

(19)



(11)

EP 3 074 181 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
22.04.2020 Patentblatt 2020/17

(51) Int Cl.:
B24C 1/00 (2006.01) **B64F 5/00** (2017.01)
F01D 25/00 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **14806234.2**

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/EP2014/075981

(22) Anmeldetag: **28.11.2014**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2015/079032 (04.06.2015 Gazette 2015/22)

(54) **VERFAHREN ZUR REINIGUNG EINES STRAHLTRIEBWERKS**

METHOD FOR CLEANING A JET ENGINE

PROCÉDÉ POUR LE NETTOYAGE D'UN MOTEUR À RÉACTION

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB
GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO
PL PT RO RS SE SI SK SM TR**

(30) Priorität: **29.11.2013 DE 102013224639**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
05.10.2016 Patentblatt 2016/40

(60) Teilanmeldung:
17150138.0 / 3 189 934

(73) Patentinhaber: **Lufthansa Technik AG
22335 Hamburg (DE)**

(72) Erfinder:
• **APPEL, Holger
63075 Offenbach (DE)**
• **BRÄUTIGAM, Klaus
63853 Mömlingen (DE)**

(74) Vertreter: **Glawe, Delfs, Moll
Partnerschaft mbB von
Patent- und Rechtsanwälten
Postfach 13 03 91
20103 Hamburg (DE)**

(56) Entgegenhaltungen:
**WO-A1-2009/132847 DE-A1-102010 020 619
DE-A1-102011 004 923**

EP 3 074 181 B1

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Reinigen eines Flugzeugstrahltriebwerks.

[0002] Flugzeugstrahltriebwerke besitzen 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 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.

[0003] 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 Verschmutzung einen erheblichen Einfluss auf den Wirkungsgrad des gesamten Triebwerks hat.

[0004] 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 von den Oberflächen der Triebwerkskomponenten abgewaschen werden.

[0005] 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 Ver-

unreinigungen von Oberflächen aufgrund von abrasiven Effekten ab. Allerdings wird durch den Kohlenstaub 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 unerwünschte Reste des Reinigungsmaterials im Triebwerk zurück.

[0006] WO 2009/132847 A1 offenbart ein Verfahren zum Reinigen von Strahltriebwerken unter Verwendung von festem Kohlendioxid als Reinigungsmedium.

[0007] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zu schaffen, das eine verbesserte Reinigung von Flugzeugtriebwerken ermöglicht.

[0008] Diese Aufgabe wird gelöst durch ein Verfahren gemäß dem Anspruch 1. Vorteilhafte Weiterbildungen ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen.

[0009] Die Erfindung betrifft somit ein Verfahren zum Reinigen eines Strahltriebwerks mit einem Reinigungsmedium, das Feststoffe enthält. Die Feststoffe werden mittels eines Trägergases durch wenigstens eine Düse in das Triebwerk eingebracht. Das Reinigungsmedium umfasst erfindungsgemäß somit zumindest ein Trägergas sowie Feststoffe, bevorzugt ausschließlich Trägergas und Feststoffe. Ein Trägergas ist ein bei der Anwendungstemperatur gasförmiges Medium, bevorzugt kann Druckluft verwendet werden. Bei den Feststoffen kann es sich um bei der Anwendungstemperatur stabile Feststoffe wie beispielsweise Kunststoffperlen, Glasperlen oder Kohlenstaub handeln. Bevorzugt werden jedoch thermolabile Feststoffe wie beispielsweise festes Kohlendioxid und/oder Eis (Wassereis) verwendet.

[0010] Die Erfindung hat erkannt, dass durch die beanspruchten Verfahrensparameter eine wirksame Reinigung insbesondere des Kompressors oder Verdichters eines Triebwerks möglich ist. Erfindungsgemäß folgt das Reinigungsmedium der Strömung im Verdichter und erzielt einen Reinigungseffekt in sämtlichen Stufen des Verdichters, insbesondere auch in den hintersten Stufen. Erfindungsgemäß wird insbesondere erreicht, dass thermolabile Feststoffe wie insbesondere Kohlendioxid oder Eis nicht bereits in den vorderen Stufen des Verdichters sämtliche kinetische Energie abgeben und/oder sublimieren oder schmelzen. Stattdessen wird durch die erfindungsgemäßen Parameter den Feststoffen lediglich ein Grundimpuls mitgegeben, der sie in das Triebwerk fördert. Anschließend wird der Feststoff vom Gasstrom im Triebwerk mitgenommen und so auch in die hintersten Verdichterstufen gefördert. Der Druck des Trägergases beträgt daher erfindungsgemäß 1 bis 5 bar, vorzugsweise 2 bis 4 bar. Ein besonders bevorzugter Druck ist 3 bar.

[0011] Um die gewünschte Mitnahme der Feststoffe durch den Luftstrom im Verdichter zu ermöglichen, ohne dass die Feststoffe vorzeitig gegen die innere oder äußere Verdichterwand stoßen, sollte die Austrittsrichtung der Düse (im Rahmen der Erfindung bezeichnet dieser Begriff die Hauptaustrittsrichtung) möglichst weit in den Verdichter hineinreichen, ohne dass diese Austrittsrich-

tung bzw. ihre gedachte Achse die Wände des Verdichters berührt. Zu diesem Zweck ist erfindungsgemäß vorgesehen, dass der Austritt der wenigstens einen Düse in einem Radialabstand von der Rotationsachse des Triebwerks angeordnet wird, der dem 0,6 bis 1,2 fachen, vorzugsweise dem 0,6 bis 1 fachen des Radius der stromauf gerichteten Eintrittsöffnung der ersten Kompressorstufe entspricht. Der Austritt liegt somit in Radialrichtung näher an der äußeren Verdichterwand als an der Rotationsachse des Triebwerks bzw. Verdichters. Die Hauptaustrittsrichtung der Düse ist erfindungsgemäß schräg nach innen zur Rotationsachse des Triebwerks hin gerichtet und schließt mit dieser Achse einen Winkel von 10 bis 30°, vorzugsweise 12 bis 25°, weiter vorzugsweise 16 bis 19° ein.

[0012] Die Kombination dieser erfindungsgemäßen Verfahrensparameter erlaubt eine wirkungsvolle Reinigung des Verdichters (Core Engine) von Strahltriebwerken über deren gesamte Länge, insbesondere auch in den in Strömungsrichtung hinteren Stufen.

