(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
5. November 2009 (05.11.2009)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2009/132847 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
B64F 5/00 (2006.01) *B24C 1/00* (2006.01)
F01D 25/00 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2009/003120

(22) Internationales Anmeldedatum:
29. April 2009 (29.04.2009)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2008 021 746.8
30. April 2008 (30.04.2008) DE

(71) Anmelder *(für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US)*: **LUFTHANSA TECHNIK AG** [DE/DE]; Weg beim Jäger 193, 22335 Hamburg (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder *(nur für US)*: **GILJOHANN, Sebastian** [DE/DE]; Pallaswiesenstrasse 12, 64289 Darmstadt (DE). **PAUL, Manfred** [DE/DE]; Königsberger Strasse 22, 55299 Nackenheim (DE).

(74) Anwalt: **GLAWE DELFS MOLL**; Rothenbaumchaussee 58, 20148 Hamburg (DE).

(81) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart)*: AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

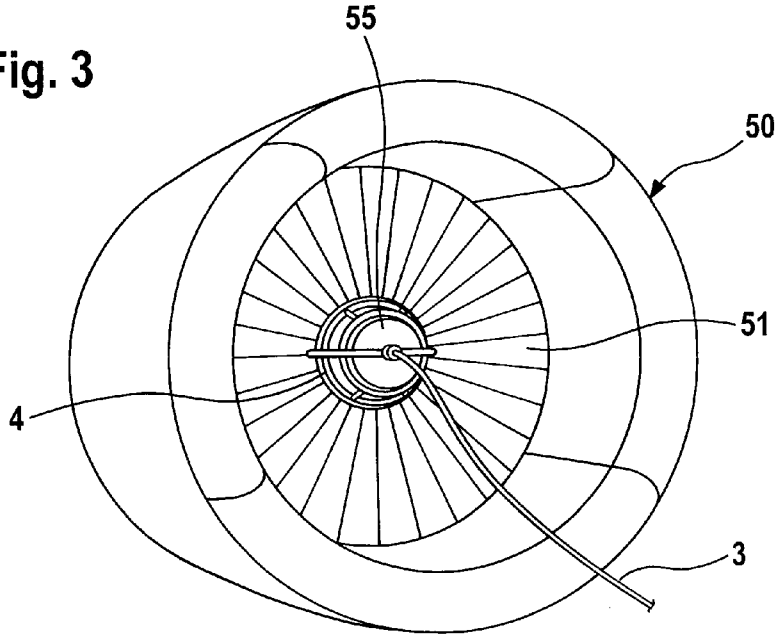
(84) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart)*: ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) **Title**: METHOD AND DEVICE FOR CLEANING A JET ENGINE USING SOLID CARBON DIOXIDE

(54) **Bezeichnung**: VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUM REINIGEN EINES STRAHLTRIEBWERKS UNTER VERWENDUNG VON FESTEM KOHLENDIOXID

Fig. 3



(57) **Abstract**: The invention relates to a device for cleaning a jet engine (50), comprising a supply unit (2) which provides the cleaning medium, a nozzle unit (4), which is configured for feeding the cleaning medium into the jet engine (50), and a line connection (3) between the supply unit (2) and the nozzle unit (4). According to the invention, the cleaning medium is solid carbon dioxide. The object of the invention is further an arrangement of such a device and a jet engine (50) and a method for cleaning a jet engine (50) using solid carbon dioxide.

(57) **Zusammenfassung**:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2009/132847 A1

Erklärungen gemäß Regel 4.17:

— *hinsichtlich der Identität des Erfinders (Regel 4.17 Ziffer i)*

— *hinsichtlich der Berechtigung des Anmelders, ein Patent zu beantragen und zu erhalten (Regel 4.17 Ziffer ii)*

— *Erfindererklärung (Regel 4.17 Ziffer iv)*

Veröffentlicht:

— *mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)*

— *vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eingehen (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe h)*

Gegenstand der Erfindung ist eine Vorrichtung zum Reinigen eines Strahltriebwerks (50), mit einer Versorgungseinrichtung (2), die Reinigungsmedium zur Verfügung stellt, einer Düseneinrichtung (4), die zum Einbringen des Reinigungsmediums in das Triebwerk (50) ausgebildet ist, und mit einer Leitungsverbindung (3) zwischen der Versorgungseinrichtung (2) und der Düseneinrichtung (4). Erfindungsgemäß ist vorgesehen, dass das Reinigungsmedium festes Kohlendioxid ist. Gegenstand der Erfindung ist ferner eine Anordnung aus einer solchen Vorrichtung und einem Strahltriebwerk (50) sowie ein Verfahren zum Reinigen eines Strahltriebwerks (50) unter Verwendung von festem Kohlendioxid.

VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUM REINIGEN EINES STRAHLBETRIEBWERKS UNTER VERWENDUNG VON FESTEM KOHLENDIOXID

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung, eine Anordnung sowie ein Verfahren zum Reinigen eines Flugzeugstrahltriebwerks.

Flugzeugstrahltriebwerke besitzen in bekannter Weise eine oder mehrere Kompressorstufen, eine Brennkammer, sowie eine oder mehrere Turbinenstufen. In den Turbinenstufen geben die aus der Brennkammer stammenden heißen Verbrennungsgase einen Teil ihrer thermischen und mechanischen Energie ab, die zum Antrieb der Kompressorstufen genutzt wird. Strahltriebwerke von kommerziellen Verkehrsflugzeugen weisen heute weit überwiegend einen sogenannten Turbofan auf, der stromaufwärts von den Kompressorstufen angeordnet ist und in der Regel einen erheblich größeren Durchmesser als die Kompressorstufen aufweist. Der Turbofan wird ebenfalls durch die Turbinenstufen angetrieben und lässt einen erheblichen Teil der das Triebwerk insgesamt durchströmenden Luft als sogenannten Nebenluftstrom an den Kompressorstufen, der Brennkammer und den Turbinenstufen vorbeiströmen. Durch einen solchen Nebenstrom kann der Wirkungsgrad eines Triebwerks erheblich gesteigert und außerdem noch für eine verbesserte Geräuschdämmung des Triebwerks gesorgt werden.

Eine Verschmutzung eines Flugzeugstrahltriebwerks kann zu einer Reduktion des Wirkungsgrades führen, was einen erhöhten Kraftstoffverbrauch und damit eine erhöhte Umweltbelastung zur Folge hat. Die Verschmutzung kann beispielsweise durch Insekten, Staub, Salznebel oder sonstigen Umweltverunreinigungen hervorgerufen werden. Teile des Triebwerks können durch Verbrennungsrückstände der Brennkammer kontaminiert werden. Diese Verunreinigungen bilden einen Belag auf den mit Luft durchströmten Teilen eines Flugzeugtriebwerks und beeinträchtigen die Oberflächengüte. Damit wird der thermodynamische Wirkungsgrad des Triebwerks beeinträchtigt. Hierbei sind insbesondere die Schaufeln in den Kompressorstufen zu nennen, deren Ver-

schmutzung einen erheblichen Einfluss auf den Wirkungsgrad des gesamten Triebwerks hat.

Zur Beseitigung von Verunreinigungen ist bekannt, ein Triebwerk mit einer Reinigungsflüssigkeit, in der Regel heißes Wasser, zu reinigen. Aus der WO 2005/120953 ist eine Anordnung bekannt, bei der eine Mehrzahl von Reinigungsdüsen stromaufwärts des Turbofans bzw. der Kompressorstufen angeordnet werden. Die Reinigungsflüssigkeit wird dann in das Triebwerk gesprüht. Das Triebwerk kann sich dabei im sogenannten Dry-Cranking, d.h. die Schaufeln des Triebwerks rotieren, ohne dass in der Brennkammer Kerosin verbrannt wird, drehen. Durch die in das Triebwerk eingebrachte Reinigungsflüssigkeit sollen Verschmutzungen so von den Oberflächen der Triebwerkskomponenten abgewaschen werden.

Alternativ zur Verwendung von Wasser als Reinigungsmedium ist die Verwendung von Kohlenstaub bekannt. Der Kohlenstaub wird dabei wie das Wasser durch Düsen in das Triebwerk eingebracht und trägt Verunreinigungen von Oberflächen aufgrund von abrasiven Effekten ab. Allerdings wird durch den Kohlestaub auch die Oberfläche der Triebwerksteile angegriffen, weshalb ein Reinigungsmedium wie Kohlenstaub sich nicht für die regelmäßige Reinigung von Flugzeugtriebwerken eignet. Außerdem bleiben beim Reinigen mit Kohlenstaub ungewünschte Reste des Reinigungsmaterials im Triebwerk zurück.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Vorrichtung, eine Anordnung und ein Verfahren zu schaffen, die eine verbesserte Reinigung von Flugzeugtriebwerken ermöglichen.

Diese Aufgabe wird gelöst durch eine Vorrichtung gemäß dem Anspruch 1, eine Anordnung gemäß Anspruch 19 bzw. ein Verfahren gemäß Anspruch 22. Vorteilhafte Weiterbildungen ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen.

Demnach betrifft die Erfindung eine Vorrichtung zum Reinigen eines Strahltriebwerks mit einer Versorgungseinrichtung, die ein Reinigungsmedium zur Verfügung stellt, einer Düseneinrichtung, die zum Einbringen des Reinigungsmediums in das Strahltrieb-

werk ausgebildet ist, und einer Leitungsverbindung zwischen der Versorgungseinrichtung und der Düseneinrichtung, wobei das Reinigungsmedium festes Kohlendioxid aufweist bzw. vorzugsweise daraus besteht.

Die Erfindung betrifft weiterhin eine Anordnung aus einem Strahltriebwerk und einer erfindungsgemäßen zur Vornahme einer Reinigung des Strahltriebwerks geeignete Vorrichtung, wobei die zur Vornahme der Reinigung des Strahltriebwerks geeignete Vorrichtung stromaufwärts des Turbofans oder der Kompressorstufen so angeordnet ist, dass die Düsen der Vorrichtung auf den Turbofan oder die Kompressorstufen gerichtet sind.

Die Erfindung betrifft weiterhin ein Verfahren zum Reinigen eines Strahltriebwerks mit einem Reinigungsmittel, wobei als Reinigungsmittel festes Kohlendioxid verwendet wird.

