît des procédés de revêtement anti-encrassement ou des solvants ou additifs chimiques permettant de réduire ou de supprimer les encrassements, dans certains cas spécifiques voir le document : PATENT ABSTRACT OF JAPAN vol. 007, no. 183 (M-235), 12 août 1983 (1983-08-12) -& JP 58 08537 A (MITSUBISHI JUKOGYO KK), 21 mai 1983 (1983-05-21). De manière générale, dans le but d'optimiser la disponibilité des équipements industriels, les principales méthodes utilisées qui peuvent être combinées entre elles consistent à :

- démonter et sabler les parties encrassées des turbomachines,
- injecter périodiquement des particules solides ou liquides (en particulier sous forme de brouillard) pour éroder ou dissoudre les salissures,
- mélanger en continu des additifs avec le fluide circulant dans la turbomachine, tels que des retardateurs de polymérisation,
- enduire les parties internes de revêtement pour réaliser des surfaces anti-adhérentes.

[0011] Toutes ces méthodes présentent des inconvénients. En particulier, ces méthodes sont coûteuses et leur efficacité est ni totale ni durable.

[0012] En outre, chacune des méthodes est adaptée à un cas particulier et on ne connaît aucune méthode qui soit d'application générale.

[0013] On connaît également des procédés de nettoyage qui sont appliqués en dehors du secteur de l'exploitation des turbomachines et qui utilisent un solvant constitué par un fluide dense sous pression tel que dioxyde de carbone, à l'état liquide ou encore à l'état supercritique.

[0014] Dans de tels procédés, le dioxyde de carbone peut être utilisé en remplacement de solvants organiques.

[0015] Le dioxyde de carbone CO₂ présente un point critique à une pression de 73 bars (7,3 MPa) et à une température de 31°C.

[0016] Ces procédés de nettoyage utilisent du dioxyde de carbone à une pression supérieure à la pression critique et à une température qui peut être inférieure à la température critique, le dioxyde de carbone étant alors liquide, ou encore à une température supérieure à la température critique, le dioxyde de carbone étant alors dans un état supercritique intermédiaire entre les états liquide et gazeux.

[0017] A l'état supercritique, les propriétés du CO₂ tel-

les que sa densité, sa viscosité qui est faible, et son coefficient de diffusion qui est élevé, ainsi qu'un très bon pouvoir solvant vis-à-vis de nombreuses matières, en font un produit solvant intéressant pour le nettoyage, la purification et le traitement des matériaux.

[0018] Les valeurs de pression et de température critique du CO₂, qui ne sont pas très difficiles à atteindre, permettent des applications industrielles assez aisées.

[0019] A l'état supercritique, le CO₂ dissout en particulier la plupart des composés organiques.

[0020] D'autres substances peuvent présenter à l'état supercritique des propriétés analogues, comme certains alcanes.

[0021] Dans le cas de turbocompresseurs, qui comportent une entrée dans laquelle on introduit un gaz intervenant dans un procédé dans lequel le gaz subit une transformation physique ou chimique, il est généralement souhaitable d'effectuer en continu l'enlèvement des salissures à l'intérieur du turbocompresseur, pendant le fonctionnement de ce turbocompresseur. Il est possible d'introduire, dans le courant de gaz de procédé, à l'entrée du turbocompresseur, une substance susceptible de dissoudre les salissures déposées à l'intérieur du turbocompresseur.

[0022] A la sortie du turbocompresseur, on récupère un fluide constitué par le gaz de procédé et la substance à l'état supercritique renfermant les salissures à l'état dissout. On doit alors effectuer une séparation du gaz de procédé et du fluide constitué par la substance renfermant les salissures à l'état dissout.

[0023] Pour mettre en oeuvre le procédé de nettoyage du compresseur de manière tout à fait continue et dans des conditions économiques, il est souhaitable d'effectuer en continu le recyclage de la substance de dissolution des salissures dans le gaz de procédé à l'entrée du turbocompresseur.

[0024] Si l'on utilise une substance à l'état supercritique, telle que le CO₂ supercritique, pour assurer la dissolution des salissures dans la turbomachine, la régénération de la substance ne peut être effectuée qu'en abaissant la pression de la substance en-dessous de la pression critique, de manière à obtenir la substance à l'état gazeux, et en effectuant la séparation des impuretés de la substance à l'état gazeux.

[0025] Il est ensuite nécessaire de recomprimer la substance et d'ajuster sa température avant de la réinjecter dans le gaz de procédé à l'entrée du turbocompresseur.