[0013] Eine im Rahmen der Erfindung besonders bevorzugte Kompressor-geometrie weist einen gekrümmten Strömungskanal auf, mit einer in Strömungsrichtung vorderen, radial innen angeordneten konvexen Krümmung des Strömungskanals und einer in Strömungsrichtung dahinter angeordneten, radial außen angeordneten konvexen Krümmung des Strömungskanals. Im Rahmen der Erfindung bezeichnet der Begriff der in Strömungsrichtung vorderen, radial innen angeordneten konvexen Krümmung eine Einwärtskrümmung des Strömungskanals in Richtung der Rotationsachse des Strahltriebwerks und der Begriff der in Strömungsrichtung dahinter angeordneten, radial außen angeordneten konvexen Krümmung eine Auswärtskrümmung des Strömungskanals. In einer für diese besonders bevorzugte Kompressor-geometrie vorteilhaften Variante des erfindungsgemäßen Verfahrens kann die Hauptaustrittsrichtung der wenigstens einen Düse mit der Rotationsachse des Triebwerks vorzugsweise einen Winkel einschließen, der zwischen β und α liegt; wobei β der Winkel ist zwischen der Rotationsachse des Triebwerks und einer ersten Geraden, die als Tangente an der in Strömungsrichtung vorderen, radial innen angeordneten konvexen Krümmung des Strömungskanals des Kompressors und an der in Strömungsrichtung dahinter angeordneten, radial außen angeordneten konvexen Krümmung des Strömungskanals verläuft; und wobei α der Winkel ist zwischen der Rotationsachse des Triebwerks und einer zweiten Geraden, die als Tangente an dem radial außen angeordneten Rand des Einlaufs des Kompressors (Verdichters) und an der in Strömungsrichtung dahinter angeordneten, radial innen angeordneten konvexen Krümmung des Strömungskanals verläuft. Ferner kann der Austritt der wenigstens einen Düse vorzugsweise in einem Radialabstand von der Rotationsachse des Triebwerks angeordnet werden, der zwischen den Radialabständen der Schnittpunkte der ersten und zweiten Geraden mit derjenigen Radialebene liegt, in der der Austritt der wenig-

tens einen Düse angeordnet ist. Im Rahmen der Erfindung bezeichnet der Begriff Radialebene eine senkrecht zur Rotationsachse angeordnete Ebene.

[0014] Die Feststoffe sind erfindungsgemäß bevorzugt ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus festem Kohlendioxid und Wassereis. Besonders bevorzugt ist festes Kohlendioxid. Kohlendioxid und/oder Wassereis können besonders bevorzugt in Form von Pellets verwendet werden. Ebenfalls möglich ist die Verwendung von Wassereis als zerkleinertes Eis (sog. crushed ice).

[0015] Pellets können in einem sog. Pelletiser aus flüssigem CO₂ hergestellt werden und sind gut lagerungsfähig. Es kann vorgesehen sein, dass eine Versorgungseinrichtung bereits vorgefertigte Pellets mit Hilfe des Trärgases zur Düseneinrichtung befördert. Es ist aber auch möglich, dass die Versorgungseinrichtung eine Vorrichtung aufweist, um aus flüssigem Kohlendioxid feste Kohlendioxidpellets bzw. festen Kohlendioxidschnee herzustellen, und diese mit dem Trärgas 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 CO₂-Pellets beschrieben. Pellets werden bspw. durch eine Verdichtung von festem CO₂ (bspw. Flocken) in einem Pelletiser oder dergleichen gewonnen. Die Herstellung von Eispellets (Wassereis) ist dem Fachmann geläufig und bedarf hier keiner näheren Erläuterung.

[0016] In einer Variante des erfindungsgemäßen Verfahrens kann das Reinigungsmedium festes Kohlendioxid und Wassereis im Massenverhältnis 5:1 bis 1:5, vorzugsweise 1:2 bis 2:1 aufweisen. Grundsätzlich ist es zwar bereits bekannt (WO 2012/123098 A1), eine Mischung von Pellets aus Kohlendioxid und Eis als festes Strahlmittel zur Reinigung von Oberflächen vorzusehen. Es hat sich jedoch gezeigt, dass diese Mischung in besonders vorteilhafter Weise zur Reinigung von Strahltriebwerken eingesetzt werden kann, da der größere Teil des festen Kohlendioxid bereits im vorderen Bereich des Kompressors sublimiert und diesen zum einen durch die kinetische Energie der Kollision und durch thermische Effekte reinigt. Aufgrund der durch das Kohlendioxid induzierten Wärme-Kälte-Spannung werden Verunreinigungen von den Oberflächen der Triebwerksteile abgelöst. Das erfindungsgemäß in der Mischung zugesetzte Eis weist eine höhere Härte und längere Haltbarkeit auf als festes Kohlendioxid. Dadurch verbessert es zum einen den mechanischen Reinigungseffekt durch die kinetische Energie des Aufpralls und ist besser in der Lage, den Kompressor insgesamt bis zu den hinteren Stufen zu durchdringen und auch dort noch eine Reinigungswirkung zu entfalten. Die erfindungsgemäß eingesetzte Mischung bewirkt zum einen eine weitgehend vollständige und gleichmäßige Reinigung aller Stufen des Kompressors und trägt zum anderen nur vergleichsweise geringe Mengen Wasser in das Triebwerk ein. Dieses eingetragene Wasser wird erfindungsgemäß in der Regel durch

das eingesetzte Trägergas (vorzugsweise Luft) bzw. durch den beim Dry-Cranking durch das Triebwerk strömenden Luftstrom größtenteils aus dem Triebwerk abtransportiert.

[0017] Die mittlere Größe der verwendeten Pellets liegt bevorzugt im Bereich 1 bis 10 mm, bevorzugt kann sie etwa 3 mm betragen. Wenn längliche Pellets verwendet werden, kann deren Länge beispielsweise 3 bis 6 mm betragen, die Abmessung quer zur Längserstreckung beispielsweise etwa 3 mm.

[0018] Bevorzugt werden die Feststoffe mit einem Massenstrom von 100 bis 2000 kg/h, weiter vorzugsweise 200 bis 1500 kg/h, weiter vorzugsweise 350 bis 2000 kg/h, weiter vorzugsweise 400 bis 2000 kg/h, weiter vorzugsweise 350 bis 1200 kg/h, weiter vorzugsweise 400 bis 1200 kg/h, weiter vorzugsweise 100 bis 600 kg/h, weiter vorzugsweise 200 bis 500 kg/h, weiter vorzugsweise 350 bis 450 kg/h eingebracht. Die Dauer des Reinigungsvorgangs (reine Strahlzeit ohne Pausen) beträgt bevorzugt 1 bis 15 min, weiter vorzugsweise 2 bis 10 min, weiter vorzugsweise 4 bis 8 min. Somit kann beispielsweise während eines Reinigungsvorgangs 1,5 bis 200 kg, vorzugsweise 35 bis 200 kg, weiter vorzugsweise 40 bis 200 kg, weiter vorzugsweise 40 bis 120 kg, weiter vorzugsweise 1,5 bis 50 kg, weiter vorzugsweise 3 bis 35 kg, weiter vorzugsweise 7 bis 25 kg Feststoff in das Triebwerk eingebracht werden.

[0019] Bevorzugt ist die Düse bzw. sind die Düsen Flachstrahldüsen, beispielsweise Flachstrahldüsen mit einem Öffnungswinkel von 1°.