Das feste Kohlendioxid kann in der Versorgungseinrichtung in Form von Pellets bereitgestellt werden, die mit Hilfe eines Treibgases aus der Düseneinrichtung gesprüht werden. Es ist aber auch möglich, flüssiges Kohlendioxid als Vorstufe des Reinigungsmediums in der Versorgungseinrichtung vorzusehen. Das flüssige Kohlendioxid erstarrt beim Austritt aus der Düseneinrichtung wenigstens teilweise und bildet eine feste Komponente in Form von Kohlendioxidflocken.

Kommt flüssiges Kohlendioxid mit Umgebungsluft in Kontakt, in dem es z.B. durch eine Düse austritt, so nimmt ein Teil sogleich Gasform an. Ein anderer Teil des Kohlendioxids wird in Form von Flocken fest. Dies rührt daher, dass der aus der flüssigen in den gasförmigen Zustand übergehende Teil des Kohlendioxids sehr viel Wärme bindet, welche dem übrigen noch flüssigen Teil entzogen wird, wodurch die Temperatur desselben bis zu dem Erstarrungspunkt des Kohlendioxids sinkt. Das feste Kohlendioxid erhält man auf diese Weise als weiße, schneeartige Flocken, welche sich an der Luft ziemlich lange halten, und zwar unabhängig von der Temperatur der Luft. Wegen der schlechten Leitfähigkeit für Wärme und der sehr niedrigen Temperatur des festen Kohlendioxids findet nämlich nur ein sehr langsames Sublimieren statt. Das aus den Flo-

cken fortwährend gasförmig entweichende Kohlendioxid bildet eine Schutzschicht um die Flocken, der in der Regel einen direkten Kontakt mit den festen Flocken verhindert.

Pellets können in einem sog. Pelletiser aus flüssigem CO_2 hergestellt werden und sind gut lagerungsfähig. Es kann vorgesehen sein, dass die Versorgungseinrichtung bereits vorgefertigte Pellets mit Hilfe eines Treibgases zur Düseneinrichtung befördert. Es ist aber auch möglich, dass die Versorgungseinrichtung eine Vorrichtung aufweist, um aus flüssigem Kohlendioxid Kohlendioxidpellets zu formen, und diese mit einem Treibgas zur Düseneinrichtung befördert. In beiden Fällen tritt das feste Kohlendioxid aus den Düsen der Düseneinrichtung aus und gelangt in das zu reinigende Triebwerk.

In dem Dokument „Carbon Dioxide Blasting Operations" der US-Streitkräfte ist die Technik zur Herstellung von CO_2-Flocken und Pellets beschrieben. CO_2-Flocken entstehen bei Austritt von flüssigem und/oder gasförmigen CO_2 aus einer Düse durch die Verdampfungskälte des austretenden CO_2. Pellets weisen eine höhere Dichte als Flocken auf und werden bspw. durch eine Verdichtung von festem CO_2 (bspw. Flocken) in einem Pelletiser oder dergleichen gewonnen.

Gegenüber Wasser bietet Kohlendioxid als Reinigungsmedium den Vorteil, dass es bei beliebigen Außentemperaturen eingesetzt werden kann, d.h. auch bei Temperaturen unter 5 °C. Deshalb kann es ganzjährig zum Einsatz kommen. Außerdem sublimieren die Kohlendioxidflocken nach einiger Zeit vollständig, so dass es zu keinen Rückständen im Triebwerk kommt. Durch die angesprochene Schutzschicht durch das aus den Flocken entweichende Gas wirken die Kohlendioxidflocken auch nicht abrasiv, wie z.B. das bereits bekannte Reinigungsmedium Kohlenstaub. Vielmehr kommt die Reinigungswirkung im Wesentlichen durch thermische Effekte zu Stande. Aufgrund der durch die Kohlendioxidflocken induzierten Wärme-Kälte-Spannungen werden die Verunreinigungen von den Oberflächen der Triebwerksteile abgelöst. Der abgelöste Schmutz wird entweder durch den bereits im Dry-Cranking vorhandenen Luftstrom aus dem Triebwerk geblasen, spätestens jedoch beim erstmaligen Anlassen des Triebwerks nach einer Reinigung mit Kohlendioxid.

Wie angesprochen bleiben nach einer Reinigung mit Kohlendioxid keinerlei Rückstände, welche den Betrieb beeinträchtigen könnten, im Motor, da die Kohlendioxidflocken oder Pellets vollständig sublimieren. Der Betrieb des Triebwerks und damit des gesamten Flugzeugs ist durch den Wegfall von möglichen Rückständen, und damit einer möglichen Stör- bzw. Fehlerquelle, noch sicherer.

Die Versorgungseinrichtung stellt das Reinigungsmedium zur Verfügung (beispielsweise in einem oder mehreren Tanks) und kann mit Bedienungs- und Antriebseinrichtungen, Pumpen, Energiespeichern oder dergleichen versehen sein. Sie ist vorzugsweise als mobile, insbesondere fahrbare Einheit ausgebildet.

Die Düseneinrichtung weist eine oder mehrere Düsen für das Reinigungsmedium auf. Die Düsen sind bei Verwendung von flüssigem Kohlendioxid vorzugsweise so ausgebildet, dass die Bildung von Flocken bei Austritt von Kohlendioxid durch die Düsen gefördert wird. Die Düseneinrichtung kann dabei entweder getrennt von dem Triebwerk aufgestellt werden oder aber am Triebwerk bzw. dessen Komponenten befestigt werden. Die Versorgungseinrichtung und die Düseneinrichtung sind über eine Leitungsverbindung miteinander verbunden. Diese Leitungsverbindung dient insbesondere der Zufuhr des (vorzugsweise unter Druck stehenden und ggf. gekühlten) Reinigungsmediums zu den Düsen der Düseneinrichtung. Die Leitungsverbindung ist bevorzugt flexibel und kann insbesondere einen ggf. druckfesten Schlauch aufweisen.

Die Düseneinrichtung der erfindungsgemäßen Vorrichtung kann so stromaufwärts vor einem Turbofan bzw. den Verdichtungsstufen eines Triebwerks positioniert werden, dass die an den Düsen entstehenden Flocken oder die Pellets in das Triebwerk gelangen. Dabei kann der Impuls, den die Flocken nach dem Austreten des Kohlendioxids aus den Düsen aufweisen, ausreichend sein. Es kann aber auch vorgesehen sein, dass sich das Strahltriebwerk im Dry-Cranking Betrieb bewegt, und der so entstehende Luftzug durch das Triebwerk die Verteilung des festen Kohlendioxids fördert. Durch das Rotieren des Triebwerks im Dry-Cranking kann außerdem sichergestellt werden, dass alle Teile des Triebwerks von dem Reinigungsmedium umströmt werden. Somit kann eine umfassende Reinigung gewährleistet werden.

Bei einem Triebwerk mit Nebenstrom, d.h. mit einem Turbofan, kann die Düseneinrichtung durch Ausrichtung der Düsen so ausgebildet sein, dass das Reinigungsmedium besonders in die Kompressorstufen eingebracht wird. Von den Kompressorstufen wird das Reinigungsmedium dann weiter in die Brennkammer und die Turbinenstufen getragen. Verschmutzungen in den genannten Bauteilen haben große Auswirkungen auf den Wirkungsgrad des gesamten Triebwerks. Daher ist eine gründliche Reinigung besonders dieser Triebwerkskomponenten wichtig.

Die Düseneinrichtung weist eine oder mehrere Düsen auf. Besonders bevorzugt ist es, wenn die Düseneinrichtung wenigstens zwei Düsen aufweist. Dadurch kann die besprühte Fläche vergrößert werden und die gesamte Fläche des Turbofans bzw. der Kompressorstufen kann überstrichen werden.

Es ist besonders bevorzugt, wenn die Düseneinrichtung Mittel zur drehfesten Verbindung mit der Welle des Turbofans und/oder der Kompressorstufen des Strahltriebwerks aufweist und eine Drehkupplung zwischen der Düseneinrichtung und der Leitungsverbindung vorgesehen ist. Durch die drehfeste Verbindung mit der Welle kann die Düseneinrichtung beim Dry-Cranking, d.h. beim langsamen Durchdrehen des Triebwerks ohne Einspritzung von Kerosin, mitrotieren. Insbesondere beim bevorzugten Einsatz von Flachstrahldüsen kann so sichergestellt werden, dass das Reinigungsmedium gleichmäßig im gesamten Triebwerk verteilt wird.

Um eine möglichst große Reinigungswirkung zu erzielen, sind die Düsen vorzugsweise als Flachstrahldüsen ausgeführt. Dabei ist bevorzugt, wenn die Strahlebene der Düsen im Bereich ihrer Austrittsöffnung im Wesentlichen in Radialrichtung des Strahltriebwerks weist, d.h. sie wird von zwei Achsen aufgespannt, von denen eine in Radialrichtung weist. Auf diese Weise kann der Flachstrahl besonders wirksam die gesamte Fläche der Kompressorstufen beim Dry-Cranking überstreichen.

Es ist weiter bevorzugt, dass die Strahlebene einen Anstellwinkel mit der Drehachse einschließt. Dies bedeutet, dass die Strahlrichtung nicht parallel zur Drehachse erfolgt, sondern mit dieser Achse einen Winkel einschließt. Die Strahlrichtung weist um diesen Winkel von der Axialrichtung ab. Bevorzugt ist es, wenn sich dieser Winkel nach dem

Einstellwinkel des Turbofans oder der vorderen Kompressorstufe richtet. Bei der vorderen Kompressorstufe handelt es sich in der Regel um eine nicht rotierende Statorstufe, die bei einer passenden Einstellung des Strahlwinkels zu deren Einstellwinkel von dem Flachstrahl teilweise durchstrichen werden können, so dass es zu einer wirksameren Reinigung der dahinterliegenden Kompressorstufen kommt.

Der Begriff der Drehkupplung zwischen Düseneinrichtung und der Leitungsverbindung ist funktionell zu verstehen und bezeichnet jegliche Einrichtung, die sich zum Herstellen einer hinreichend stabilen, bevorzugt druckfesten und flüssigkeitsdichten Verbindung zwischen dem stationärem Teil der Leitungsverbindung und der mit dem Fan mitrotierenden Düseneinrichtung eignet. Zweck der Drehkupplung ist es, das Reinigungsmedium aus der stationären Versorgungseinrichtung in die mitdrehende Düseneinrichtung zu leiten und dann aus den Düsen austreten zu lassen.

