

(19)



(11)

EP 3 642 549 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:

02.08.2023 Patentblatt 2023/31

(21) Anmeldenummer: **18733550.0**

(22) Anmeldetag: **18.06.2018**

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):

F28G 9/00 ^(2006.01) **B08B 3/10** ^(2006.01)
B08B 9/023 ^(2006.01) **B08B 9/027** ^(2006.01)
B08B 9/032 ^(2006.01) **F28G 13/00** ^(2006.01)
F28G 15/00 ^(2006.01)

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):

F28G 9/00; B08B 9/0321; F28G 13/005;
B08B 2230/01; F24F 2221/22; F28G 2015/006

(86) Internationale Anmeldenummer:

PCT/EP2018/066071

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:

WO 2018/234218 (27.12.2018 Gazette 2018/52)

(54) **REINIGUNGSVERFAHREN FÜR OBERFLÄCHEN IM INNENVOLUMEN VON DURCHSTRÖMTEN FLUGZEUGKOMPONENTEN**

CLEANING METHOD FOR SURFACES IN THE INTERNAL VOLUME OF AIRCRAFT COMPONENTS THROUGH WHICH A MEDIUM FLOWS

PROCÉDÉ DE NETTOYAGE POUR DES SURFACES DANS LE VOLUME INTÉRIEUR DE COMPOSANTS D'AVION TRAVERSÉ PAR UN FLUX

(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: **22.06.2017 DE 102017210554**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:

29.04.2020 Patentblatt 2020/18

(73) Patentinhaber: **Lufthansa Technik AG**

22335 Hamburg (DE)

(72) Erfinder:

- **Der Erfinder hat auf sein Recht verzichtet, als solcher bekannt gemacht zu werden.**

(74) Vertreter: **Müller Verweyen**

**Patentanwälte
Friedensallee 290
22763 Hamburg (DE)**

(56) Entgegenhaltungen:

**CN-B- 103 267 444 CN-U- 204 359 200
DE-A1-102009 009 938**

EP 3 642 549 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 vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Reinigung von Oberflächen im Innenvolumen einer durchströmten Flugzeugkomponente.

[0002] Für die Reinigung von Verschmutzungen an schwer zugänglichen Oberflächen, wie sie beispielsweise in durchströmten Flugzeugkomponenten, insbesondere in Wärmetauschern vorhanden sind, werden üblicherweise bekannte Spülverfahren angewendet. Verschmutzungen mit geringem chemischem Potenzial, bestehend aus überwiegend unpolaren Stoffen, können hauptsächlich nur mechanisch entfernt werden. Durchströmte Flugzeugkomponenten werden in vielen Anwendungen im Betrieb mit kohlenstoffhaltigen Schmiermitteln, Kraftstoffen oder anderen kohlenstoffhaltigen Stoffen belegt. Ebenso können sich unter bestimmten Bedingungen Stoffe aus der Umwelt wie beispielsweise Staub, Sand, Verbrennungsprodukte, Öle, Kraft- oder Schmierstoffe ablagern. Im Falle kohlenstoffhaltiger Verbindungen sind insbesondere die Verkokung und die teilweise Oxidation, die in bestimmten Temperaturbereichen auftritt, problematisch. Bei durchströmten Flugzeugkomponenten wie Wärmetauschern, die in ihrem Innenvolumen konstruktionsbedingt meist ausgeprägte Hinterschneidungen und große, verwinkelte Oberflächen aufweisen, ist das Entfernen dieser Verschmutzungen mittels konventioneller Verfahren mangels Zugänglichkeit häufig nicht möglich. Die Oberflächen im Innenvolumen sind demnach in weiten Teilen nur für Spülverfahren oder durchströmende Reinigungsverfahren zugänglich. Für eine Reinigung im Spülverfahren müssen jedoch stark reaktive Säuren, oder andere kräftige chemische Reinigungsmittel verwendet werden.