[0020] Das Dry-Cranking bzw. Rotierenlassen des Strahltriebwerks während des Reinigungsvorgangs erfolgt bevorzugt mit einer Fan-Drehzahl von 50 bis 500 min⁻¹, vorzugsweise 100 bis 300 min⁻¹, weiter vorzugsweise 120 bis 250 min⁻¹. Besonders bevorzugt ist eine Fan-Drehzahl zwischen 150 und 250 min⁻¹. Das Reinigen kann auch im Leerlaufbetrieb des Triebwerks stattfinden. Die Drehzahl beträgt dann bevorzugt 500 bis 1500 min⁻¹.

[0021] Bevorzugt ist ferner eine Düseneinrichtung mit wenigstens einer Düse, die zum Einbringen von Reinigungsmediums enthaltend Feststoffe in ein Strahltriebwerk ausgebildet ist, die Mittel zur drehfesten Verbindung mit der Welle des Turbofans eines Strahltriebwerks aufweist, und die eine Drehkupplung aufweist, an die eine Leitungsverbindung anschließbar ist.

[0022] In einer ersten Variante ist vorgesehen, dass die Leitungen zur Führung des Reinigungsmediums von der Drehkupplung zu den Düsen so ausgebildet sind, dass die in den Leitungen vorhandenen Krümmungen so ausgebildet sind, dass festes Kohlendioxid der Strömung ungehindert folgen kann und nicht an den Rohrwandungen aufgrund zu enger Krümmungsradien sublimiert.

[0023] In einer Ausgestaltung ist vorgesehen, dass die Verbindung des düsenseitigen Auslasses der Drehkupplung mit dem Einlass der wenigstens einen Düse mittels eines flexiblen Schlauchs erfolgt.

[0024] Ein Grundgedanke ist es, dass die Leitungen für das Reinigungsmedium von der Drehkupplung bis zum Austritt der Düse möglichst sanfte und nicht zu große Übergangswinkel bzw. Krümmungswinkel aufweisen, um so eine möglichst reibungsarme Förderung der Feststoffe mittels des Trägergases zu ermöglichen. Bei der zweiten Ausgestaltung ermöglicht die Verwendung von bevorzugt demontierbaren Schläuchen durch deren Flexibilität eine hinreichend sanft gekrümmte Führung der Feststoffe. Auf der anderen Seite sorgen die Schläuche dafür, dass die Düseneinrichtung für die Lagerung und den Transport hinreichend klein und nicht zu ausladend ist, insbesondere können für Transport und Lagerung die Schläuche bevorzugt demontiert und separat transportiert oder aufbewahrt werden.

[0025] Eine Leitungsverbindung verbindet die Düseneinrichtung mit einer Versorgungseinrichtung, diese Versorgungseinrichtung stellt das Reinigungsmedium zur Verfügung (beispielsweise in Tanks) und kann mit Bedienungs- und Antriebseinrichtungen, Pumpen, Energiespeichern oder dergleichen versehen sein. Sie ist vorzugsweise als mobile, insbesondere fahrbare Einheit ausgebildet.

[0026] Die Düseneinrichtung weist eine oder mehrere Düsen auf. Besonders bevorzugt ist es, wenn die Düseneinrichtung wenigstens zwei Düsen aufweist.

[0027] 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.

[0028] 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 dichten Verbindung zwischen dem stationären 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.

[0029] 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.

[0030] Bevorzugt liegt der düsenseitige Auslass der

Drehkupplung diametral gegenüber dem Einlass. Der Einlass weist bevorzugt in Axialrichtung und stromauf, also in diejenige Richtung, aus der im montierten Zustand der Düseneinrichtung an einem Triebwerk der Anstrom des Triebwerks erfolgt. Der diametral gegenüberliegenden Auslass erfolgt dann ebenfalls in Axialrichtung stromab. Auf diese Art und Weise erfährt das Reinigungsmedium innerhalb der Drehkupplung keine oder allenfalls eine geringfügige Änderung der Strömungsrichtung, so dass es zu keiner unerwünschten Reibung der Feststoffe durch Krümmungen bzw. zu enge Krümmungen der Leitungen kommt.

[0031] Bei der Düseneinrichtung sind die Düse oder die Düsen im radial äußeren Bereich angeordnet, während die Drehkupplung üblicherweise in der Drehachse bzw. Rotationsachse angeordnet ist. Um eine Führung des Reinigungsmediums durch Leitungen bzw. flexible Schläuche mit geringen Krümmungen zu ermöglichen, ist es vorteilhaft, wenn die Drehkupplung, die üblicherweise das stromauf gerichtete axiale Ende der Düseneinrichtung darstellt, von den Mitteln zur drehfesten Verbindung mit der Welle des Turbofans, die üblicherweise das stromab gerichtete Ende der Düseneinrichtung darstellen, einen hinreichend großen axialen Abstand aufweist, der eine Führung der Leitungen von der Drehkupplung zu den Düsen mit hinreichend großen Krümmungsradien erlaubt bzw. erleichtert. Bevorzugt kann beispielsweise der axiale Abstand der Drehkupplung von den genannten Mitteln zur drehfesten Verbindung mit der Welle des Turbofans 0,2 bis 2 m, weiter vorzugsweise 0,5 bis 2 m, weiter vorzugsweise 0,75 bis 1,25 m betragen. Ferner kann die Führung des Reinigungsmediums vom Einlass der wenigstens einer Düse bis zum Düsenaustritt im wesentlichen geradlinig ausgebildet sein. Innerhalb der eigentlichen Düse erfolgt somit keine Umlenkung des Reinigungsmediums zwischen Eintritt und Austritt.

[0032] 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 Sprühhichtung des Reinigungsmediums kann so an den Anstellwinkel der Schaufeln der ersten Kompressorstufe angepasst werden.

[0033] 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 Vorrichtung im montierten Zustand. Bevorzugt weist die Düseneinrichtung wenigstens zwei oder mehr Düsen auf, die bevorzugt rotationssymmetrisch um die Dreh-

achse verteilt sind. Die Düsen sind bevorzugt als Flachstrahldüsen ausgebildet, die bevorzugt beispielsweise einen Öffnungswinkel von 1° aufweisen können.

[0034] Der radiale Abstand des Düsenaustritts von der Rotationsachse des Triebwerks und damit auch der Düseneinrichtung kann erfindungsgemäß beispielsweise 200 bis 800 mm, weiter vorzugsweise 400 bis 750 mm, weiter vorzugsweise 600 bis 700 mm, weiter vorzugsweise 200 bis 400 mm, weiter vorzugsweise 230 bis 300 mm, weiter vorzugsweise 260 bis 280 mm betragen. Diese Werte hängen vom zu reinigenden Triebwerk ab und können dementsprechend variieren. Der bevorzugte Abstand von 260 bis 280 mm ist beispielsweise geeignet, die Core-Engine eines CF6-50-Triebwerks zu reinigen. Der bevorzugte Abstand von 600 bis 700 mm ist beispielsweise geeignet, die Core-Engine eines CF6-80-Triebwerks zu reinigen. Bei montierter Düseneinrichtung befindet sich der Düsenaustritt dann im Bereich des radial äußeren Rands des Eintritts des Verdichters.