Es kann vorgesehen sein, dass die Düseneinrichtung so am Turbofan befestigt ist, dass ihre Düsen zwischen den Schaufeln des Turbofans hindurchweisen. Dadurch wird eine gezielte Reinigung der Kompressorstufen und daran anschließend der Brennkammer bzw. Turbinenstufen erreicht. Die beim Dry-Cranking mitdrehenden Düsen bestreichen dabei die erste Kompressorstufe gleichmäßig über den gesamten Umfang. Das Reinigungsmedium unterliegt dabei keiner Beeinträchtigung durch den in Strömungsrichtung davor angeordneten Turbofan und die Sprührichtung des Reinigungsmediums kann so an den Anstellwinkel der Schaufeln der ersten Kompressorstufe angepasst werden. Bei ortsfesten Anordnungen der Düsen vor dem Turbofan trifft ein wesentlicher Teil des Reinigungsmediums auf die Schaufeln des Turbofans und kann daher nicht, oder zumindest nicht direkt, zur Reinigung der Kompressorstufen beitragen. Der bevorzugten Ausführungsform liegt die Erkenntnis zugrunde, dass die gezielte Reinigung der Kompressorstufen, der Brennkammer und der Turbinenstufen wesentlich ist für die angestrebte Verbesserung des thermodynamischen Wirkungsgrads des gesamten Triebwerks. Eine möglicherweise gewünschte zusätzliche Reinigung des Turbofans kann dabei beispielsweise durch eine manuelle Reinigung oder aber durch separates Ansprühen des Turbofans mit dem Reinigungsmedium Kohlendioxid erreicht werden.

Die Massenverteilung der Düseneinrichtung ist bevorzugt rotationssymmetrisch um deren Drehachse. Auf diese Weise wird beim Mitrotieren der Düseneinrichtung keine wesentliche zusätzliche Unwucht eingebracht. Die Drehkupplung sitzt zu diesem Zweck bevorzugt im Wesentlichen zentrisch auf der Drehachse der erfindungsgemäßen Vorrichtung im montierten Zustand. Bevorzugt weist die Düseneinrichtung wenigstens zwei oder mehr Düsen auf, die bevorzugt rotationssymmetrisch um die Drehachse verteilt sind.

Die Austrittsöffnung der Düsen ist bevorzugt im von der Drehkupplung wegweisenden Endbereich der Düseneinrichtung angeordnet. Die Drehkupplung befindet sich bevorzugt im vorderen Bereich der Düseneinrichtung, d.h. in demjenigen Bereich, der im montierten Zustand stromaufwärts, also weg vom Einlass des Strahltriebwerks, weist. Die Austrittsöffnung der Düsen ist dementsprechend im davon wegweisenden axialen Endbereich der Düseneinrichtung vorgesehen, also im montierten Zustand in dem stromabwärts liegenden Endbereich. Diese Anordnung ermöglicht es, die Düsen bei der Montage auf der Welle des Fans eines Turbofan-Triebwerks entweder durch die Zwischenräume der Schaufeln hindurchzustecken, so dass sie unmittelbar vor der ersten Kompressorstufe angeordnet sind, oder aber zumindest gezielt so auszurichten, dass sie durch die Zwischenräume der Schaufeln des Turbofans hindurch direkt auf die erste Kompressorstufe sprühen.

Die Mittel zur drehfesten Verbindung mit der Welle des Turbofans des Strahltriebwerks umfassen bevorzugt Befestigungsmittel zur Befestigung an den Turbofanschaufeln, wie beispielsweise geeignet ausgebildete Haken, mit denen die Düseneinrichtung an den Hinterkanten (die stromabwärts liegenden Kanten) der Schaufeln des Turbofans eingehakt werden kann.

Die Düseneinrichtung kann zur drehfesten Fixierung mit der Welle des Turbofans eine Einrichtung zum im Wesentlichen formschlüssigen Aufsetzen auf die Wellennabe des Fans aufweisen. Turbofan-Triebwerke weisen nämlich in der Regel auf dem stromaufwärts gelegenen Ende der Welle des Turbofans eine konisch gekrümmte Nabe auf, die das Anströmverhalten der Luft verbessern soll. Auf diese Nabe können die entsprechenden Mittel zur drehfesten Verbindung aufgesetzt werden. „Im Wesentlichen form-

schlüssig“ bedeutet in diesem Zusammenhang, dass die Form der Wellennabe genutzt wird zur beabsichtigten Positionierung der Düseneinrichtung und zur Fixierung in der gewünschten Position. Es bedeutet nicht, dass die gesamte Fläche der Wellennabe formschlüssig umschlossen sein muss.

Beispielsweise kann die Einrichtung ein oder mehrere Ringteile aufweisen, mit denen sie auf die Wellennabe aufgesetzt werden kann. Bei einer Mehrzahl von Ringteilen weisen diese einen unterschiedlichen Durchmesser auf, der angepasst ist an den Durchmesser der Wellennabe in den entsprechenden Bereichen. Beispielsweise können zwei axial beabstandete Ringe unterschiedlichen Durchmessers vorgesehen sein, mit denen die Düseneinrichtung auf der Wellennabe positioniert und zentriert wird.

Spannseile können vorzugsweise zur weiteren Fixierung vorgesehen sein. Beispielsweise kann die Düseneinrichtung mittels der Ringteile auf der Wellennabe des Fans zentriert werden und dann mit Spannseilen, die an der Hinterkante der Turbofanschaufeln fixiert werden, verspannt werden. Erfindungsgemäß können Federeinrichtungen zum Vorspannen der Spannseile vorgesehen sein, damit die Düseneinrichtung mit einer definierten Kraft an die Wellennabe angedrückt wird.

Die Spannseile sind bevorzugt (beispielsweise mittels Haken) an den Turbofanschaufeln, bevorzugt an deren Hinterkante, befestigt. Die Versorgungseinrichtung für das Reinigungsmedium weist bevorzugt wenigstens einen Vorratstank für das Reinigungsmedium und wenigstens eine Pumpe zur Druckbeaufschlagung der Düseneinrichtung mit dem Reinigungsmedium auf. Der Vorratstank ist bevorzugt wärmeisoliert und mit Druck beaufschlagbar, damit das Reinigungsmittel Kohlendioxid länger im Vorratstank verweilen kann. Besonders bevorzugt ist es, wenn der Vorratstank eine Kühleinrichtung aufweist, um das Kohlendioxid auf der richtigen Temperatur zu halten.

Es ist außerdem bevorzugt, wenn die Vorrichtung so ausgebildet ist, dass die weiter unten beschriebenen Verfahrensparameter eingestellt werden können.

Gegenstand der Erfindung ist ferner eine Anordnung aus einem Strahltriebwerk und einer zur Vornahme einer Reinigung des Strahltriebwerks geeigneten Vorrichtung wie

vorgehend beschrieben. Die Anordnung ist dadurch gekennzeichnet, dass die zur Vornahme der Reinigung des Strahltriebwerks geeignete Vorrichtung so angeordnet ist, dass ihre Düsen auf den Einlauf des Strahltriebwerks gerichtet sind.

Sollen bei einem Turbofan-Triebwerk der Turbofan nicht durch das Reinigungsmedium aus der Vorrichtung gereinigt werden, kann bevorzugt vorgesehen sein, dass die Düseneinrichtung drehfest mit der Welle des Fans des Strahltriebwerks verbunden ist, die Drehachsen des Fans des Strahltriebwerks und der Düseneinrichtung im wesentlichen konzentrisch angeordnet sind, die Düsen der Düseneinrichtung einen radialen Abstand von der gemeinsamen Drehachse des Strahltriebwerks und der Vorrichtung aufweisen, der vorzugsweise kleiner ist als der Radius der ersten Kompressorstufe und die Austrittsöffnungen der Düsen in Axialrichtung hinter der Ebene des Turbofans angeordnet und/oder die Düsen in den Zwischenräumen der Turbofanschaufeln angeordnet und/oder auf Zwischenräume der Turbofanschaufeln ausgerichtet sind, so dass die Düsenstrahlen im wesentlichen ungehindert durch die Ebene des Turbofans hindurchtreten können.

Bevorzugt ist der Einstellwinkel der Strahlebenen der Düsen mit der Drehachse angepasst an den Einstellwinkel der in Strömungsrichtung des Triebwerks vorderen Kompressorstufenschaufeln. Auf diese Weise wird die Reinigungswirkung in den hinteren Kompressorstufen bzw. der Brennkammer und den Turbinenstufen verbessert.

Gegenstand der Erfindung ist ferner ein Verfahren zum Reinigen eines Strahltriebwerks mit einem Reinigungsmittel, wobei als Reinigungsmittel festes Kohlendioxid verwendet wird.

Besonders bevorzugt ist es, wenn das Verfahren unter Verwendung der oben beschriebenen Vorrichtung durchgeführt wird. Dabei weist das Verfahren vorzugsweise die folgenden Schritte auf:

a) Anbringung der Düseneinrichtung, so dass die Austrittsöffnung der Düsen auf den Einlass des Strahltriebwerks gerichtet sind;
b) Rotierenlassen des Strahltriebwerks;

c) Beaufschlagung der Düseneinrichtung mit Reinigungsmedium und Reinigung des Strahltriebwerks.

Es kann auch vorgesehen sein, dass die Düseneinrichtung an der Nabe des Fans des Strahltriebwerks angebracht wird, so dass die Austrittsöffnungen der Düsen auf die erste Kompressorstufe gerichtet sind.

Das Dry-Cranking bzw. Rotierenlassen des Strahltriebwerks während des Reinigungsvorgangs erfolgt bevorzugt mit einer Drehzahl von 50 bis 500 U/min, vorzugsweise 100 bis 300 U/min, weiter vorzugsweise 120 bis 250 U/min. Besonders bevorzugt ist eine Drehzahl zwischen 150 und 250 U/min. Das Reinigen kann auch im Leerlaufbetrieb des Triebwerks stattfinden. Die Drehzahl beträgt dann bevorzugt 500 bis 1500 U/min.

Die Dauer des Reinigungsvorgangs beträgt bevorzugt 1 bis 15 min, weiter vorzugsweise 2 bis 10 min, weiter vorzugsweise 3 bis 7 min.