[0003] Ist eine Reinigung durch die Unzugänglichkeit oder durch die mechanische oder chemische Beständigkeit der Verschmutzungen nicht möglich, müssen die zu reinigenden Flugzeugkomponenten sogar ersetzt werden. Weiterhin sind bei den bekannten Reinigungsverfahren teils lange Prozesszeiten zu erwarten. Als problematisch ist auch der Einsatz von stark reaktiven Reinigungsmitteln im Hinblick auf Arbeitssicherheit, Umweltbelastung oder möglicher Rückstände auf den Oberflächen anzusehen. Insbesondere betrifft dies Wärmetauscher, die im Betrieb mit Luft für Klimatisierungszwecke durchströmt werden.

[0004] Aus der DE 10 2009 009 938 A1 ist eine Vorrichtung zur Reinigung von Trinkwasserleitungen oder Abwasserleitungen in Fahrzeugen bekannt, mit der die zu reinigende Leitung in Intervallen mit Gasblöcken beaufschlagt werden kann, welche sich in einzelnen Impulsen intermittierend als Folge von Flüssigkeits- und Gasströmen leitungsausfüllend durch die Leitung bewegen.

[0005] Aufgabe der Erfindung ist es demnach, ein Reinigungsverfahren bereitzustellen, durch das eine effektive und schonende Entfernung von mechanisch und chemisch beständigen Verschmutzungen an schwer zugänglichen Oberflächen im Innenvolumen einer durch-

strömten Flugzeugkomponente ermöglicht wird.

[0006] Die Erfindung löst diese Aufgabe mit einem Reinigungsverfahren gemäß dem unabhängigen Anspruch 1. Durch die in den abhängigen Ansprüchen aufgeführten Maßnahmen sind vorteilhafte Weiterbildungen und Verbesserungen des im unabhängigen Anspruch angegebenen Verfahrens möglich.

[0007] Gemäß dem Grundgedanken der Erfindung wird ein Verfahren zur Reinigung von Oberflächen im Innenvolumen einer durchströmten Flugzeugkomponente vorgeschlagen, das mindestens folgende Schritte umfasst: Verbinden des zu reinigenden Innenvolumens mit einem Dampferzeuger, Erzeugen eines Reinigungsdampfes mit vorbestimmtem Dampfdruck und Temperatur durch den Dampferzeuger, Beaufschlagen der zu reinigenden Oberflächen im Innenvolumen der durchströmten Flugzeugkomponente mit dem Reinigungsdampf, Aufrechterhalten des Dampfdruckes und der Temperatur innerhalb des Innenvolumens für die Dauer einer vorbestimmten Kondensationszeit, Erzeugen eines Druckabfalls im Innenvolumen der durchströmten Flugzeugkomponente zur Verdampfung des während der Kondensationszeit kondensierten Teils des Reinigungsdampfes und Abtransport des Reinigungsdampfes aus dem Innenvolumen der durchströmten Flugzeugkomponente mit dem Reinigungsdampf, Aufrechterhalten des Dampfdruckes und der Temperatur innerhalb des Innenvolumens für die Dauer einer vorbestimmten Kondensationszeit, Erzeugen eines Druckabfalls im Innenvolumen der durchströmten Flugzeugkomponente zur Verdampfung des während der Kondensationszeit kondensierten Teils des Reinigungsdampfes und Abtransport des Reinigungsdampfes aus dem Innenvolumen der durchströmten Flugzeugkomponente durch eine Auslassvorrichtung. Durch dieses Verfahren lassen sich schwer zugängliche Oberflächen von Verschmutzungen reinigen. Als Reinigungsmedium dient hierzu Reinigungsdampf, bzw. dessen Kondensat. Durch die Beaufschlagung der Oberflächen mit dem Reinigungsdampf kondensiert dieser bei geeignet gewählten Parametern wie Dampfdruck, Temperatur, Dampfanteil oder Kondensationszeit an den Oberflächen und insbesondere an den Verschmutzungen. Das Dampfkondensat kann dabei in Risse, Kavitäten und Porosität der Verschmutzungen eindringen und sich ablagern. Durch die Erzeugung eines schnellen Druckabfalls im Innenvolumen der durchströmten Flugzeugkomponente wird das eingelagerte Kondensat anschließend wieder verdampft. Die Phasenumwandlung des Reinigungsmediums von flüssig zurück in einen gasförmigen Zustand ist dabei mit einer rapiden Volumenzunahme des Reinigungsmediums verbunden. Das Verdampfen des in und an den Verschmutzungen abgelagerten Kondensats erzeugt in den Verschmutzungen lokal große Druckkräfte, welche zum Abplatzen und Ablösen der Verschmutzung führen. Diese gelösten Verschmutzungen können anschließend zusammen mit dem Reinigungsdampf durch eine Auslassvorrichtung aus dem Innenvolumen der durchströmten Flugzeug-