[0026] Un tel procédé, qui nécessite l'utilisation d'un dispositif tel qu'une pompe à grand débit et à haute pression pour faire circuler et remettre en pression la substance de dissolution des salissures, ne peut être mis en oeuvre de manière réaliste, dans le cadre d'un procédé industriel.

[0027] Le but de l'invention est donc de proposer un procédé d'enlèvement de salissures dans une partie interne d'une turbomachine pendant le fonctionnement de la turbomachine qui comporte une entrée et une sortie

pour un gaz de procédé, dans lequel on introduit, à l'entrée de la turbomachine, dans le gaz de procédé, une substance à l'état dense, notamment supercritique, on récupère, à la sortie de la turbomachine, un fluide constitué par le gaz de procédé et la substance renfermant des impuretés constituées par des salissures à l'état dissout, on réalise une séparation en continu sur le fluide pour obtenir un courant de gaz de procédé et un courant de la substance renfermant les impuretés et on recycle la substance à l'état dense à l'entrée de la turbomachine, ce procédé pouvant être mis en oeuvre de manière industrielle, dans des conditions économiques.

[0028] Dans ce but :

- 15 - on prélève en continu une fraction du courant de la substance renfermant les impuretés séparé du gaz de procédé, et on réintroduit le courant résiduel dans le gaz de procédé à l'entrée de la turbomachine,
- 20 - on abaisse la pression de la substance dans la fraction du courant prélevée,
- on sépare les impuretés de la substance à l'état gazeux dans la fraction du courant à l'état gazeux, on élève la pression de la substance de la fraction du courant séparée des impuretés et on réintroduit la substance de la fraction de courant, à l'état dense, dans le courant résiduel de la substance renfermant les impuretés avant son introduction dans le gaz de procédé à l'entrée de la turbomachine.

30

[0029] Afin de bien faire comprendre l'invention, on va maintenant décrire à titre d'exemple la mise en oeuvre du procédé suivant l'invention dans le cas d'un turbocompresseur utilisé pour comprimer un gaz de procédé, en se référant aux figures jointes en annexe.

35

[0030] La figure 1 est une vue schématique des circuits de nettoyage et de recyclage du turbocompresseur.

40

[0031] La figure 2 est un diagramme température-entropie montrant les variations de température et d'entropie des fluides dans les circuits représentés sur la figure 1.

45

[0032] La figure 3 est un diagramme pression-température montrant les variations de pression et de température des fluides dans les circuits de l'installation représentée sur la figure 1.

50

[0033] Sur la figure 1, on voit le turbocompresseur 1 utilisé pour mettre en pression un gaz de procédé qui peut être un gaz produit ou utilisé dans une installation industrielle, telle qu'une installation chimique ou pétrochimique.

55

[0034] Le compresseur 1 comporte une entrée basse pression 11 reliée à une conduite 2 d'arrivée d'un gaz de procédé et une sortie haute pression 12 reliée à une conduite d'utilisation 3 par l'intermédiaire d'un échangeur de chaleur 5 et d'un séparateur 6.

[0035] Le séparateur 6 comporte une conduite d'entrée 13 recevant le gaz provenant de la sortie 12 du com-

presseur par l'intermédiaire de l'échangeur de chaleur 5, une première sortie constituée par la conduite d'utilisation 3 et une seconde sortie constituée par une conduite 7 reliée par l'intermédiaire d'une vanne de réglage 8, d'une conduite intermédiaire 14, d'un échangeur de chaleur 9, d'une conduite de recyclage 7' et d'un clapet anti-retour 10 à la conduite 2 d'arrivée du gaz de procédé à l'entrée 11 du turbocompresseur.

[0036] Le fluide introduit dans la conduite 2 en aval du clapet anti-retour 10 est un fluide dans un état dense, tel qu'un fluide à l'état supercritique et de préférence du gaz carbonique CO_2 à l'état supercritique.

[0037] Le CO_2 à l'état supercritique, mélangé au gaz de procédé, est introduit dans l'entrée 11 du turbocompresseur et circule à l'intérieur du turbocompresseur, en contact avec les éléments internes mobiles ou fixes du turbocompresseur, tels que les ailettes et diffuseurs du turbocompresseur. La mise en pression du gaz de procédé à l'intérieur du turbocompresseur 1 permet de maintenir le CO_2 à l'état supercritique. Dans cet état, le CO_2 dissout de manière très rapide les salissures déposées sur les éléments internes du turbocompresseur. Les impuretés dissoutes dans le CO_2 à l'état supercritique, qui sont généralement à l'état liquide, constituent, avec le CO_2 à l'état supercritique et le gaz de procédé à haute pression, un mélange de fluides dont la température est ajustée dans l'échangeur de chaleur 5 en fonction de l'utilisation du gaz de procédé et pour liquéfier le CO_2 renfermant les impuretés. Le mélange de fluide, ajusté en température, est envoyé par la conduite 13 à l'intérieur du séparateur 6 qui réalise la séparation du gaz de procédé qui est évacué par la conduite 3 et du CO_2 liquide renfermant les impuretés dissoutes qui est évacué par la conduite 7, à un débit Q.