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung wird im Folgenden anhand der Zeichnungen erläutert. Darin zeigen:

Fig. 1 eine erste erfindungsgemäße Vorrichtung zum Reinigen eines Strahltriebwerks;

Fig. 2 eine zweite erfindungsgemäße Vorrichtung zum Reinigen eines Strahltriebwerks;

Fig. 3 eine dritte erfindungsgemäße Vorrichtung zum Reinigen eines Strahltriebwerks;

Fig. 4 eine Ansicht der Düseneinrichtung von aus Fig. 3;

Fig. 5 einen Schnitt durch die Ebene B-B der Fig. 4 einer Düseneinrichtung, die auf die Wellennase eines Turbofans aufgesetzt ist;

Fig. 6 einen Schnitt durch die Ebene B-A der Fig. 4 einer Düseneinrichtung, die auf die Wellennase eines Fans aufgesetzt ist;

Fig. 7 in einem Detailausschnitt aus Fig. 5 die Drehkupplung;

Fig. 8 in einem Detailausschnitt aus Fig. 6 die Drehkupplung.

In Fig. 1 ist eine erste erfindungsgemäße Vorrichtung 1 zum Reinigen eines Strahltriebwerks 50 dargestellt.

Das Strahltriebwerk 50 ist ein Triebwerk mit Turbofan 51 und als solches schematisch dargestellt. Das Triebwerk 50 weist neben dem Turbofan 51, noch mehrere Kompressorstufen 52, eine Brennkammer 53 und Turbinenstufen 54 auf. Außerdem ist eine Wellennabe 55 vorgesehen, die drehfest mit dem Turbofan verbunden ist. Ein Teil des Luftstroms, der im Betrieb des Triebwerks 50 durch den Turbofan 51 geht, gelangt in die Kompressorstufen 52 und anschließend in die Brennkammer 53 und die Turbinenstufen 54; ein anderer Teil wird in einem Nebenstromkanal 56 an diesen Komponenten vorbeigeleitet.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung 1 besteht aus einer Versorgungseinrichtung 2, die einen Tank für das Reinigungsmedium umfasst, der zur Lagerung flüssigen Kohlendioxids geeignet ist, einer Kühleinrichtung zur Kühlung dieses Tanks und einer Pumpe. Mit der Pumpe kann das Reinigungsmedium durch eine Leitungsverbindung 3 zur Düseneinrichtung 4 gepumpt werden. Die Düseneinrichtung 4 weist zwei Düsen 5 auf, durch die das Reinigungsmittel austreten kann.

Als Reinigungsmittel wird flüssiges Kohlendioxid verwendet, bei der sich kurz nach Austritt aus den Düsen Flocken bilden. Diese Flocken gelangen in das Triebwerk und lösen aufgrund ihrer niedrigen Temperatur durch induzierte Kälte-Wärme-Spannungen die Verschmutzung von den Komponenten des Triebwerks. Dabei kann das Triebwerk im Dry-Cranking-Modus rotieren. Durch den dadurch entstehenden Luftstrom werden die Kohlendioxidflocken im gesamten Triebwerk verteilt. Außerdem kann so der gelöste Schmutz nach hinten aus dem Triebwerk geblasen und dort aufgefangen werden. Da

das feste Kohlendioxid nach einiger Zeit vollständig sublimiert, bleiben keine Rückstände im Triebwerk zurück. Auch die gelöste Verschmutzung muss nicht mehr vom Reinigungsmedium getrennt werden, sondern kann sofort entsorgt werden.

Die Düsen 5 der Düseneinrichtung 4 können so ausgerichtet sein, dass das feste Kohlendioxid hauptsächlich in die Kompressorstufen 52 und nicht in den Nebenstromkanal 56 gelangt.

Fig. 2 zeigt eine zweite erfindungsgemäße Vorrichtung zum Reinigen eines Strahltriebwerks 50. Hierbei ist die Düseneinrichtung 4 direkt am Triebwerk 50 befestigt. Sie wird über die Leitung 3 von der nicht dargestellten Versorgungseinrichtung mit dem Reinigungsmedium versorgt. Als Reinigungsmedium kommen hier Kohlendioxidpellets zum Einsatz, die in der nicht dargestellten Versorgungseinrichtung vorgehalten werden und mit Hilfe eines Treibgases aus den Düsen 5 der Düseneinrichtung 4 gesprüht werden. Die Vorrichtung aus Fig. 2 gleicht ansonsten der Vorrichtung aus Fig. 1, weshalb auf oben stehende Ausführungen verwiesen wird.

Die Vorrichtung zum Reinigen eines Strahltriebwerks 50 in Fig. 3 weist eine Düseneinrichtung 4 auf, die drehfest mit der Wellennabe 55 des Turbofans 51 verbunden ist. Die Düseneinrichtung 4 wird über die Leitung 3 von der nicht dargestellten Versorgungseinrichtung mit dem Reinigungsmedium Kohlendioxid versorgt. Die Düseneinrichtung 4 wird anhand der nachfolgenden Figuren näher erläutert.

Die Düseneinrichtung in Fig. 4 weist zwei Ringelemente 101, 102 auf, mit deren Hilfe die Düseneinrichtung auf eine Wellennabe 55 des Turbofans 51 eines Strahltriebwerks 50 aufgesetzt wird (siehe Fig. 3, 5 und 6). Im aufgesetzten Zustand umschließen die Ringelemente 101, 102 die Wellennabe 55 im Wesentlichen formschlüssig. Die beiden Ringelemente 101, 102 sind durch Radialstreben 104 miteinander verbunden. An der stromaufweisenden Spitze der Düseneinrichtung (bezogen auf die Strömungsrichtung des Triebwerks) ist eine insgesamt mit 105 bezeichnete Drehkupplung angeordnet. Von dieser Drehkupplung 105 erstrecken sich zwei radial nach außen führende Druckleitungen 106, die zwei Flachstrahldüsen 107 mit Reinigungsmedium speisen. In der Detailansicht der Figur 7 ist zu erkennen, dass die beiden Druckleitungen 106 über Radialka-

näle 108 und einen axialen Kanal 109 der Drehkupplung 105 in Flüssigkeitsverbindung stehen mit einer Zufuhrleitung 3, die die Drehkupplung 105 mit der in der Zeichnung nicht dargestellten Versorgungseinheit verbindet.

Die Druckleitungen 106 sind an den Kreuzungspunkten mit den Ringelementen 101, 102 an diesen Ringelementen fixiert und somit Teil der Tragstruktur der gesamten Düseneinrichtung 4.

Zur Befestigung der Düseneinrichtung 4 an der Wellennabe 55 des Turbofans 51 sind bei 111 angedeutete Spannseile vorgesehen, die mittels Haken 112 an den Hinterkanten des Turbofanschaufeln eingehakt werden. Wie in Figur 8 zu erkennen, werden die Spannseile 111 über an der Drehkupplung befestigte Spannseilführungen 117 zu der Drehkupplung geführt und dort an einem axial verschieblichen Spannring 113 befestigt. Druckfedern 114 stützen sich an einer Ringschulter 115 der Drehkupplung ab und bringen auf den Spannring 113 eine in Richtung weg von der Ringschulter 115 wirkende Kraft auf. Im aufgesetzten Zustand bringen die Druckfedern 114 auf die Spannseile 111 eine Vorspannung auf und sorgen damit für eine Fixierung der Düseneinrichtung mit der Nabe 55 des Turbofans 51. Durch eine Spannmutter 116, welche auf einem Gewinde des Kupplungsgehäuses 118 sitzt, wird der Spannring 113 stromaufwärts bewegt. Dadurch wird eine Spannkraft auf die Spannseile 111 übertragen und somit eine sichere Verbindung der Düseneinrichtung mit der Nabe des Fans hergestellt.

Zum Reinigen der Kompressorstufen 52, der Brennkammer 53 und der Turbinenstufen 54 eines Strahltriebwerks 50 mit Turbofan 51 wird die Düseneinrichtung 4 in der insbesondere aus den Figuren 5 und 6 erkennbaren Weise auf die Wellennabe 55 des Turbofans 51 aufgesetzt und an den Schaufeln des Turbofans 51 mittels der Haken 112 fixiert. Das Triebwerk wird in Drehung versetzt (dry-cranking). Über die Verbindungsleitung 3, die Drehkupplung 105 und die Druckleitungen 106 werden die Flachstrahldüsen 107 mit Reinigungsmedium aus der nicht dargestellten Versorgungseinrichtung gespeist. Dieses Reinigungsmedium überstreicht den Einlass der ersten Kompressorstufe über deren gesamten Umfang und führt so die Reinigung aus.

Patentansprüche

1. Vorrichtung zum Reinigen eines Strahltriebwerkes (50) mit einer Versorgungseinrichtung (2), die ein Reinigungsmedium zur Verfügung stellt, einer Düseneinrichtung (4), die zum Einbringen des Reinigungsmediums in das Strahltriebwerk (50) ausgebildet ist, und mit einer Leitungsverbindung (3) zwischen der Versorgungseinrichtung (2) und der Düseneinrichtung (4), dadurch gekennzeichnet, dass das Reinigungsmedium festes Kohlendioxid aufweist.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1,dadurch gekennzeichnet, dass das Reinigungsmedium Kohlenstoffpellets aufweist.

3. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Reinigungsmedium Kohlenstoffflocken aufweist.

4. Vorrichtung nach Anspruch 1, 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Düseneinrichtung (4) zum Einbringen des Reinigungsmediums in die Kompressorstufen (52) des Strahltriebwerks (50) ausgebildet ist.

5. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Düseneinrichtung (4) wenigstens zwei Düsen (5) aufweist.

6. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Düseneinrichtung (4) Mittel zur drehfesten Verbindung mit der Welle des Turbofans (51) des Strahltriebwerks (50) aufweist und eine Drehkupplung (105) zwischen der Düseneinrichtung (4) und der Leitungsverbindung (3) vorgesehen ist.

7. Vorrichtung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Massenverteilung der Düseneinrichtung (4) rotationssymmetrisch um deren Drehachse ist.

8. Vorrichtung nach Anspruch 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Düsen (5) Flachstrahldüsen sind.

9. Vorrichtung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Strahlebene im Bereich der Austrittsöffnung der Düsen (5) im Wesentlichen in Radialrichtung des Strahltriebwerks (50) weist.

10. Vorrichtung nach Anspruch 8 oder 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Strahlebene einen Anstellwinkel mit der Drehachse des Strahltriebwerks (50) einschließt.

11. Vorrichtung nach Anspruch 8, 9 oder 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Austrittsöffnungen der Düsen (5) im von der Drehachse der Düseneinrichtung (4) wegweisenden axialen Endbereich der Düseneinrichtung (4) angeordnet sind.

12. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 6 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass die Mittel zur drehfesten Verbindung mit der Welle des Turbofans (51) des Strahltriebwerks (50) Befestigungsmittel zur Befestigung an den Schaufeln des Turbofans (51) aufweisen.

13. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 6 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass die Mittel zur drehfesten Verbindung mit der Welle des Turbofans (51) des Strahltriebwerks (50) eine Einrichtung zum im Wesentlichen formschlüssigen Aufsetzen auf die Wellennase (55) des Turbofans (51) aufweisen.

14. Vorrichtung nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass die Einrichtung zum im Wesentlichen formschlüssigen Aufsetzen auf die Wellennabe (55) des Turbofans (51) wenigstens ein Ringteil (101, 102) und Spannseile (111) umfasst.

15. Vorrichtung nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass Federeinrichtungen (114) zum Vorspannen der Spannseile (111) vorgesehen sind.

16. Vorrichtung nach Anspruch 14 oder 15, dadurch gekennzeichnet, dass das Befestigungsmittel (112) zum Befestigen der Spannseile (111) an den Schaufeln des Turbofans (51) vorgesehen sind.

17. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass die Versorgungseinrichtung (2) wenigstens einen Vorratstank für das Reinigungsmedium und wenigstens eine Pumpe zur Druckbeaufschlagung der Düseneinrichtung (4) mit dem Reinigungsmedium aufweist, wobei der Vorratstank vorzugsweise mit Druck beaufschlagbar ist und/oder wärmeisoliert ist.

18. Vorrichtung nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, dass der Vorratstank (2) eine Kühleinrichtung aufweist.

19. Anordnung aus einem Stahltriebwerk (50) und einer zur Vornahme einer Reinigung des Stahltriebwerks geeignete Vorrichtung (1) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 17, dadurch gekennzeichnet, dass die zur Vornahme einer Reinigung des Stahltriebwerks (50) geeignete Vorrichtung (1) so angeordnet ist, dass ihre Düsen (5) auf den Einlauf des Strahltriebwerks (50) gerichtet sind, so dass das Reinigungsmittel in das Strahltriebwerk (50) gelangen.

20. Anordnung nach Anspruch 19, gekennzeichnet durch die folgenden Merkmale:

a) Die Düseneinrichtung (4) ist drehfest mit der Welle des Turbofans (51) des Strahltriebwerks (50) verbunden;

b) Die Drehachsen des Turbofans (51) des Strahltriebwerks (50) und der Düseneinrichtung (4) sind im Wesentlichen konzentrisch angeordnet;

c) Die Düsen (5) der Düseneinrichtung (4) weisen einen radialen Abstand von der gemeinsamen Drehachse des Strahltriebwerks (50) und der Düseneinrichtung (4) auf, der kleiner ist als der Radius der Eintrittöffnung der ersten Kompressorstufe;

d) Die Austrittsöffnungen der Düsen (5) sind in Axialrichtung hinter der Ebene des Turbofans (51) angeordnet und/oder die Düsen (5) sind in den Zwischenräumen der Schaufeln des Turbofans (51) angeordnet und/oder auf Zwischenräume der Schaufeln des Turbofans (51) ausge-

richtet, so dass die Düsenstrahlen im Wesentlichen ungehindert durch die Ebene des Turbofans (51) hindurch treten können.

21. Anordnung nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, dass die Strahlebene der Düsen (5) einen Anstellwinkel mit der Drehachse einschließt, der im Wesentlichen dem Anstellwinkel der Schaufeln der in Strömungsrichtung des Triebwerks vorderen Kompressorstufe entspricht.

22. Verfahren zum Reinigen eines Strahltriebwerks mit einem Reinigungsmittel, dadurch gekennzeichnet, dass als Reinigungsmittel festes Kohlendioxid verwendet wird.

23. Verfahren nach Anspruch 22, dadurch gekennzeichnet, dass das Kohlendioxid in Form von Pellets verwendet wird.

24. Verfahren nach Anspruch 22, dadurch gekennzeichnet, dass das Kohlendioxid in Form von Flocken verwendet wird.

25. Verfahren nach einem der Ansprüche 22 bis 24 dadurch gekennzeichnet ,dass eine Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 17 verwendet wird und das Verfahren die folgenden Schritte aufweist:

a) Anbringen der Düseneinrichtung (4), so dass die Austrittsöffnung der Düsen (5) auf den Einlass des Strahltriebwerks (50) gerichtet sind;

b) Rotierenlassen des Strahltriebwerks (50);

c) Beaufschlagung der Düseneinrichtung (4) mit Reinigungsmedium und Reinigen des Strahltriebwerks.

26. Verfahren nach Anspruch 25, dadurch gekennzeichnet, dass die Düseneinrichtung (4) an der Wellennabe (55) des Turbofans (51) des Strahltriebwerks (50) angebracht wird, so dass die Austrittsöffnungen der Düsen (5) auf die in Strömungsrichtung des Triebwerks vordere Kompressorstufe gerichtet sind.

27. Verfahren nach Anspruch 25 oder 26, dadurch gekennzeichnet, dass das Strahltriebwerk (50) mit einer Drehzahl von 50 bis 500 min^{-1}, vorzugsweise

100 bis 300 min^{-1}, weiter Vorzugsweise 120 bis 250 min^{-1} rotieren gelassen wird.

28. Verfahren nach einem der Ansprüche 25 bis 27, dadurch gekennzeichnet, dass das Reinigen des Strahltriebwerks (50) über einen Zeitraum von 1 bis 15 min, vorzugsweise 2 bis 10 min, weiter vorzugsweise 3 bis 7 min durchgeführt wird.