[0035] Die Strahlebene bzw. Hauptaustrittsrichtung der Düse(n) ist schräg nach innen zur Rotationsachse des Triebwerks hin gerichtet und schließt mit dieser Achse einen Winkel von 10 bis 30° , vorzugsweise 12 bis 25° , weiter vorzugsweise 16 bis 19° ein. Die genannten Werte können abhängig vom zu reinigenden Triebwerk variieren und sollten so gewählt werden, dass die Hauptaustrittsrichtung der Düse (bzw. deren gedachte Verlängerung) möglichst weit in den Verdichter hineinragt, ohne Innen- oder Außenwände des Verdichters zu berühren.

[0036] Bei einer bevorzugten Ausführungsform kann die Strahlebene bzw. Hauptaustrittsrichtung der Düse(n) mit der Rotationsachse des Triebwerks vorzugsweise einen Winkel einschließen, der zwischen β und α liegt; wobei β der Winkel ist zwischen der Rotationsachse des Triebwerks und einer ersten Geraden, die als Tangente an der in Strömungsrichtung vorderen, radial innen angeordneten konvexen Krümmung des Strömungskanals des Kompressors und an der in Strömungsrichtung dahinter angeordneten, radial außen angeordneten konvexen Krümmung des Strömungskanals verläuft; und wobei α der Winkel ist zwischen der Rotationsachse des Triebwerks und einer zweiten Geraden, die als Tangente an dem radial außen angeordneten Rand des Einlaufs des Kompressors (Verdichters) und an der in Strömungsrichtung dahinter angeordneten, radial innen angeordneten konvexen Krümmung des Strömungskanals verläuft.

[0037] 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.

[0038] 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 formschlüssig" 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.

[0039] Beispielsweise kann die Einrichtung ein oder mehrere Ringe 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.

[0040] 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. Federeinrichtungen können 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.

[0041] Eine Versorgungseinrichtung für das Reinigungsmedium weist bevorzugt Vorrattanks für die Bestandteile des Reinigungsmediums und wenigstens eine Pumpe zur Druckbeaufschlagung der Düseneinrichtung mit dem Reinigungsmedium auf. Es wird ein Trägergas, vorzugsweise Luft, eingesetzt. Das Trägergas kann vorbehandelt sein, beispielsweise kann es getrocknet werden, damit es einen möglichst großen Anteil von in das Triebwerk eingetragenen Wassers aufnehmen und abführen kann. Es kann vorgesehen sein, dass Trägergas zu kühlen, damit Eispellets und/oder Kohlendioxidpellets im Trägergasstrom möglichst beständig sind. Alternativ ist es jedoch auch möglich, den Trägergasstrom zu erwärmen, beispielsweise auf etwa 80 °C. Dies erscheint bspw. für Kohlendioxidpellets zunächst widersinnig, da es die Beständigkeit der Pellets vermindert. Die Erfindung hat jedoch erkannt, dass der warme Trägergasstrom dem Triebwerksinneren Wärmeenergie zuführt, die die Abkühlung durch das Reinigungsmedium ausgleicht. Dies verhindert, dass durch zu starke Abkühlung das feste Kohlendioxid nur noch eine unzureichende Reinigungswirkung entfalten kann (aufgrund des zu geringen Temperaturunterschieds). Auch kann so verhindert werden, dass im Triebwerksinneren verbleibendes Wasser im Fall der Verwendung von Wassereis als Reinigungsmedium fest friert. Da das Trägergas nur über ei-

nen sehr kurzen Zeitraum auf die kalten Pellets einwirkt, bevor diese ihre Reinigungswirkung entfalten können, fällt der Einfluss des erwärmten Trägergases auf die Pellets nicht oder kaum ins Gewicht.

[0042] Die Strahlebene bzw. Hauptaustrittsrichtung der Düse(n) ist schräg nach innen zur Rotationsachse des Triebwerks hin gerichtet und schließt mit dieser Achse einen Winkel von 10 bis 30°, vorzugsweise 12 bis 25°, weiter vorzugsweise 16 bis 19° ein.

[0043] Der Austritt der wenigstens einen Düse in einem Radialabstand von der Rotationsachse des Triebwerks angeordnet, der dem 0, 6 bis 1,2 fachen, vorzugsweise dem 0, 6 bis 1 fachen des Radius der stromauf gerichteten Eintrittöffnung der ersten Kompressorstufe entspricht. Der Austritt liegt somit in Radialrichtung näher an der äußeren Verdichterwand als an der Rotationsachse des Triebwerks bzw. Verdichters.

[0044] Bei einer bevorzugten Ausführungsform kann die Hauptaustrittsrichtung der Düse(n) mit der Rotationsachse des Triebwerks einen Winkel einschließen, der zwischen β und α liegt; wobei β der Winkel ist zwischen der Rotationsachse des Triebwerks und einer ersten Geraden, die als Tangente an der in Strömungsrichtung vorderen, radial innen angeordneten konvexen Krümmung des Strömungskanals des Kompressors und an der in Strömungsrichtung dahinter angeordneten, radial außen angeordneten konvexen Krümmung des Strömungskanals verläuft; und wobei α der Winkel ist zwischen der Rotationsachse des Triebwerks und einer zweiten Geraden, die als Tangente an dem radial außen angeordneten Rand des Einlaufs des Kompressors (Verdichters) und an der in Strömungsrichtung dahinter angeordneten, radial innen angeordneten konvexen Krümmung des Strömungskanals verläuft. Ferner kann der Austritt der wenigstens einen Düse vorzugsweise in einem Radialabstand von der Rotationsachse des Triebwerks angeordnet werden, der zwischen den Radialabständen der Schnittpunkte der ersten und zweiten Geraden mit derjenigen Radialebene liegt, in der der Austritt der wenigstens einen Düse angeordnet ist.

[0045] Es kann bevorzugt vorgesehen sein, dass die Düsenanordnung drehfest mit der Welle des Fans des Strahltriebwerks verbunden ist, die Drehachsen des Fans des Strahltriebwerks und der Düsenanordnung im wesentlichen konzentrisch angeordnet sind, die Düsen der Düsenanordnung einen radialen Abstand von der gemeinsamen Drehachse des Strahltriebwerks und der Vorrichtung aufweisen, der dem 0, 6 bis 1,2 fachen, vorzugsweise dem 0, 6 bis 1 fachen des Radius der ersten Kompressorstufe entspricht, 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.

[0046] Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung wird im

Folgenden anhand der Zeichnungen erläutert. Darin zeigen:

- Fig. 1 eine erste Ansicht einer erfindungsgemäßen Düseneinrichtung;
 Fig. 2 eine zweite Ansicht einer erfindungsgemäßen Düseneinrichtung;
 Fig. 3 eine Ansicht einer besonders bevorzugten Kompressor-geometrie.