[0038] Dans le cas où l'on effectuerait uniquement le recyclage de la substance de dissolution, c'est-à-dire le CO_2 , dans la conduite d'entrée 2 du turbocompresseur par l'intermédiaire du circuit de nettoyage 13, 7, 16, 7' constituant un premier circuit du dispositif de la figure 1, même en restaurant l'état supercritique de la substance, on ne pourrait faire fonctionner en continu le turbocompresseur avec enlèvement des salissures, du fait que la substance à l'état supercritique serait très rapidement saturée en impuretés dissoutes. Le fait d'avoir un fluide supercritique en mélange dans le gaz de procédé impose d'avoir un assez grand débit de fluide de nettoyage dans le compresseur, qu'il est impossible de régénérer en continu.

[0039] Selon le procédé de l'invention, on utilise un second circuit 17 pour diminuer la teneur en impuretés dissoutes de la substance de dissolution, c'est-à-dire le CO_2 séparé du gaz de procédé dans le séparateur 6.

[0040] Le second circuit, ou circuit de séparation d'impuretés, 17 comporte une vanne de décompression 18, un séparateur 19 de gaz et de liquide et un compresseur 20 placés en série les uns par rapport aux autres et en dérivation sur la conduite 7, de part et d'autre de la vanne de réglage 8.

[0041] Le réglage de la vanne 8 permet de faire passer une fraction prédéterminée q du débit Q de CO_2 liquide circulant dans la conduite 7, dans le circuit de séparation d'impuretés 17, le courant résiduel Q-q étant reçu dans la partie 14 de la conduite 7, en aval de la vanne de réglage 8.

[0042] Le CO_2 renfermant des impuretés, prélevé sous la forme du débit q dans la conduite 7, traverse la vanne de détente 18, de manière que, dans la partie 15 du circuit 17, en aval de la vanne 18, on abaisse la pression du CO_2 à un niveau assurant sa vaporisation. Le CO_2 de la fraction de débit q prélevée dans le circuit 17 se trouve donc à l'état gazeux dans la partie 15 du circuit 17, en amont de la vanne 18. Le mélange de gaz et d'impuretés constitué par les salissures à l'état liquide pénètre dans le séparateur 19 qui réalise la séparation du CO_2 gazeux et des salissures à l'état liquide qui sont évacuées du séparateur 19, comme représenté par la flèche 21.

[0043] Le CO_2 gazeux épuré est comprimé par le compresseur 20, qui peut être constitué par un compresseur de type volumétrique rotatif ou par une pompe à haute pression, de manière que sa pression devienne supérieure à la pression critique du CO_2 , soit 7,3 MPa. Le CO_2 supercritique épuré est réintroduit dans la conduite intermédiaire 14, dans le courant résiduel Q-q constitué de CO_2 renfermant des impuretés liquides.

[0044] En première approximation, on peut supposer qu'il n'y a pas de déperdition dans les circuits de recyclage et de séparation d'impuretés, de sorte qu'on réalise, à l'intérieur de la conduite de recyclage, le mélange d'un débit Q-q du CO_2 renfermant des impuretés et d'un débit q de CO_2 supercritique ne renfermant plus d'impuretés. Le débit Q résultant traverse un échangeur de chaleur 9 pour être remis en température et à l'état supercritique avant d'être recyclé par la conduite de recyclage 7' dans la conduite 2 reliée à l'entrée du turbocompresseur 1.

[0045] Le turbocompresseur peut fonctionner de manière continue avec enlèvement des salissures se déposant dans sa partie interne, si le débit q prélevé sur la conduite 7 est suffisant pour maintenir un état de non saturation en impuretés du CO_2 supercritique introduit dans l'entrée du turbocompresseur.

[0046] Bien entendu, un débit q important nécessite l'utilisation d'un compresseur ou d'une pompe à haute pression 20 à grand débit. D'autre part, l'intérêt du procédé de l'invention est de limiter la taille et la puissance du compresseur ou pompe 20. Il est donc nécessaire de choisir un compromis permettant un fonctionnement continu du turbocompresseur sans encrassement excessif avec un coût modéré d'installation et de fonctionnement du circuit de séparation d'impuretés.