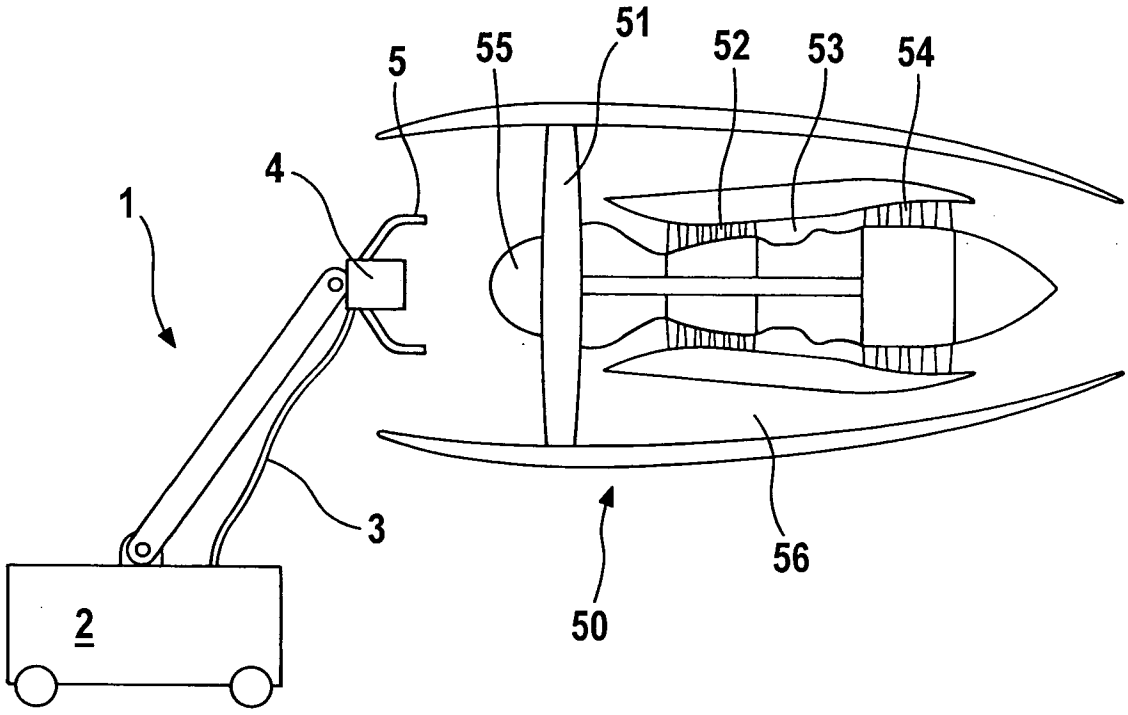


Fig. 1

Fig. 2

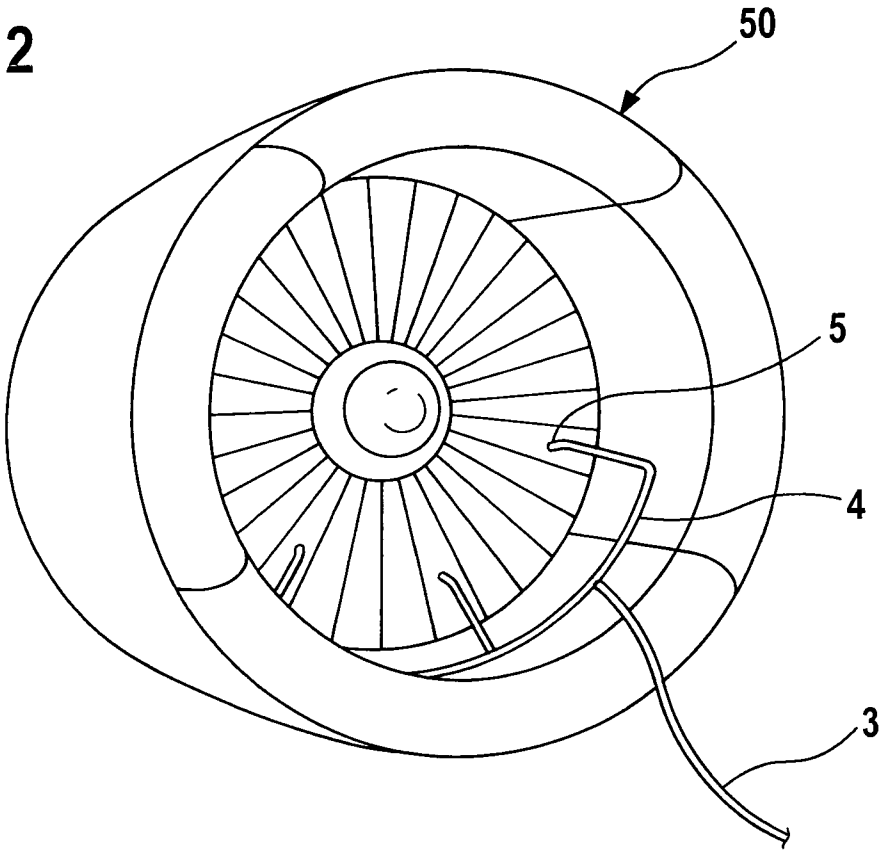
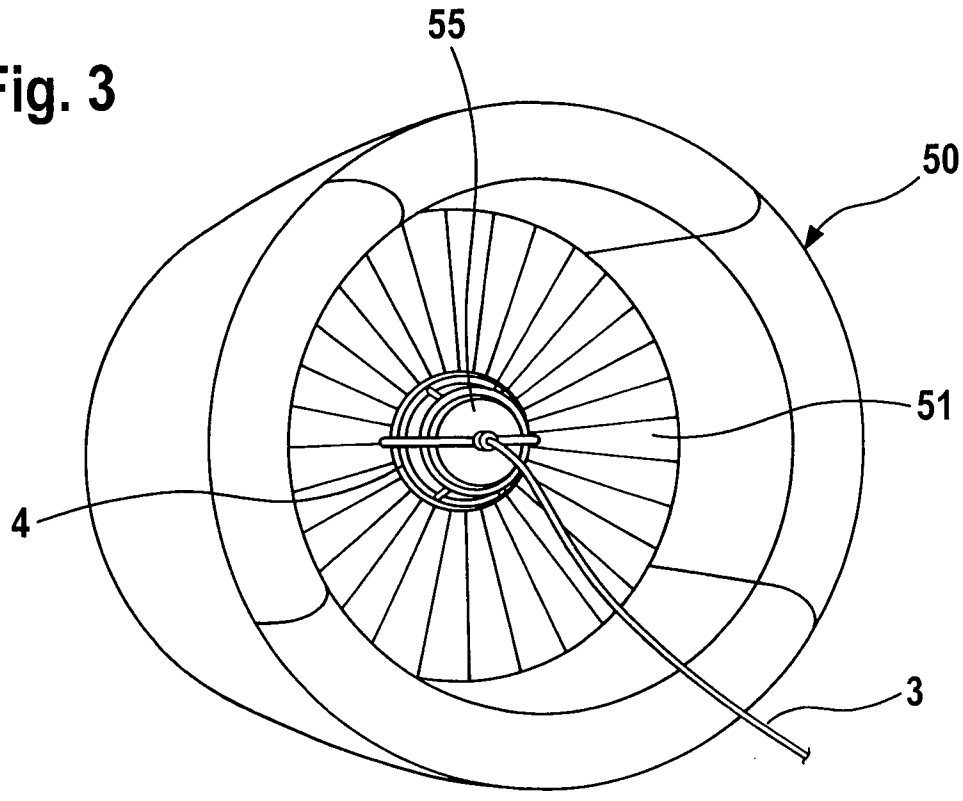