komponente abtransportiert werden. Im Vergleich zu mechanischen Verfahren ist das erfindungsgemäße Verfahren schonend für die zu reinigenden Oberflächen, da kein Materialabtrag am Grundmaterial auftritt, zudem können die ökologischen und gesundheitlichen Auswirkungen durch Verzicht, bzw. Minimierung chemischer Reinigungsmittel verringert werden.

[0008] Besonders bevorzugt ist, dass das Innenvolumen der durchströmten Flugzeugkomponente nach dem Abtransport des Reinigungsdampfes mit Wasser durchspült wird. Hierdurch kann die Wirkung des Reinigungsvorgangs erhöht sowie dessen erfolgreicher Abschluss erreicht werden. Durch einen oder mehrere sich an die Reinigungsschritte anschließende Spülgänge des Innenvolumens mit Wasser werden weitere Verschmutzungen abtransportiert, die zwar durch das Verdampfen von den Oberflächen gelöst wurden, jedoch während des Abtransports des Reinigungsdampfes noch in dem Innenvolumen der durchströmten Flugzeugkomponente verblieben sind.

[0009] Weiter ist es bevorzugt, dass die Reinigungsschritte mit einer vorbestimmten Zykluszeit wiederholt werden. Durch das Wiederholen der Reinigungsschritte lässt sich eine effiziente Reinigung erreichen, wobei der Verschmutzungsgrad bei jedem folgenden Reinigungszyklus sinkt. Besonders hartnäckige Verschmutzungen lassen sich dabei schichtweise abtragen, da das Dampfkondensat nicht bei einer Reinigungsanwendung die gesamte Verschmutzung durchdringen muss, sondern bei jedem Reinigungszyklus die jeweils obersten Schichten der Verschmutzung ablöst. Die Zeiten der einzelnen Reinigungsdurchgänge können somit reduziert werden.

[0010] Weiter ist es bevorzugt, als Reinigungsdampf Wasserdampf zu verwenden. Da die Verschmutzungsentfernung im Wesentlichen über mechanische Kräfte verwirklicht wird, die durch die rasche Volumenzunahme während des Verdampfens entstehen, ist es in der Regel nicht nötig, besondere chemische Reinigungsmittel vorzusehen wie etwa stark reaktive Säuren. Wasserdampf lässt sich über einen bekannten und reproduzierbaren Druck- und Temperaturbereich präzise kontrollieren und ist für die Reinigung von Oberflächen im Innenvolumen von Wärmetauschern auch wegen seiner gesundheitlichen und ökologischen Unbedenklichkeit besonders gut geeignet, insbesondere bei Wärmetauschern, die zu Klimatisierungszwecken von Luft durchströmt werden. Je nach Art der Verschmutzungen und dem Anwendungsbereich der durchströmten Flugzeugkomponente kann es vorteilhaft sein, dem Reinigungsdampf chemische Reinigungsmittel beizugeben, um die Reinigungswirkung zu verbessern.