[0047] Sur la figure 2, représentant un diagramme température T-entropie S relatif au circuit représenté sur la figure 1, on a représenté la courbe de changement d'état 22 du gaz carbonique et les isobares 23 et 24 correspondant à la pression d'aspiration et à la pression de

refoulement du turbocompresseur 1, respectivement.

[0048] Le sommet de la courbe 22 correspond au point critique du gaz carbonique, la partie de gauche de la courbe 22 en partant du point critique correspondant à la courbe d'ébullition du CO₂ et la partie située à droite du point critique de la courbe 22 correspondant à la courbe de rosée. La partie du diagramme située à droite de la courbe 22 correspond à l'état gazeux et la partie située à gauche à l'état liquide du CO₂.

[0049] Les différents points représentés sur la figure 2 et portant les références 11, 12, 13, 14, 15 et 16 correspondent aux éléments des circuits de la figure 1 ayant les mêmes références.

[0050] En partant de l'aspiration du compresseur (point 11 sur la courbe 23), la compression à l'intérieur du turbocompresseur est représentée par le segment 11, 12, le point de référence 12 se trouvant sur la courbe 24.

[0051] Le refroidissement du fluide refoulé par le compresseur 1, à travers l'échangeur 5, se traduit par le segment de courbe 12, 13 suivant la courbe 24.

[0052] L'évolution thermodynamique du courant principal de fluide, depuis l'entrée du séparateur 6 jusqu'à l'entrée du turbocompresseur 11, se traduit par le segment 13, 14 entre les courbes 24 et 23 et le segment 14, 11 sur la courbe 23 correspondant à la pression d'aspiration.

[0053] Il apparaît que le courant principal de CO₂ est à l'état supercritique dans le turbocompresseur 1 et à l'état liquide à la sortie de l'échangeur de chaleur 5.

[0054] La détente de la fraction de débit q prélevée dans le circuit 17 se traduit par le segment de droite 13, 15 qui traverse la courbe 22 pour passer de la zone correspondant au CO₂ liquide à la zone correspondant au CO₂ gazeux.

[0055] Le passage de la fraction de fluide prélevée dans le séparateur 19 et sa compression dans le compresseur 20 se traduit par la partie de courbe 15, 16, le point 16 se trouvant sur la courbe 23 correspondant à la pression d'aspiration du compresseur. Le réchauffage du CO₂ dans l'échangeur 9 se traduit par la partie de courbe 14, 11 sur la figure 2.

[0056] La portion de débit q prélevée par le circuit de séparation d'impuretés 17 passe de l'état liquide à l'état gazeux par détente, puis de l'état gazeux à l'état supercritique par compression.

[0057] Le cycle thermodynamique correspondant au circuit de la figure 1 a également été représenté dans le diagramme pression-température de la figure 3.

[0058] Sur la courbe de changement d'état 25 représentée dans ce diagramme, on a porté le point critique 26 et le point triple 27 ainsi que la limite 30 des domaines 28 et 29 correspondant au CO₂ liquide et au CO₂ supercritique. Les points 11, 12, 13, 14, 15 et 16 portés sur le diagramme de la figure 3 correspondent aux points du circuit 1 où sont situés des éléments ayant les mêmes références.

[0059] On voit que le CO₂ utilisé dans le turbocom-

presseur (segment 11, 12) est à l'état supercritique et qu'il passe à l'état liquide par refroidissement dans l'échangeur 5 (segment 12, 13). Le débit résiduel Q-q de CO₂ renfermant des impuretés passe de l'état liquide à l'état supercritique par réchauffage dans l'échangeur 9 (segment 14, 11).

[0060] La fraction de débit prélevé q passe de l'état liquide à l'état gazeux, comme représenté par le segment 13, 15, le point 15 se trouvant dans le domaine 31 en-dessous de la courbe 25, correspondant au CO₂ gazeux. Le CO₂ gazeux est ensuite comprimé pour passer à l'état supercritique avant d'être réintroduit dans le débit résiduel Q-q (segment 15, 16).

[0061] Il apparaît donc que le procédé suivant l'invention permet de réaliser l'enlèvement d'impuretés dans le turbocompresseur, en continu, pendant le fonctionnement du turbocompresseur, dans la mesure où le débit prélevé q est suffisant pour éviter une saturation du CO₂ en impuretés provenant des salissures dissoutes dans la partie interne du turbocompresseur.