Fig. 3



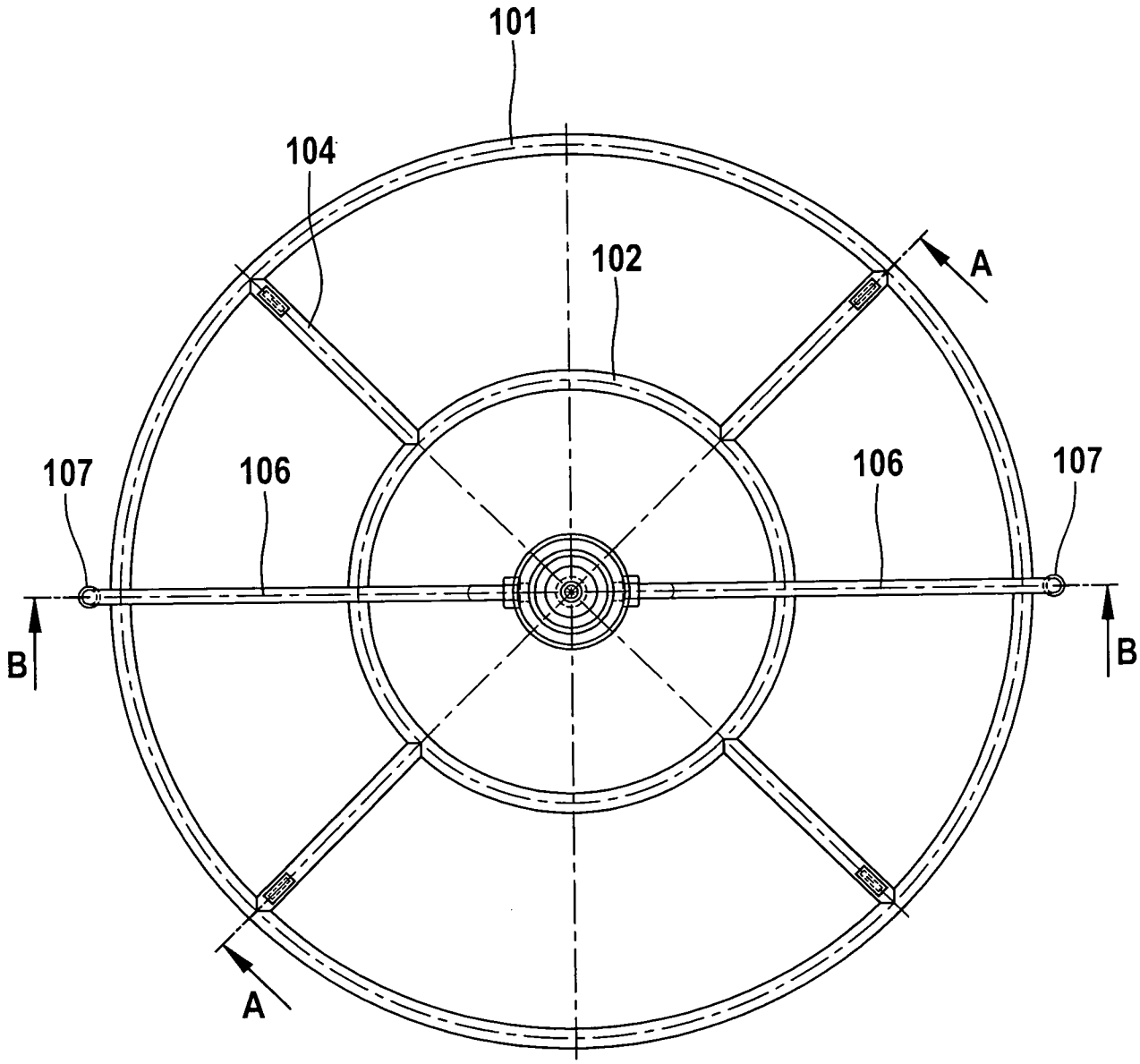


Fig. 4

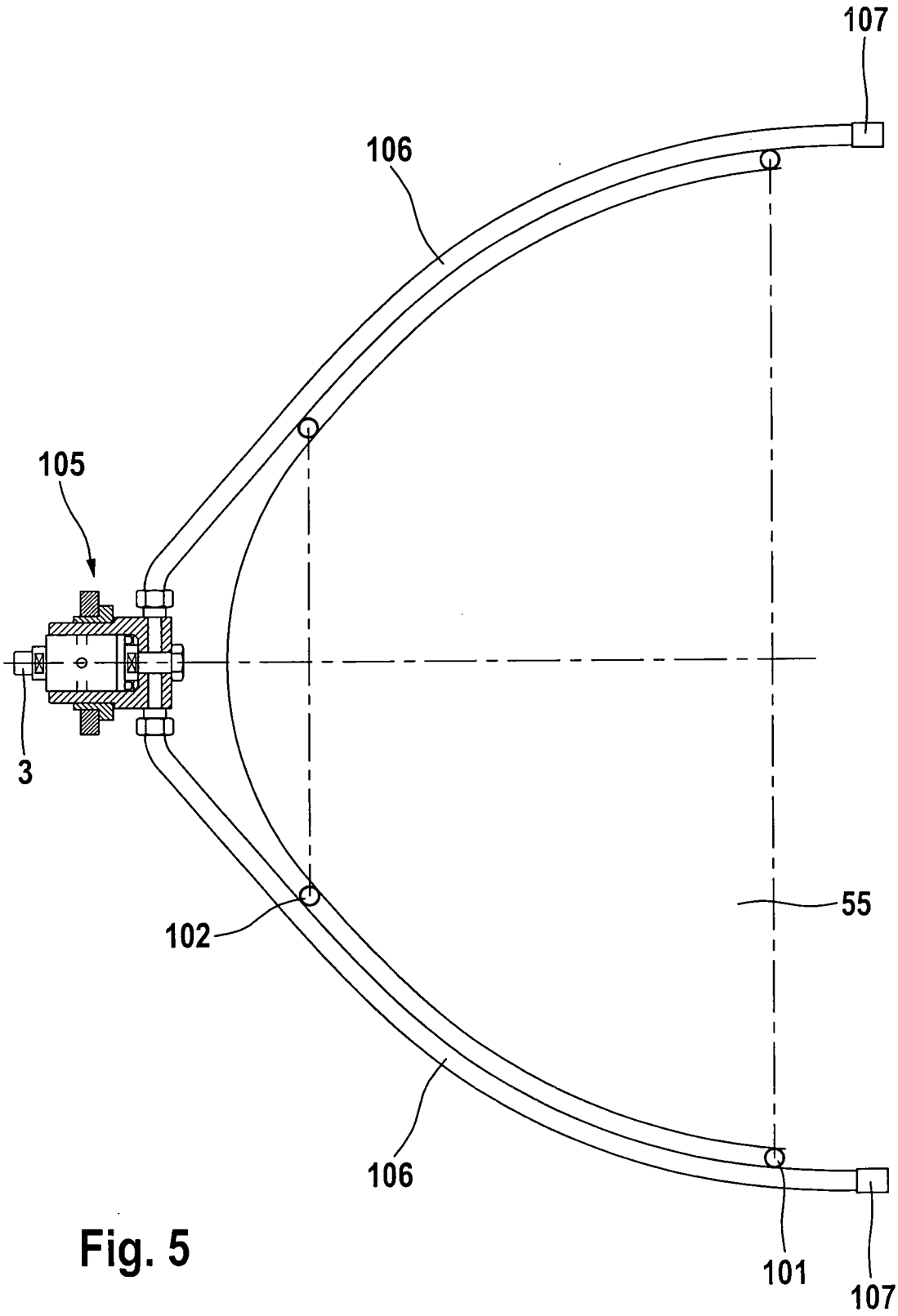


Fig. 5

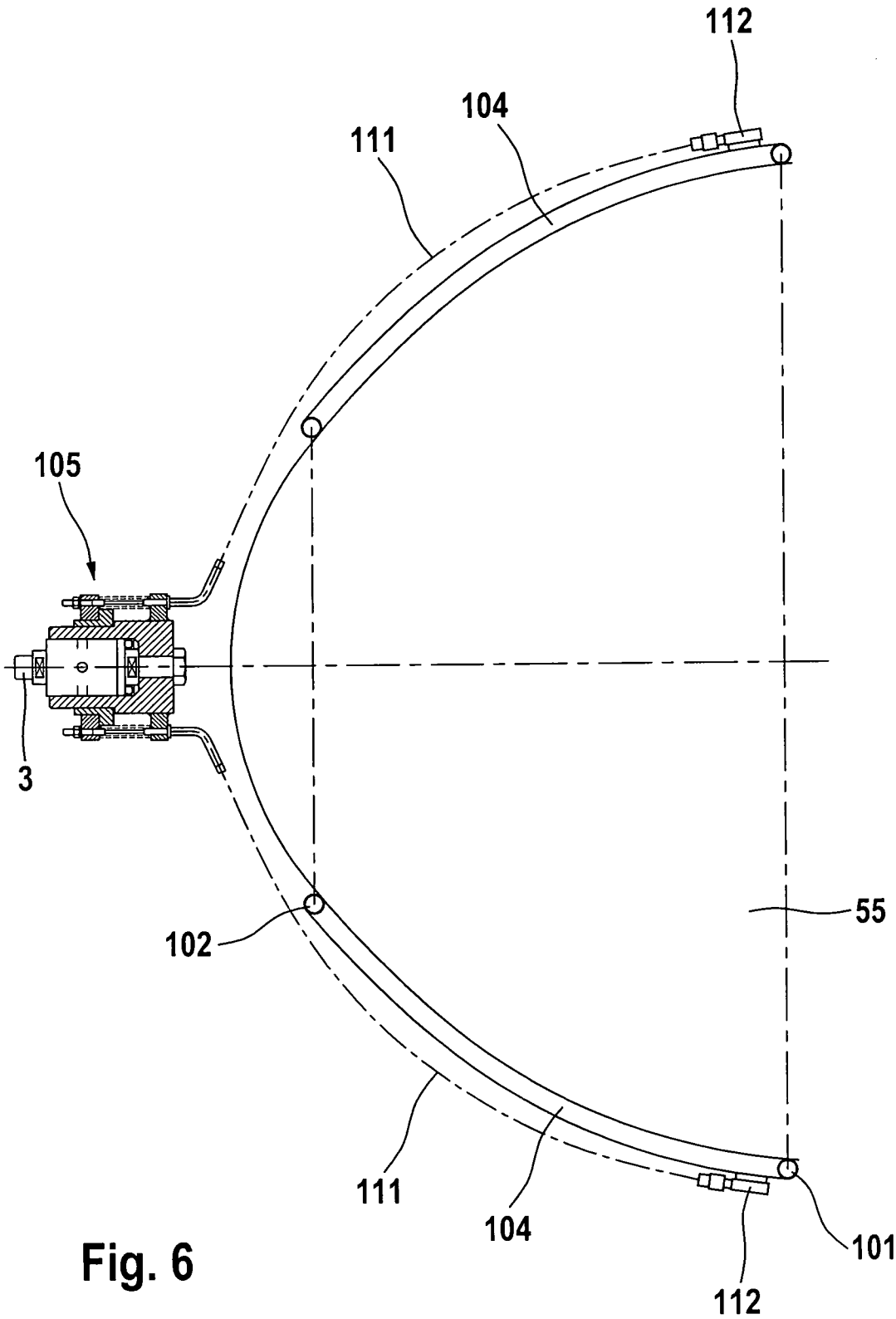


Fig. 6

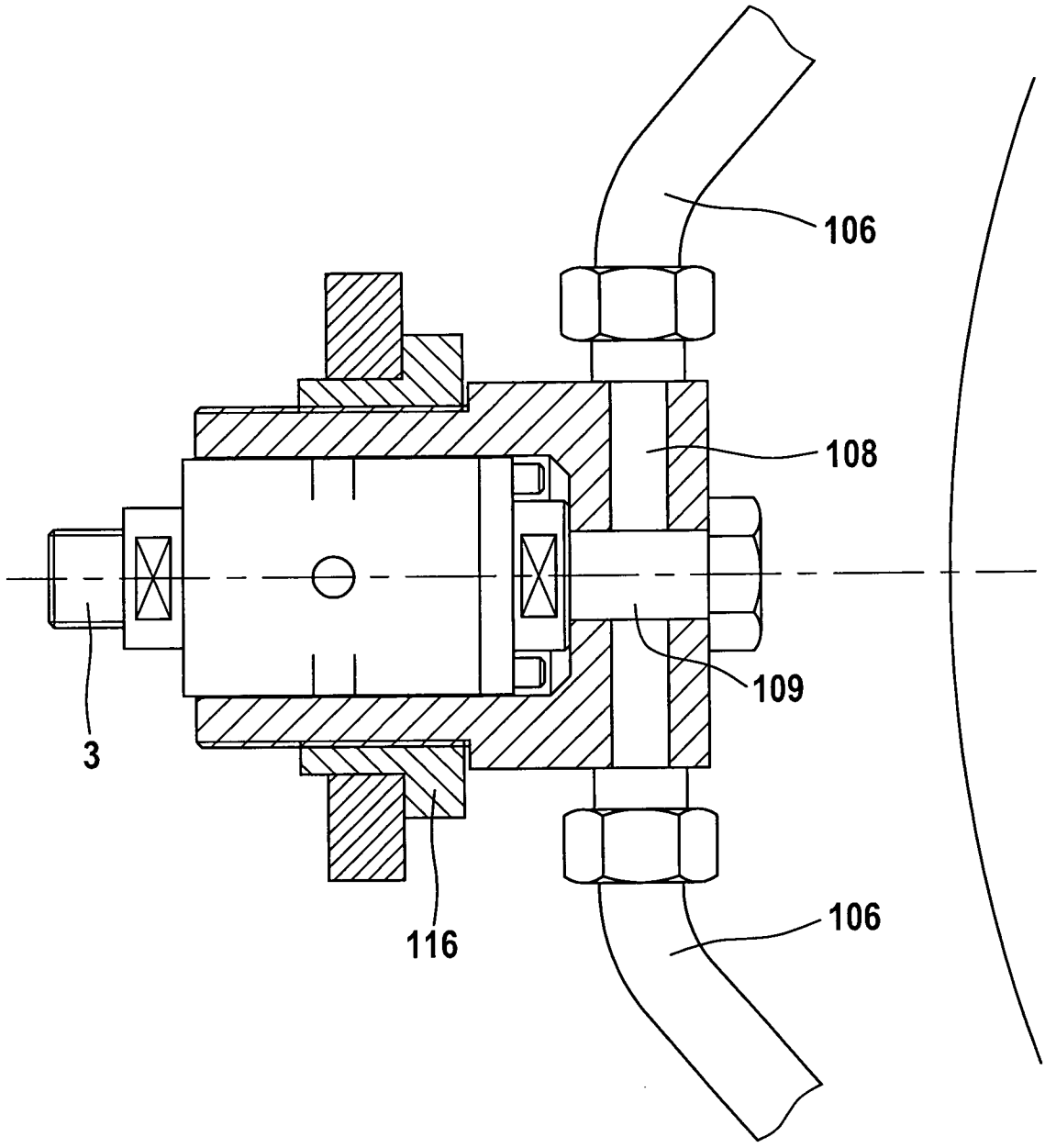


Fig. 7

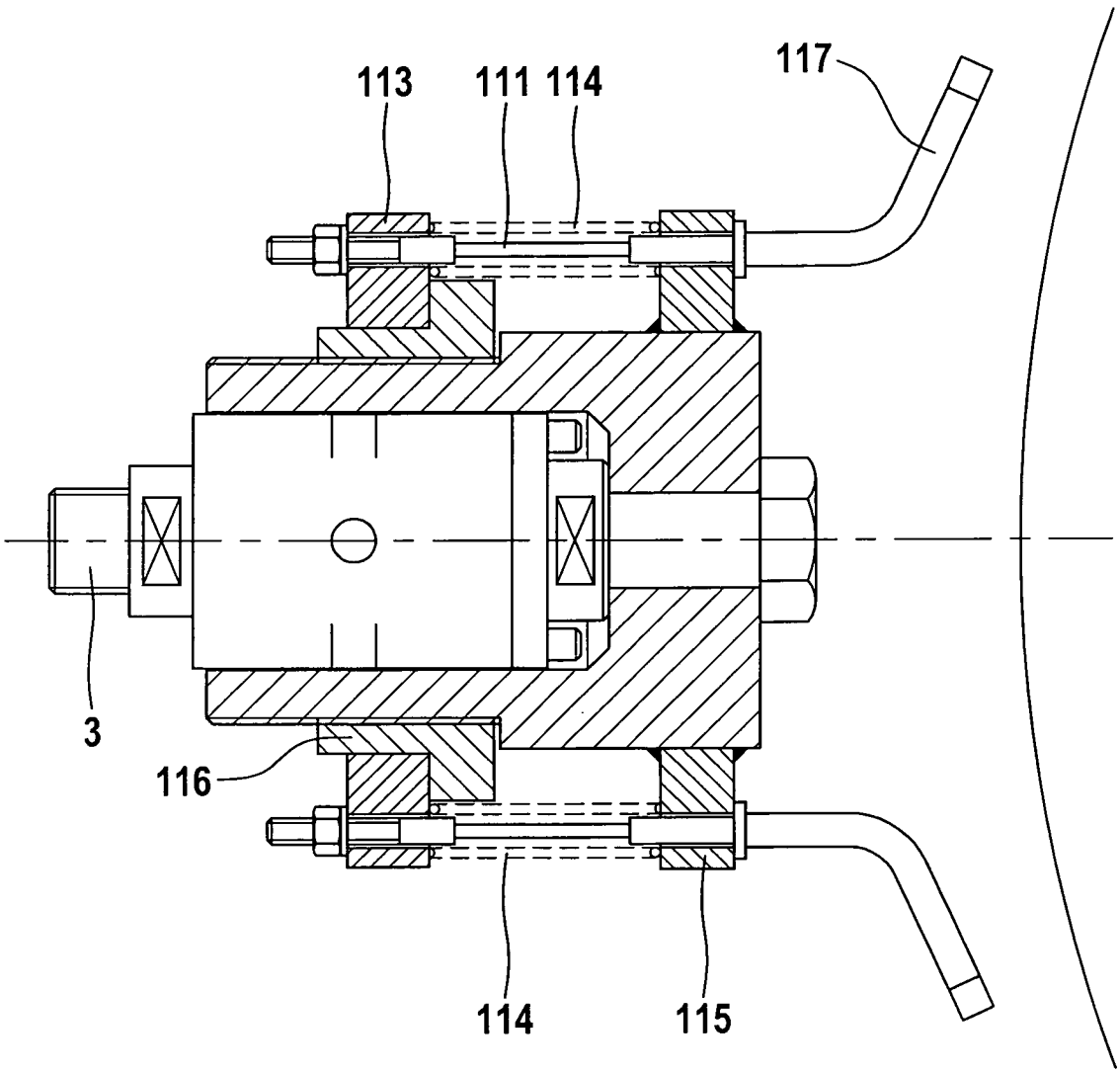


Fig. 8

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2009/003120

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. B64F5/00 F01D25/00 B24C1/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
B64F F01D B24C