[0011] Um eine gute Reinigungswirkung zu erzielen hat sich gezeigt, dass ein Reinigungsdampf bevorzugt mit Temperaturen von mindestens 388 Kelvin, höchstens 646 Kelvin und idealerweise im Bereich von 433 Kelvin zu verwenden ist. Weiter ist es bevorzugt, dass der Dampfdruck des Reinigungsdampfes mindestens 0,17 MPa, höchstens 22 MPa und besonders bevorzugt 0,61

MPa beträgt. Ein Reinigungsdampf mit einem Dampfanteil von 80 %, mindestens aber 10 %, ist für eine optimale Reinigungswirkung vorteilhaft. Ein dadurch bereitgestellter Sattedampf ermöglicht während der Reinigung eine ausreichende Kondensation. Eine Einwirkzeit des Kondensats in die Verschmutzungen im Bereich weniger Minuten kann dabei die Reinigungswirkung erhöhen. Diese Zykluszeit kann je nach Art der Verschmutzung aber auch nur wenige Sekunden oder bis zu einer Stunde betragen. Um nach Erzeugung eines Druckabfalls eine ausreichend schnelle Verdampfung des Kondensats zu gewährleisten, sollte der Druckgradient bevorzugt mindestens 0,01 MPa/s und besonders bevorzugt 0,1 MPa/s betragen.

[0012] In einer besonders vorteilhaften Ausführungsform wird das Verfahren mit einem Dampferzeuger durchgeführt, der regelbar bezüglich Dampfdruck und/oder Dampftemperatur ist. Die Reinigungswirkung hängt wesentlich von der Kondensationsfähigkeit des Reinigungsdampfes ab. Im Falle von Trockendampf, also überhitztem Dampf, ist die Kondensationsfähigkeit stark eingeschränkt und es ist sogar ein weiteres Einbrennen der Verschmutzung möglich. Da einem so genannten Sattedampf stets eine Temperatur und ein Dampfdruck zugeordnet werden kann, lässt sich über diese Parameter eine geeignete Kondensationsfähigkeit einstellen. Insbesondere ist das Verfahren damit auf verschiedene Druck- und Temperaturfestigkeiten der zu reinigenden Oberflächen einstellbar.

[0013] In einer besonders bevorzugten Ausführungsform ist ein weiterer Verfahrensschritt vorgesehen, bei dem der abtransportierte Reinigungsdampf wiederverwertet wird, indem er kondensiert und gereinigt wird und dem Dampferzeuger zur erneuten Erzeugung eines Reinigungsdampfes in einem folgenden Zyklus zugeführt wird. Die Durchführung des erfindungsgemäßen Reinigungsverfahrens mit einer Rückführung und Wiederverwertung des Reinigungsmediums senkt die Kosten des Reinigungsvorgangs, da nicht für jeden Zyklus ein neues ungebrauchtes Reinigungsmedium bereitgestellt werden muss und verringert die zu entsorgende Menge an verbrauchtem Reinigungsmedium pro Reinigungsvorgang.

[0014] In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens, ist ein zusätzlicher Verfahrensschritt vorgesehen, bei dem der abtransportierte Reinigungsdampf eine durchströmte Flugzeugkomponente zur Energierückgewinnung durchläuft, bevor er dem Dampferzeuger erneut zugeführt wird. Ein Teil der thermischen Energie des erhitzten Abdampfes lässt sich damit zur erneuten Dampferzeugung in einem folgenden Reinigungszyklus verwenden.

[0015] Gemäß einer besonders bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Reinigungsverfahrens, wird der Druckabfall im Innenvolumen der zu reinigenden Flugzeugkomponente durch das Öffnen einer Auslassvorrichtung realisiert. Der Dampfdruck wird während der Kondensationszeit aufrechterhalten durch eine