[0047] Die Düseneinrichtung weist zwei Ringelemente 101, 102 auf, mit deren Hilfe die Düseneinrichtung auf eine Wellennabe des Turbokfans eines Strahltriebwerks aufgesetzt wird. Im aufgesetzten Zustand umschließen die Ringelemente 101, 102 die Wellennabe im Wesentlichen formschlüssig. Zu den Details der Verbindung der Düseneinrichtung mit einer Wellennabe wird auf die WO 2009/132847 A1 verwiesen. Die beiden Ringelemente 101, 102 sind durch Radialstreben 104 miteinander verbunden. An der stromauf weisenden Spitze der Düsen- einrichtung (bezogen auf die Strömungsrichtung des Triebwerks) ist eine insgesamt mit 105 bezeichnete Drehkupplung angeordnet, die einen Einlass 110 aufweist. Die Drehkupplung 105 kann alternativ von der Ver- zweigung mit den Druckanschlüssen 106 getrennt aus- gebildet sein und bspw. durch ein kurzes Schlauchstück damit verbunden sein, dessen Flexibilität mögliche Achs- abweichungen bei der Montage ausgleichen hilft. Von dieser Drehkupplung 105 erstrecken sich zwei axial stromab führende Druckanschlüsse 106. An die Druck- anschlüsse 106 können zwei Druckschläuche 108 ange- schlossen werden (in Fig. 1 ist der Übersichtlichkeit hal- ber nur ein Druckschlauch 108 dargestellt), deren jeweils anderes Ende mit dem Eingang der Flachstrahldüsen 107 verbunden wird. Die Länge und Flexibilität dieser Druckschläuche 108 ist so bemessen, dass diese im montierten Zustand in den Krümmungen so ausgebildet sind, dass diese eine störungsfreie Förderung des Strahl- mediums erlauben. Aufgrund der großen Krümmungs- radien können Feststoffe und insbesondere Pellets vom Eingang der Drehkupplung 105 bis zum Düsenaustritt 109 der Flachstrahldüsen 107 reibungsarm transportiert werden. Die beiden Flachstrahldüsen 107 werden so mit Reinigungsmedium gespeist.

[0048] Der axiale Abstand der Drehkupplung 105 von den Austrittsöffnungen 109 der Düsen 107 beträgt im Ausführungsbeispiel etwa 1,2 m. Dieser Abstand ist hin- reichend, dass die Druckschläuche 108 die Einlässe der Düsen 107 ohne zu große Krümmungen dieser Druck- schläuche 108 mit den Auslässen 106 der Drehkupplung 105 verbinden können. Der radiale Abstand des Düsen- austritts 109 von der Rotationsachse beträgt im Ausfüh- rungsbeispiel etwa 270 mm. Er ist abgestimmt auf die Reinigung eines CF6-50-Triebwerks. Die Hauptaustritts- richtung der Düsen 107 (diese entspricht im wesentlichen ihrer Längsachse) schließt mit der Rotationsachse der Düseneinrichtung einen Winkel von 18° ein.

[0049] Die Befestigung der Düseneinrichtung an der

Wellennabe eines Turbokfans erfolgt mittels Spannseilen, wie detailliert in WO 2009/132847 A1 beschrieben.

[0050] Zum Reinigen eines Strahltriebwerks wird die Düseneinrichtung auf die Wellennabe des Turbokfans aufgesetzt und an den Schaufeln des Turbokfans fixiert. Das Triebwerk wird in Drehung versetzt (dry-cranking). Über die Drehkupplung 105 und die Druckschläuche 108 werden die Flachstrahldüsen 107 mit Reinigungsmedi- um aus einer nicht dargestellten Versorgungseinrichtung gespeist. Dieses Reinigungsmedium überstreicht den Einlass der ersten Kompressorstufe über deren gesam- ten Umfang und führt so die Reinigung aus.

[0051] Figur 3 zeigt den schematischen Ausschnitt ei- nes Triebwerks mit einer besonders bevorzugten Kom- pressorgeometrie. Abgebildet sind eine Turbokfanschau- fel 301 und der stromabwärts angeordnete Einlauf 303 des Kompressors 304 relativ zur Rotationsachse 308 des Triebwerks. Der Einlauf 303 weist einen radial außen angeordneten Rand 305 auf. In Strömungsrichtung hinter dem Rand 305 ist eine radial innen angeordnete konvexe Krümmung 306 des Strömungskanals 302 des Kompres- sors angeordnet. Hierbei handelt es sich um eine Ein- wärtskrümmung in Richtung der Rotationsachse 308 des Triebwerks. In Strömungsrichtung hinter der Krümmung 306 ist eine radial außen angeordnete konvexe Krüm- mung 307 des Strömungskanals 302. Die Hauptaustritts- richtung der Düse(n) (in Fig. 3 nicht gezeigt) können mit der Rotationsachse 308 des Triebwerks vorzugsweise einen Winkel einschließen, der zwischen den Winkeln β und α liegt; wobei β der Winkel ist zwischen der Rotati- onsachse 308 des Triebwerks und einer ersten Geraden 310, die als Tangente an der in Strömungsrichtung vorderen, radial innen angeordneten konvexen Krümmung 306 (an Punkt B_1) des Strömungskanals des Kompres- sors und an der in Strömungsrichtung dahinter angeord- neten, radial außen angeordneten konvexen Krümmung 307 (an Punkt B_2) des Strömungskanals 302 verläuft; und wobei α der Winkel ist zwischen der Rotationsachse 308 des Triebwerks und einer zweiten Geraden 311, die als Tangente an dem radial außen angeordneten Rand 305 des Einlaufs 303 des Kompressors 304 (an Punkt P) und an der in Strömungsrichtung dahinter angeord- neten, radial innen angeordneten konvexen Krümmung 306 (an Punkt A) des Strömungskanals verläuft. Ferner kann der Austritt einer (nicht gezeigten) Düse in einem Radialabstand von der Rotationsachse 308 des Trieb- werks angeordnet sein, der zwischen den Radialabstän- den (x_{min} , x_{max}) der Schnittpunkte (x_2 , x_1) der ersten und zweiten Geraden mit derjenigen Radialebene 309 liegt, in der der Austritt der Düse (in Fig. 3 nicht gezeigt) an- geordnet ist.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Reinigen eines Strahltriebwerks mit einem Reinigungsmedium, das Feststoffe enthält, die mit wenigstens einer Düse (107) mittels eines

Trärgases in das Triebwerk eingebracht werden, **gekennzeichnet durch** folgende Merkmale:

- a) der Druck des Trärgases beträgt 1 bis 5 bar, vorzugsweise 2 bis 4 bar,
 - b) der Austritt (109) der wenigstens einen Düse (107) wird in einem Radialabstand von der Rotationsachse des Triebwerks angeordnet, der dem 0,6 bis 1,2 fachen des Radius der stromauf gerichteten Eintrittsöffnung der ersten Kompressorstufe entspricht,
 - c) die Hauptaustrittsrichtung der Düse (107) schließt mit der Rotationsachse des Triebwerks einen Winkel von 10 bis 30°, vorzugsweise 12 bis 25°, weiter vorzugsweise 16 bis 19° ein.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Austritt (109) der wenigstens einen Düse (107) in einem Radialabstand von der Rotationsachse des Triebwerks angeordnet wird, der dem 0,6 bis 1 fachen des Radius der stromauf gerichteten Eintrittsöffnung der ersten Kompressorstufe entspricht.
3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2, **gekennzeichnet durch** folgende Merkmale:
- die Hauptaustrittsrichtung der wenigstens einen Düse (107) schließt mit der Rotationsachse des Triebwerks einen Winkel ein, der zwischen β und α liegt;
- wobei
- β der Winkel ist zwischen der Rotationsachse des Triebwerks und einer ersten Geraden, die als Tangente an der in Strömungsrichtung vorderen, radial innen angeordneten konvexen Krümmung des Strömungskanals des Kompressors und an der in Strömungsrichtung dahinter angeordneten, radial außen angeordneten konvexen Krümmung des Strömungskanals verläuft;
- α der Winkel ist zwischen der Rotationsachse des Triebwerks und einer zweiten Geraden, die als Tangente an dem radial außen angeordneten Rand des Einlaufs des Kompressors und an der in Strömungsrichtung dahinter angeordneten, radial innen angeordneten konvexen Krümmung des Strömungskanals verläuft;
- der Austritt (109) der wenigstens einen Düse (107) wird in einem Radialabstand von der Rotationsachse des Triebwerks angeordnet, der zwischen den Radialabständen der Schnittpunkte der ersten und zweiten Geraden mit derjenigen Radialebene, in der der Austritt (109) angeordnet ist, liegt.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1-3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Feststoffe ausgewählt

sind aus der Gruppe bestehend aus festem Kohlendioxid und Wassereis.

5. Verfahren nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Kohlendioxid und/oder Wassereis in Form von Pellets oder in sonstiger Form zerkleinert vorliegt und verwendet wird.
6. Verfahren nach Anspruch 4 oder 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Reinigungsmedium festes Kohlendioxid und Wassereis im Massenverhältnis 5:1 bis 1:5, vorzugsweise 1:2 bis 2:1 aufweist.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 4 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** das feste Kohlendioxid und/oder das Wassereis eine Pelletgröße von 1 bis 10 mm, vorzugsweise 3 bis 6 mm, aufweist.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Feststoffe mit einem Massenstrom von 100 bis 2000 kg/h, vorzugsweise 200 bis 1500 kg/h, weiter vorzugsweise 350 bis 2000 kg/h, weiter vorzugsweise 400 bis 2000 kg/h, weiter vorzugsweise 350 bis 1200 kg/h, weiter vorzugsweise 400 bis 1200 kg/h, weiter vorzugsweise 100 bis 600 kg/h, weiter vorzugsweise 200 bis 500 kg/h, weiter vorzugsweise 350 bis 450 kg/h eingebracht werden.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Reinigen des Strahltriebwerks (50) über einen Zeitraum von 1 bis 15 min, vorzugsweise 2 bis 10 min, weiter vorzugsweise 4 bis 8 min durchgeführt wird.
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** während eines Reinigungsvorgangs 1,5 bis 200 kg, vorzugsweise 35 bis 200 kg, weiter vorzugsweise 40 bis 200 kg, weiter vorzugsweise 40 bis 120 kg, weiter vorzugsweise 1,5 bis 50 kg, weiter vorzugsweise 3 bis 35 kg, weiter vorzugsweise 7 bis 25 kg Feststoff in das Triebwerk eingebracht werden.
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** die wenigstens eine Düse (107) eine Flachstrahldüse ist.
12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Strahltriebwerk mit einer Fan-Drehzahl von 50 bis 500 min⁻¹, vorzugsweise 100 bis 300 min⁻¹, weiter vorzugsweise 120 bis 250 min⁻¹ rotieren gelassen wird.

Claims

1. Method for cleaning a jet engine, using a cleaning

medium which contains solids which by means of a carrier gas and by way of at least one nozzle (107) are introduced into the engine, the method **characterized by** the following features:

- a) the pressure of the carrier gas is 1 to 5 bar, preferably 2 to 4 bar;
 - b) the exit (109) of the at least one nozzle (107) is disposed at a radial spacing from the rotation axis of the engine which corresponds to 0.6 to 1.2 times the radius of the entry opening of the first compressor stage that is directed upstream,
 - c) the main exit direction of the nozzle (107) in relation to the rotation axis of the engine encloses an angle of 10 to 30°, preferably of 12 to 25°, furthermore preferably of 16 to 19°.
2. Method according to Claim 1, **characterized in that** the exit (109) of the at least one nozzle (107) is disposed at a radial spacing from the rotation axis of the engine which corresponds to 0.6 to 1 times the radius of the entry opening of the first compressor stage that is directed upstream.
 3. Method according to one of Claims 1 or 2, **characterized by** the following features:

the main exit direction of the at least one nozzle (107) in relation to the rotation axis of the engine encloses an angle which is between β and α ;

wherein

β is the angle between the rotation axis of the engine and a first straight line which runs as a tangent on that convex curvature of the flow duct of the compressor that in the flow direction is at the front and is disposed so as to be radially inward, and on that convex curvature of the flow duct that in the flow direction is disposed behind the former and so as to be radially outward;

α is the angle between the rotation axis of the engine and a second straight line which runs as a tangent on that periphery of the inlet of the compressor that is disposed so as to be radially outward, and on that convex curvature of the flow duct that in the flow direction is disposed behind the former and so as to be radially inward;

the exit (109) of the at least one nozzle (107) is disposed at a radial spacing from the rotation axis of the engine which lies between the radial spacings of the intersection points of the first and the second straight line with that radial plane in which the exit (109) is disposed.
 4. Method according to one of Claims 1 to 3, **characterized in that** the solids are selected from the group composed of solid carbon dioxide and water ice.
 5. Method according to Claim 4, **characterized in that**

the carbon dioxide and/or the water ice is present and used so as to be comminuted in the form of pellets or in another form.

6. Method according to Claim 4 or 5, **characterized in that** the cleaning medium has solid carbon dioxide and water ice in a ratio by mass of 5:1 to 1:5, preferably of 1:2 to 2:1.
7. Method according to one of Claims 4 to 6, **characterized in that** the solid carbon dioxide and/or the water ice have/has a pellet size of 1 to 10 mm, preferably of 3 to 6 mm.
8. Method according to one of Claims 1 to 7, **characterized in that** the solids are introduced at a mass flow rate of 100 to 2000 kg/h, preferably of 200 to 1500 kg/h, furthermore preferably of 350 to 2000 kg/h, furthermore preferably of 400 to 2000 kg/h, furthermore preferably of 350 to 1200 kg/h, furthermore preferably of 400 to 1200 kg/h, furthermore preferably of 100 to 600 kg/h, furthermore preferably of 200 to 500 kg/h, furthermore preferably of 350 to 450 kg/h.
9. Method according to one of Claims 1 to 8, **characterized in that** cleaning of the jet engine (50) is carried out over a duration of 1 to 15 min, preferably of 2 to 10 min, furthermore preferably of 4 to 8 min.
10. Method according to one of Claims 1 to 9, **characterized in that** during one cleaning procedure 1.5 to 200 kg, preferably 35 to 200 kg, furthermore preferably 40 to 200 kg, furthermore preferably 40 to 120 kg, furthermore preferably 1.5 to 50 kg, furthermore preferably 3 to 35 kg, furthermore preferably 7 to 25 kg of solids are introduced into the engine.
11. Method according to one of Claims 1 to 10, **characterized in that** the at least one nozzle (107) is a flat-jet nozzle.
12. Method according to one of Claims 1 to 11, **characterized in that** the jet engine is allowed to rotate at a fan revolution speed of 50 to 500 min⁻¹, preferably of 100 to 300 min⁻¹, furthermore preferably of 120 to 250 min⁻¹.