[0062] Comme indiqué plus haut, il est nécessaire de faire un compromis entre l'encrassement acceptable du turbocompresseur lors d'un fonctionnement de longue durée et le débit acceptable par le circuit de séparation d'impuretés 17.

[0063] L'invention ne se limite pas au mode de réalisation qui a été décrit.

[0064] En particulier, il est possible d'utiliser, pour la dissolution des salissures, d'autres substances que le CO₂ à l'état dense, en particulier supercritique. De telles substances peuvent être par exemple l'eau (H₂O) dans certains cas, si elle ne renferme pas de composés acides, ou les alcanes légers comme le propane (C₃H₈) ou le pentane (C₅H₁₂).

[0065] Il est possible également d'envisager d'utiliser le procédé suivant l'invention pour réaliser le nettoyage de turbomachines différentes de turbocompresseurs centrifuges.

Revendications

1. Procédé d'enlèvement de salissures dans une partie interne d'une turbomachine (1), pendant le fonctionnement de la turbomachine qui comporte une entrée (11) et une sortie (12) pour un gaz de procédé, dans lequel on introduit, à l'entrée (11) de la turbomachine (1), dans le gaz de procédé, une substance à l'état dense, en particulier supercritique, on récupère, à la sortie (12) de la turbomachine, un fluide constitué par le gaz de procédé et la substance renfermant des impuretés constituées par des salissures à l'état dissout, on réalise une séparation en continu sur le fluide pour obtenir un courant de gaz de procédé et un courant de la substance renfermant les impuretés et on recycle la substance, à l'état dense, à l'entrée de la turbomachine (1), caractérisé par le fait qu'on prélève en continu une

- fraction du courant de la substance renfermant les impuretés séparé du gaz de procédé et qu'on réintroduit le courant résiduel dans le gaz de procédé à l'entrée de la turbomachine (1), qu'on abaisse la pression de la substance dans la fraction du courant et qu'on vaporise ainsi la substance de la portion du courant prélevée, on sépare les impuretés de la substance à l'état gazeux dans la fraction du courant prélevée, on élève la pression de la substance de la fraction du courant prélevée, séparée des impuretés et on réintroduit la substance de la fraction de courant prélevée, à l'état supercritique, dans le courant résiduel de la substance renfermant les impuretés, avant son introduction dans le gaz de procédé à l'entrée (11) de la turbomachine (1).
2. Procédé suivant la revendication 1, **caractérisé par le fait que** la substance dissolvant les impuretés est à l'état supercritique et constituée par du dioxyde de carbone CO₂.
3. Procédé suivant la revendication 1, **caractérisé par le fait que** la substance dissolvant les salissures est à l'état supercritique et constituée par l'une au moins des substances suivantes : eau (H₂O), propane (C₃H₈), pentane (C₅H₁₂).
4. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, **caractérisé par le fait qu'on** abaisse la température du fluide constitué par le mélange du gaz de procédé et de la substance renfermant les impuretés en aval de la sortie (12) de la turbomachine, afin de mettre la substance renfermant les impuretés à l'état liquide avant de réaliser la séparation du gaz de procédé et du courant de la substance renfermant les impuretés.
5. Dispositif d'enlèvement en continu de salissures dans une partie interne d'une turbomachine (1) comportant une entrée (11) et une sortie (12) pour un gaz de procédé, **caractérisé par le fait qu'il** comporte un premier circuit (11, 12, 13, 7, 14, 7') permettant de mettre en circulation, à l'intérieur de la turbomachine (1), un fluide constitué par le gaz de procédé renfermant une substance susceptible de dissoudre les salissures à l'état dense et comprenant un séparateur (6) du gaz de procédé et de la substance renfermant des impuretés constituées par les salissures dissoutes et un second circuit (17, 15, 16) de séparation des impuretés sur une fraction (q) d'un débit total de fluide (Q) circulant dans le premier circuit (11, 12, 13, 7, 14, 7').
6. Dispositif suivant la revendication 5, **caractérisé par le fait que** le premier circuit (11, 12, 13, 7, 14, 7') comporte une vanne de réglage (8) de la fraction de débit prélevée (q) par le circuit (17).