nahezu geschlossene Auslassvorrichtung, die das Innenvolumen von einem Bereich mit geringerem Druck abtrennt. Eine geringfügige Öffnung der Auslassvorrichtung bei gleichzeitiger Aufrechterhaltung des Druckes erlaubt das Abführen von überschüssigem Kondensat und verhindert die unerwünschte Entstehung größerer Wasseransammlungen unter Druck. Eine größere Wasseransammlung würde den erreichbaren Druckgradienten mindern. Durch das Öffnen der Auslassvorrichtung wird der Druck im Innenvolumen schlagartig reduziert, wodurch eine schnelle Verdampfung des Kondensats erreicht wird und der Reinigungsdampf abtransportiert wird. Besonders bevorzugt ist dabei, dass die Auslassvorrichtung ein Schaltventil umfasst. Die Auslassvorrichtung und das Schaltventil müssen dafür einen angepassten Strömungsquerschnitt aufweisen, um einen ausreichend großen Druckgradienten zu erzeugen. Idealerweise ist während des Verfahrens keine Luft im System vorhanden, damit die Wärmeübertragung und Reinigungswirkung optimiert wird. Die kann erreicht werden, indem zu Beginn der Bedruckung die Auslassvorrichtung zunächst etwas geöffnet bleibt, um das Verdrängen und Ausblasen der Luft durch den Dampf zu erlauben. Alternativ kann die Luft vor Beginn der Bedruckung abgesaugt werden (Vakuum) .

[0016] Weiter ist bevorzugt, dass der Verschmutzungsgrad des abtransportierten Reinigungsdampfes gemessen wird. Durch die Analyse des Verschmutzungsgrads und der Art der Verschmutzungen kann auf die Reinigungswirkung des Spüldurchgangs geschlossen werden und für folgende Zyklen können Verfahrensparameter wie Kondensationszeit und Dampfdruck angepasst werden. Weiter ist bevorzugt den Reinigungszyklus so oft zu wiederholen, bis der gemessene Verschmutzungsgrad einen vorbestimmten Schwellwert erreicht, so dass die Reinigung abgeschlossen werden kann.

[0017] In einer weiteren Ausführungsform wird der Druckverlust während eines Reinigungsvorgangs einer genormten Vergleichskomponente (Vergleichswert) gemessen und der Reinigungszyklus automatisiert wiederholt, bis der gemessene Druckverlust der zu reinigenden Flugzeugkomponente im Wesentlichen dem Vergleichswert entspricht. Eine Vergleichskomponente kann dabei idealerweise aus einer neuen oder gereinigten Komponente, die baugleich mit der zu reinigenden Flugzeugkomponente ist, bestehen. Durch Integration der Vergleichskomponente in den Reinigungsaufbau, idealerweise in einem parallelen Aufbau, werden beide Flugzeugkomponenten den gleichen Reinigungsbedingungen ausgesetzt. Die Analyse des Druckverlusts während der Reinigung bietet so eine Kontrolle des Reinigungsergebnisses ohne im Vorhinein Tests durchführen zu müssen, um Standardparameter der unterschiedlichen Flugzeugkomponenten festzulegen. Das exakte Erreichen des Vergleichswertes muss dabei nicht als Verfahrensendpunkt erreicht werden. Der Vergleichswert kann auch durch einen vorher festgelegten Toleranzbereich

gebildet sein, der einen für die Funktionalität der durchströmten Flugzeugkomponente ausreichenden Reinigungsgrad erwarten lässt. Vorteilhaft ist zusätzlich ein zeitlich begrenztes Endsignal, so dass die automatisierte Wiederholung der Reinigungszyklen abgebrochen wird, falls der Vergleichswert nicht innerhalb einer vorher definierten Maximalzeit erreicht wird. Dies verhindert zeitaufwändige Reinigungen bei stark verschmutzten, nicht mehr reinigbaren Komponenten, die im Endergebnis ausgetauscht werden müssen.

[0018] Die Erfindung wird im Folgenden anhand bevorzugter Ausführungsformen unter Bezugnahme auf die beigefügten Figuren erläutert. Dabei zeigt:

15 Fig. 1 eine schematische Darstellung des Aufbaus für ein erfindungsgemäßes Verfahren zur Reinigung von Oberflächen im Innenvolumen einer durchströmten Flugzeugkomponente;

20 Fig. 2 eine schematische Darstellung des Prozessablaufs eines erfindungsgemäßen Verfahrens zur Reinigung von Oberflächen im Innenvolumen einer durchströmten Flugzeugkomponente;

25 Fig. 3a-3d eine schematische Darstellung des Wirkprinzips des erfindungsgemäßen Reinigungsverfahrens; und

30 Fig. 4 eine schematische Darstellung einer weiteren Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Reinigungsverfahrens.