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)
EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	WO 96/40453 A (GAS TURBINE EFFICIENCY AB [SE]; ASPLUND PETER [SE]) 19 December 1996 (1996-12-19) page 1, lines 5-10 page 2, line 24 - page 3, line 6 page 3, line 29 - page 4, line 10 page 4, lines 17-28 figures 1-4	1-5,17, 18,22-26
Y	JP 2000 042505 A (TOKYO SHIBAURA ELECTRIC CO; EBARA KOGYO SENJO KK) 15 February 2000 (2000-02-15) abstract; figure 1	1-5,17, 18,22-26

-/--

[X] Further documents are listed in the continuation of Box C.

[X] See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
25 August 2009	10/09/2009

Name and mailing address of the ISA/	Authorized officer
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Fernández Plaza, P

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (April 2005)

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 2005/120953 A (GAS TURBINE EFFICIENCY AB [SE]; HJERPE CARL-JOHAN [SE]) 22 December 2005 (2005-12-22) cited in the application page 1, lines 4-6 page 7, lines 13-18,24-27 page 8, line 19 - page 9, line 2 page 11, line 17 - page 18, line 17 page 19, line 18 - page 21, line 21; figures 3-9	1,22
A	WO 2005/077554 A (GAS TURBINE EFFICIENCY AB [SE]; HJERPE CARL-JOHAN [SE]; ASPLUND PETER) 25 August 2005 (2005-08-25) page 9, line 2 - page 12, line 3 page 14, line 24 - page 22, line 14 figures 1-7	1,22
P,A	US 7 445 677 B1 (ASPLUND PETER [SE]) 4 November 2008 (2008-11-04) column 1, lines 6-31 column 1, line 64 - column 2, line 33 column 2, line 60 - column 3, line 29 column 3, line 38 - column 6, line 53; figures 2-4	1,6-16, 22
P,A	EP 1 970 133 A (LUFTHANSA TECHNIK AG [DE]) 17 September 2008 (2008-09-17) paragraphs [0001], [0005] - [0033], [0035] - [0038]; figures 1-12	1,4-22, 25-28

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No
PCT/EP2009/003120

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 9640453 A	19-12-1996	EP 0830220 A1	25-03-1998
		JP 11507583 T	06-07-1999
		SE 504323 C2	13-01-1997
		SE 9502079 A	08-12-1996
		US 5868860 A	09-02-1999
JP 2000042505 A	15-02-2000	NONE	
WO 2005120953 A	22-12-2005	AR 049106 A1	28-06-2006
		AT 381482 T	15-01-2008
		AU 2004320619 A1	22-12-2005
		AU 2005251945 A1	22-12-2005
		BR PI0418904 A	27-11-2007
		BR PI0512030 A	06-02-2008
		CA 2506174 A1	14-12-2005
		CA 2570243 A1	22-12-2005
		CN 1788143 A	14-06-2006
		CN 1976843 A	06-06-2007
		DE 202004021368 U1	07-02-2008
		DE 202005021369 U1	03-01-2008
		DE 602005003944 T2	04-12-2008
		EP 1756399 A1	28-02-2007
		EP 1755952 A1	28-02-2007
		EP 1897806 A2	12-03-2008
		ES 2297725 T3	01-05-2008
		JP 4249243 B2	02-04-2009
		JP 2007534890 T	29-11-2007
		JP 2008504478 T	14-02-2008
		KR 20070043966 A	26-04-2007
		WO 2005121509 A1	22-12-2005
		US 2006081521 A1	20-04-2006
		US 2008040872 A1	21-02-2008
		US 2008216873 A1	11-09-2008
WO 2005077554 A	25-08-2005	AU 2004315589 A1	25-08-2005
		BR PI0418544 A	22-05-2007
		CA 2506113 A1	16-08-2005
		CN 1705524 A	07-12-2005
		DE 202004021367 U1	31-01-2008
		DE 202004021476 U1	17-04-2008
		EP 1715964 A1	02-11-2006
		JP 2007517161 T	28-06-2007
		US 2006048796 A1	09-03-2006
US 7445677 B1	04-11-2008	NONE	
EP 1970133 A	17-09-2008	AU 2008228521 A1	25-09-2008
		EP 1993744 A1	26-11-2008
		WO 2008113501 A1	25-09-2008

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2009/003120

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. B64F5/00 F01D25/00 B24C1/00

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
B64F F01D B24C

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)
EPO-Internal

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	WO 96/40453 A (GAS TURBINE EFFICIENCY AB [SE]; ASPLUND PETER [SE]) 19. Dezember 1996 (1996-12-19) Seite 1, Zeilen 5-10 Seite 2, Zeile 24 - Seite 3, Zeile 6 Seite 3, Zeile 29 - Seite 4, Zeile 10 Seite 4, Zeilen 17-28 Abbildungen 1-4	1-5,17, 18,22-26
Y	JP 2000 042505 A (TOKYO SHIBAURA ELECTRIC CO; EBARA KOGYO SENJO KK) 15. Februar 2000 (2000-02-15) Zusammenfassung; Abbildung 1	1-5,17, 18,22-26

-/--

[X] Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen [X] Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :
"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist
"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist
"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden
"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist
"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche	Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
25. August 2009	10/09/2009

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde	Bevollmächtigter Bediensteter
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Fernández Plaza, P

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	WO 2005/120953 A (GAS TURBINE EFFICIENCY AB [SE]; HJERPE CARL-JOHAN [SE]) 22. Dezember 2005 (2005-12-22) in der Anmeldung erwähnt Seite 1, Zeilen 4-6 Seite 7, Zeilen 13-18,24-27 Seite 8, Zeile 19 - Seite 9, Zeile 2 Seite 11, Zeile 17 - Seite 18, Zeile 17 Seite 19, Zeile 18 - Seite 21, Zeile 21; Abbildungen 3-9	1,22
A	WO 2005/077554 A (GAS TURBINE EFFICIENCY AB [SE]; HJERPE CARL-JOHAN [SE]; ASPLUND PETER) 25. August 2005 (2005-08-25) Seite 9, Zeile 2 - Seite 12, Zeile 3 Seite 14, Zeile 24 - Seite 22, Zeile 14 Abbildungen 1-7	1,22
P,A	US 7 445 677 B1 (ASPLUND PETER [SE]) 4. November 2008 (2008-11-04) Spalte 1, Zeilen 6-31 Spalte 1, Zeile 64 - Spalte 2, Zeile 33 Spalte 2, Zeile 60 - Spalte 3, Zeile 29 Spalte 3, Zeile 38 - Spalte 6, Zeile 53; Abbildungen 2-4	1,6-16, 22
P,A	EP 1 970 133 A (LUFTHANSA TECHNIK AG [DE]) 17. September 2008 (2008-09-17) Absätze [0001], [0005] - [0033], [0035] - [0038]; Abbildungen 1-12	1,4-22, 25-28

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2009/003120

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
WO 9640453 A	19-12-1996	EP 0830220 A1	25-03-1998
		JP 11507583 T	06-07-1999
		SE 504323 C2	13-01-1997
		SE 9502079 A	08-12-1996
		US 5868860 A	09-02-1999
JP 2000042505 A	15-02-2000	KEINE	
WO 2005120953 A	22-12-2005	AR 049106 A1	28-06-2006
		AT 381482 T	15-01-2008
		AU 2004320619 A1	22-12-2005
		AU 2005251945 A1	22-12-2005
		BR PI0418904 A	27-11-2007
		BR PI0512030 A	06-02-2008
		CA 2506174 A1	14-12-2005
		CA 2570243 A1	22-12-2005
		CN 1788143 A	14-06-2006
		CN 1976843 A	06-06-2007
		DE 202004021368 U1	07-02-2008
		DE 202005021369 U1	03-01-2008
		DE 602005003944 T2	04-12-2008
		EP 1756399 A1	28-02-2007
		EP 1755952 A1	28-02-2007
		EP 1897806 A2	12-03-2008
		ES 2297725 T3	01-05-2008
		JP 4249243 B2	02-04-2009
		JP 2007534890 T	29-11-2007
		JP 2008504478 T	14-02-2008
		KR 20070043966 A	26-04-2007
		WO 2005121509 A1	22-12-2005
		US 2006081521 A1	20-04-2006
		US 2008040872 A1	21-02-2008
		US 2008216873 A1	11-09-2008
WO 2005077554 A	25-08-2005	AU 2004315589 A1	25-08-2005
		BR PI0418544 A	22-05-2007
		CA 2506113 A1	16-08-2005
		CN 1705524 A	07-12-2005
		DE 202004021367 U1	31-01-2008
		DE 202004021476 U1	17-04-2008
		EP 1715964 A1	02-11-2006
		JP 2007517161 T	28-06-2007
		US 2006048796 A1	09-03-2006
US 7445677 B1	04-11-2008	KEINE	
EP 1970133 A	17-09-2008	AU 2008228521 A1	25-09-2008
		EP 1993744 A1	26-11-2008
		WO 2008113501 A1	25-09-2008