7. Dispositif suivant l'une quelconque des revendications 5 et 6, **caractérisé par le fait que** le second circuit de séparation d'impuretés (15, 16, 17) comporte, en série, une vanne de détente (18), un séparateur de gaz et de liquide (19) et un compresseur ou une pompe haute pression (20).
8. Dispositif suivant l'une quelconque des revendications 5 à 7, **caractérisé par le fait que** le premier circuit (11, 12, 13, 14) comporte de plus, entre la turbomachine (1) et le séparateur (6), un premier échangeur de chaleur (5) pour abaisser la température d'un fluide constitué du gaz de procédé et de la substance renfermant les impuretés et, entre le circuit de nettoyage (17) et l'entrée (11) de la turbomachine (1), un second échangeur de chaleur (9) pour élever la température de la substance avant son introduction dans le gaz de procédé.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Entfernung von Schmutzpartikeln in einem Innenteil einer Turbomaschine (1) während des Betriebes der Turbomaschine, welche einen Eintritt (11) und einen Austritt (12) für ein Verfahrensgas umfaßt, bei welchem man am Eintritt (11) der Turbomaschine (1) in das Verfahrensgas eine Substanz im dichten Zustand, insbesondere im superkritischen Zustand, einführt, man am Austritt (12) der Turbomaschine ein Fluid, das durch das Verfahrensgas und die Substanz, welche durch die Schmutzteilchen im aufgelösten Zustand gebildet wird, gewinnt, man eine kontinuierliche Trennung an dem Fluid vornimmt, um eine Strömung von Verfahrensgas und eine Strömung von der Substanz, welche die Verunreinigungen einschließt, zu erhalten, und daß man die Substanz in dichtem Zustand zum Eintritt der Turbomaschine (1) rückführt, **dadurch gekennzeichnet, daß** man kontinuierlich eine Fraktion der Strömung, welche die aus dem Verfahrensgas abgetrennten Verunreinigungen einschließt, entnimmt, und man die Restströmung in das Verfahrensgas am Eintritt der Turbomaschine (1) wieder einführt, daß man den Druck der Substanz in der Fraktion der Strömung absenkt und daß man auf diese Weise die Substanz aus dem Teil der entnommenen Strömung verdampft, man die Verunreinigungen der Substanz im gasförmigen Zustand in der Fraktion der entnommenen Strömung abtrennt, man den Druck der von den Verunreinigungen abgetrennten Substanz der Fraktion der entnommenen Strömung erhöht, und man die Substanz der Fraktion der entnommenen Strömung im superkritischen Zustand in die Restströmung der Substanz, welche die Verunreinigungen einschließt, vor ihrer Einführung in das Verfahrensgas am Eintritt (11) der Turbomaschine (1) wieder ein-

führt.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Substanz, welche die Verunreinigungen auflöst, im superkritischen Zustand ist und durch Kohlendioxid, CO_2 , gebildet wird. 5
3. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Substanz, welche die Schmutzteilchen auflöst, im superkritischen Zustand ist und durch wenigstens eine der folgenden Substanzen gebildet wird: Wasser (H_2O), Propan (C_3H_8), Pentan (C_5H_{12}). 10
4. Verfahren nach irgendeinem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, daß** man die Temperatur des Fluids, das durch die Mischung des Verfahrensgases und die Substanz, welche die Verunreinigungen einschließt, strömungsabwärts von dem Austritt (12) der Turbomaschine absenkt, um die Substanz, welche die Verunreinigungen einschließt, in den flüssigen Zustand vor der Durchführung der Trennung des Verfahrensgases und der Strömung der Substanz, welche die Verunreinigungen einschließt, zu bringen. 15 20 25
5. Vorrichtung zur kontinuierlichen Entfernung von Schmutzpartikeln in einem Innenteil einer Turbomaschine (1), welche einen Eintritt (11) und einen Austritt (12) für ein Verfahrensgas umfaßt, **dadurch gekennzeichnet, daß** sie umfaßt: einen ersten Kreislauf (11, 12, 13, 7, 14, 7'), der es erlaubt, im Inneren der Turbomaschine (1) ein Fluid in Zirkulation zu versetzen, das durch das Verfahrensgas gebildet wird, welches eine Substanz einschließt, die zum Auflösen der Schmutzpartikel im dichten Zustand in der Lage ist, und einen Separator (6) für das Verfahrensgas und die Substanz, welche die durch die aufgelösten Schmutzpartikel gebildeten Verunreinigungen einschließt, und einen zweiten 30 35 40 45
6. Vorrichtung nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, daß** der erste Kreislauf (11, 12, 13, 7, 14, 7') ein Regelventil (8) der Fraktion des durch den Kreislauf (17) entnommenen Durchsatzes (q) umfaßt. 50
7. Vorrichtung nach irgendeinem der Ansprüche 5 und 6, **dadurch gekennzeichnet, daß** der zweite Kreislauf zur Trennung von Verunreinigungen (15, 16, 17) ein Entspannungsventil (18), einen Separator für Gas und Flüssigkeit (19) und einen Kompressor oder eine Hochdruckpumpe (20) in Serie umfaßt. 55