50 Revendications

1. Procédé de nettoyage d'un moteur à réaction avec un milieu de nettoyage contenant des matières solides qui sont introduites dans le moteur au moyen d'un gaz porteur à l'aide d'au moins une buse (107), **caractérisé par** les éléments caractéristiques suivants :

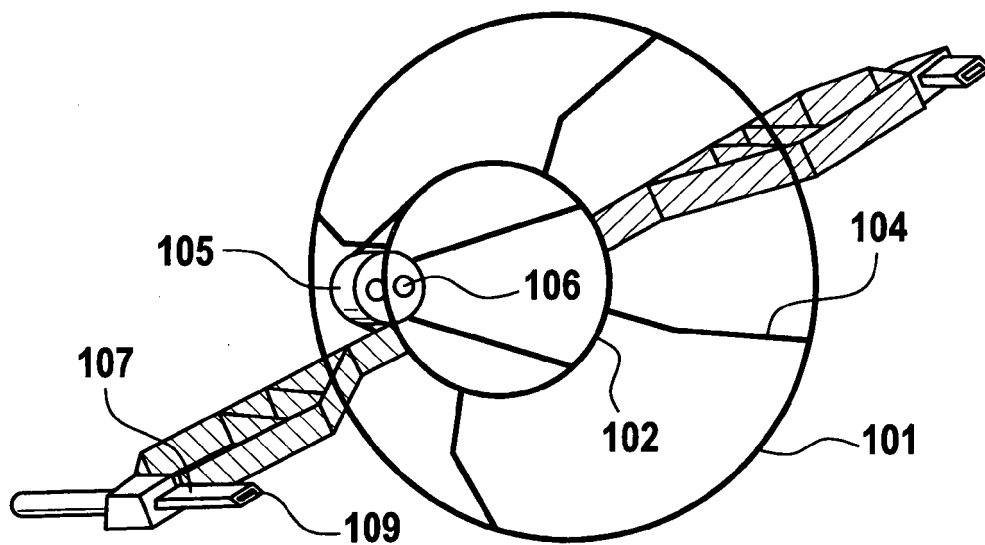
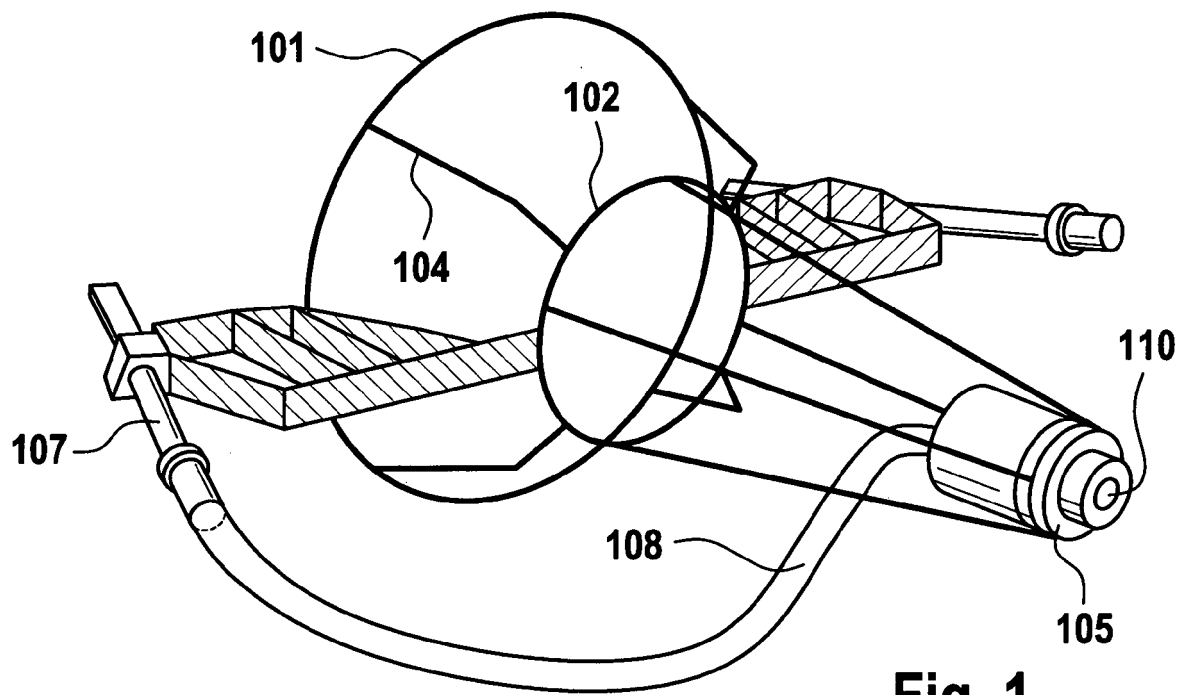
- a) la pression du gaz porteur est de 1 à 5 bars, de préférence de 2 à 4 bars,
- b) la sortie (109) de l'au moins une buse (107) est disposée à une distance radiale de l'axe de rotation du moteur, qui correspond de 0,6 à 1,2 fois le rayon de l'ouverture d'entrée amont du premier étage de compresseur,
- c) la direction de sortie principale de la buse (107) forme un angle de 10 à 30°, de préférence de 12 à 25°, plus préférablement de 16 à 19°, avec l'axe de rotation du moteur.
2. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** la sortie (109) de l'au moins une buse (107) est disposée à une distance radiale de l'axe de rotation du moteur, qui correspond de 0,6 à 1 fois le rayon de l'ouverture d'entrée amont du premier étage de compresseur.
 3. Procédé selon l'une des revendications 1 ou 2, **caractérisé par** les éléments caractéristiques suivants :

la direction de sortie principale de l'au moins une buse (107) forme avec l'axe de rotation du moteur un angle qui se situe entre β et α ;

β étant l'angle compris entre l'axe de rotation du moteur et une première ligne droite qui s'étend tangentiellement à la courbure convexe avant, radialement vers l'intérieur dans le sens de l'écoulement, du canal d'écoulement du compresseur et à la courbure convexe arrière, radialement extérieur dans le sens de l'écoulement, du canal d'écoulement ;