8. Vorrichtung nach irgendeinem der Ansprüche 5 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, daß** der erste Kreislauf (11, 12, 13, 14) weiter zwischen der Turbomaschine (1) und dem Separator (6) einen ersten Wärmetauscher (5) zum Absenken der Temperatur eines durch das Verfahrensgas und die die Verunreinigungen einschließende Substanz gebildeten Fluids, und zwischen dem Reinigungskreislauf (17) und dem Eintritt (11) der Turbomaschine einen zweiten Wärmetauscher (9) zum Erhöhen der Temperatur der Substanz vor ihrer Einführung in das Verfahrensgas umfaßt.

15 Claims

1. A method of removing contaminants from an internal part of a turbo-machine (1) during the operation of the turbo-machine, which comprises an inlet (11) and an outlet (12) for a process gas, wherein a substance in a dense state, particularly in a supercritical state, is introduced into the process gas at the inlet (11) of the turbo-machine (1), a fluid consisting of the process gas and the substance which contains impurities comprising the contaminants in a dissolved state is recovered at the outlet (12) of the turbo-machine, a continuous separation operation is performed on the fluid to obtain a flow of process gas and a flow of the substance containing the impurities, and the substance is recycled, in a dense state, to the inlet of the turbo-machine (1), **characterised in that** a fraction of the flow of the substance which contains the impurities and which has been separated from the process gas is continuously removed, and the residual flow is re-introduced into the process gas at the inlet of the turbo-machine (1), that the pressure of the substance in the fraction of the flow is reduced and the substance in the portion of the flow removed is thus vaporised, the impurities are separated from the substance in the gaseous state in the fraction of flow removed, the pressure of the substance in the fraction of flow removed, which has been separated from the impurities, is increased, and the substance in the fraction of flow removed is re-introduced, in a supercritical state, into the residual flow of the substance which contains the impurities, before said substance is introduced into the process gas at the inlet (11) of the turbo-machine (1).
2. A method according to claim 1, **characterised in that** the substance which dissolves the impurities is in a supercritical state and consists of carbon dioxide CO_2 .
3. A method according to claim 1, **characterised in that** the substance which dissolves the contaminants is in a supercritical state and consists of at

least one of the following substances: water (H_2O), propane (C_3H_8), pentane (C_5H_{12}).

4. A method according to any one of claims 1 to 3, **characterised in that** the temperature of the fluid consisting of the mixture of process gas and the substance which contains the impurities is reduced downstream of the outlet (12) of the turbo-machine, in order to transform the substance which contains the impurities into a liquid state before effecting the separation of the process gas from the flow of substance which contains the impurities. 5
10

5. A device for continuously removing contaminants from an internal part of a turbo-machine (1) which comprises an inlet (11) and an outlet (12) for a process gas, **characterised in that** it comprises a first circuit (11, 12, 13, 7, 14, 7') which enables a fluid consisting of the process gas which contains a substance in a dense state which is capable of dissolving contaminants to be placed in circulation in the interior of the turbo-machine (1), and which comprises a separator (6) for the process gas and the substance which contains the impurities consisting of dissolved contaminants, and a second circuit (17, 15, 16) for separating impurities from a fraction (q) of a total throughput of fluid (Q) which circulates in the first circuit (11, 12, 13, 7, 14, 7'). 15
20
25

6. A device according to claim 5, **characterised in that** the first circuit (11, 12, 13, 7, 14, 7') comprises a control valve (8) for the fraction (q) of the throughput removed by the circuit (17). 30

7. A device according to either one of claims 5 or 6, **characterised in that** the second impurity separation circuit (15, 16, 17) comprises, in series, a pressure reducing valve (18), a gas/liquid separator (19), and a compressor or high pressure pump (20). 35
40

8. A device according to any one of claims 5 to 7, **characterised in that** the first circuit (11, 12, 13, 14) additionally comprises, between the turbo-machine (1) and the separator (6), a first heat exchanger (5) for reducing the temperature of a fluid consisting of the process gas and the substance which contains the impurities, and, between the purification circuit (17) and the inlet (11) of the turbo-machine (1), a second heat exchanger (9) for increasing the temperature of the substance before the introduction thereof into the process gas. 45
50

55

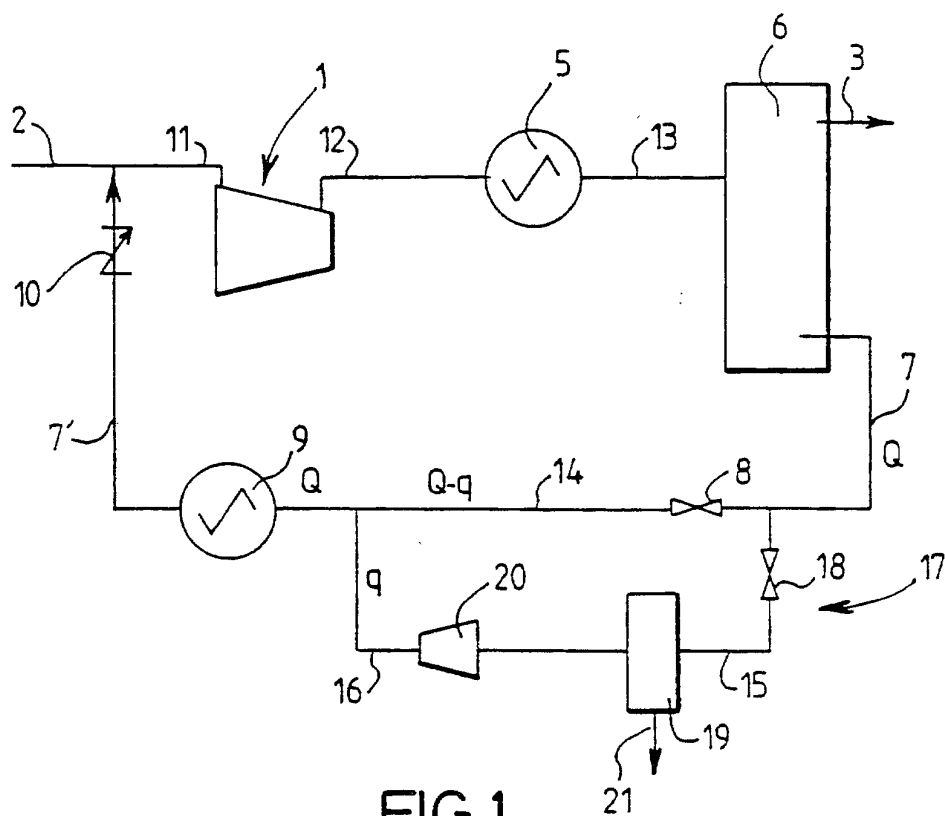


FIG. 1

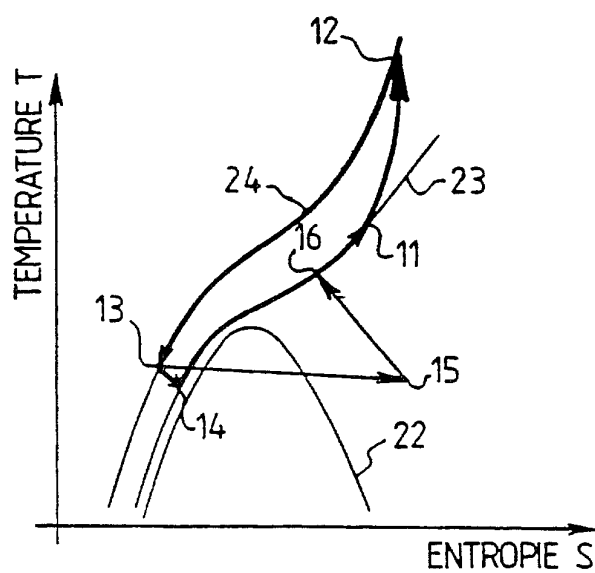


FIG. 2

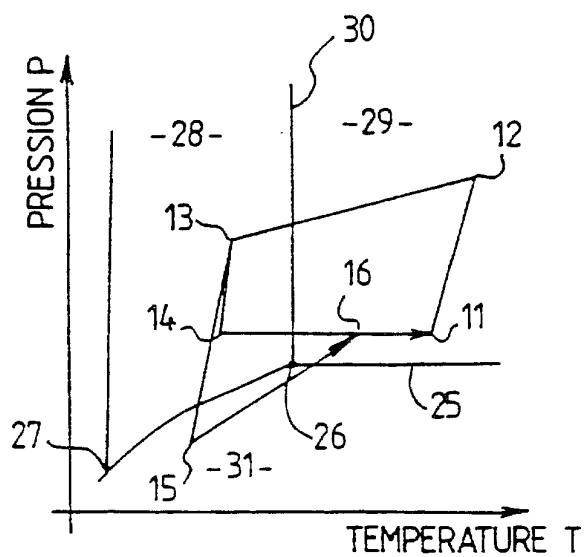


FIG. 3