α étant l'angle compris entre l'axe de rotation du moteur et une deuxième ligne droite qui s'étend tangentiellement au bord radialement extérieur de l'entrée du compresseur et à la courbure convexe arrière, radialement intérieure dans le sens d'écoulement, du canal d'écoulement ;

la sortie (109) de l'au moins une buse (107) est disposée à une distance radiale de l'axe de rotation du moteur qui est située entre les distances radiales des intersections des première et deuxième droites avec le plan radial dans lequel la sortie (109) est disposée.
 4. Procédé selon l'une des revendications 1 à 3, **caractérisé en ce que** les matières solides sont choisies dans le groupe comprenant le dioxyde de carbone solide et la glace d'eau.
 5. Procédé selon la revendication 4, **caractérisé en ce que** le dioxyde de carbone et/ou la glace d'eau sont présents et utilisés à l'état broyé sous forme de pastilles ou sous une autre forme.
 6. Procédé selon la revendication 4 ou 5, **caractérisé en ce que** le milieu de nettoyage contient du dioxyde de carbone solide et de la glace d'eau dans un rapport massique de 5:1 à 1:5, de préférence de 1:2 à 2:1.
 7. Procédé selon l'une des revendications 4 à 6, **caractérisé en ce que** le dioxyde de carbone solide et/ou la glace d'eau ont une granulométrie de 1 à 10 mm, de préférence de 3 à 6 mm.
 8. Procédé selon l'une des revendications 1 à 7, **caractérisé en ce que** les matières solides sont introduites à un débit massique de 100 à 2000 kg/h, de préférence de 200 à 1500 kg/h, plus préférablement de 350 à 2000 kg/h, encore plus préférablement de 400 à 2000 kg/h, encore plus préférablement de 350 à 1200 kg/h, encore plus préférablement de 400 à 1200 kg/h, encore plus préférablement de 100 à 600 kg/h, encore plus préférablement de 200 à 500 kg/h, encore plus préférablement de 350 à 450 kg/h.
 9. Procédé selon l'une des revendications 1 à 8, **caractérisé en ce que** le nettoyage du moteur à réacteur (50) est effectué sur une période de 1 à 15 min, de préférence de 2 à 10 min, plus préférablement de 4 à 8 min.
 10. Procédé selon l'une des revendications 1 à 9, **caractérisé en ce que**, lors d'un processus de nettoyage, 1,5 à 200 kg, de préférence 35 à 200 kg, plus préférablement 40 à 200 kg, encore plus préférablement 40 à 120 kg, encore plus préférablement 1,5 à 50 kg, encore plus préférablement 3 à 35 kg, encore plus préférablement 7 à 25 kg de matières solides sont introduits dans le moteur.
 11. Procédé selon l'une des revendications 1 à 10, **caractérisé en ce que** l'au moins une buse (107) est une buse à jet plat.
 12. Procédé selon l'une des revendications 1 à 11, **caractérisé en ce que** le moteur à réaction tourne à une vitesse de soufflante de 50 à 500 min⁻¹, de préférence de 100 à 300 min⁻¹, plus préférablement de 120 à 250 min⁻¹.



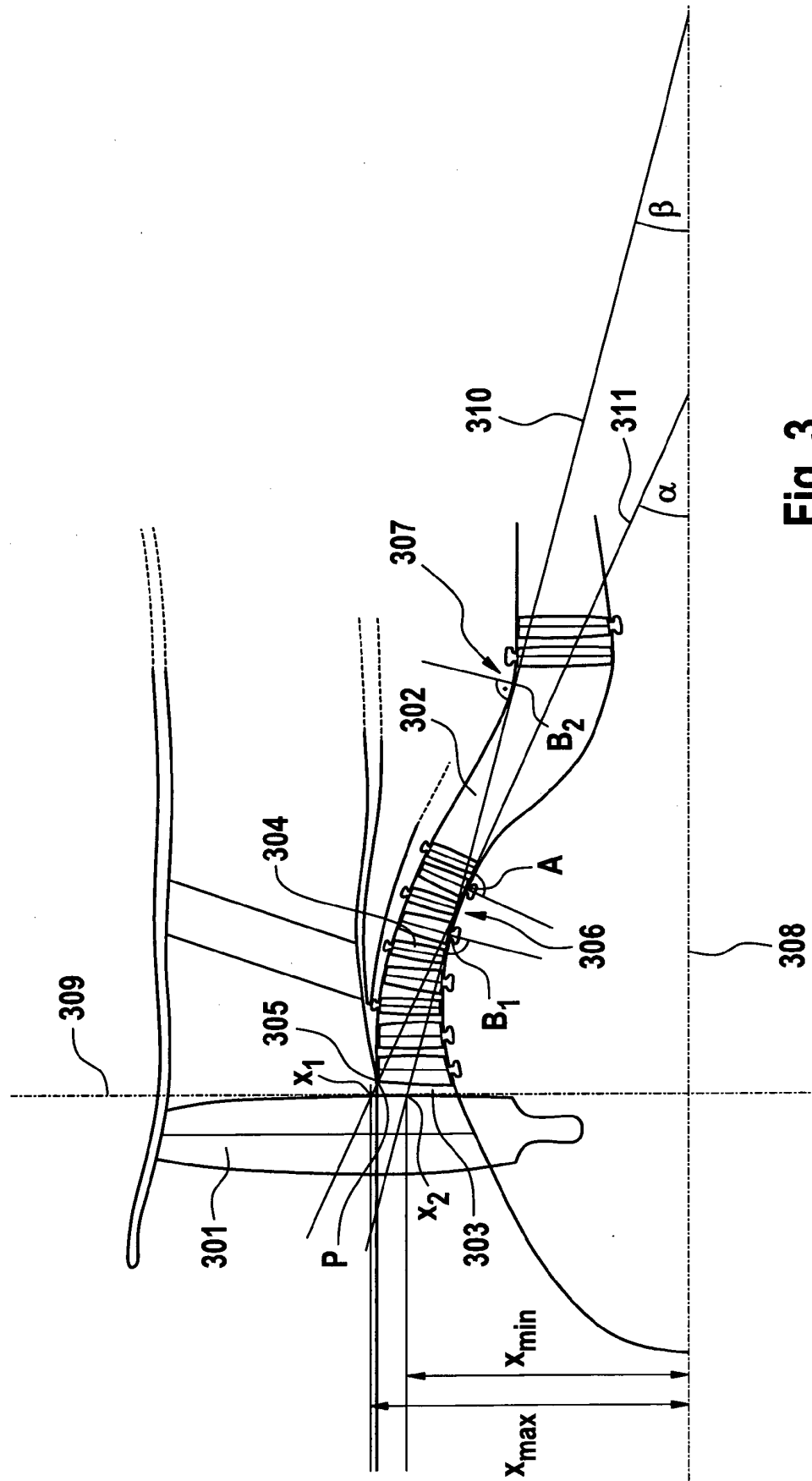


Fig. 3

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- WO 2005120953 A [0004]
- WO 2009132847 A1 [0006] [0047] [0049]
- WO 2012123098 A1 [0016]

In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur

- *Carbon Dioxide Blasting Operations* [0015]