35 **[0019]** Fig. 1 und Fig. 2 zeigen schematisch und beispielhaft den Aufbau und den Prozessablauf eines erfindungsgemäßen Reinigungsverfahrens. Dabei wird im Folgenden davon ausgegangen, dass es sich bei der zu reinigenden durchströmten Flugzeugkomponente 2 um einen Wärmetauscher 2 handelt. Dies soll nicht als Einschränkung zu verstehen sein, vielmehr ist das erfindungsgemäße Reinigungsverfahren auf eine Vielzahl durchströmter Flugzeugkomponenten 2 anwendbar mit zu reinigenden Oberflächen in deren Innenvolumen. Zunächst werden die zu reinigenden Oberflächen in den Reinigungsaufbau 1 integriert. Bei zu reinigenden Oberflächen im Innenvolumen eines Wärmetauschers 2, wird der Wärmetauscher 2 über eine geeignete Adaptierung 3 an den Reinigungsaufbau 1 angeschlossen. Dabei ist im Reinigungsaufbau 1 ein Dampferzeuger 4 vorgesehen. Es notwendig, dass durch die Adaptierung 3 eine druckfeste Verbindung zwischen dem Dampferzeuger 4 und dem zu reinigenden Innenvolumen des Wärmetauschers 2 gebildet ist. Ein flüssiges Reinigungsmedium, das im Regelfall zum Großteil aus Wasser besteht, wird in einem der Reinigung vorgelagerten Schritt 6 für die Anforderungen der zu reinigenden Oberflächen aufbereitet. Die vorgelagerte Aufbereitung 6 kann beispiels-

weise in einer Demineralisierung des flüssigen Reinigungsmediums bestehen. Im Folgenden ist der Ablauf des erfindungsgemäßen Reinigungsverfahrens anhand von Wasser als Reinigungsmedium erläutert; dem Offenbarungsgehalt dieser Anmeldung sind jedoch ausdrücklich auch andere geeignete Reinigungsmedien hinzuzurechnen, insbesondere chemische Reinigungsmittel oder wässrige Lösungen von chemischen Reinigungsmitteln.

[0020] Das aufbereitete Wasser wird dem Dampferzeuger 4 zugeführt, der eine Dampf Bildung des Wassers bewirkt. So kann beispielsweise durch Wärmezufuhr und eine Pumpe ein Reinigungsdampf 7 unter Überdruck erzeugt werden. Die Erzeugung des Reinigungsdampfes 7 ist dabei bevorzugt regelbar. Um eine gute Reinigungswirkung zu erzielen, hat sich gezeigt, dass ein Reinigungsdampf 7 mit Temperaturen von mindestens 388 Kelvin, einem Dampfdruck von mindestens 0,17 MPa und einem Dampfanteil von mindestens 10 % verwendet werden sollte. Idealerweise sollte die Temperatur etwa 433 Kelvin, der Dampfdruck etwa 0,8 MPa und der Dampfanteil etwa 80 % betragen. Ein derartiger Satt-dampf ist vorteilhaft, um während der Reinigung eine ausreichende Kondensation zu gewährleisten.

[0021] Prinzipiell kann auch Trockendampf, also überhitzter Dampf, eingesetzt werden, wobei zu beachten ist, dass die Reinigungsleistung wesentlich geringer ist und die Verschmutzungen 9 einbrennen und sich weiter verfestigen können. Im Bereich des Satt-dampfes sind Dampfdruck und Temperatur immer eindeutig zugeordnet, womit sich eine Steuerung über die Regelung von Druck und Temperatur anpassen lässt.

[0022] Mit dem im Dampferzeuger 4 erzeugten Reinigungsdampf 7 werden folgend die zu reinigenden Oberflächen im Innenvolumen des Wärmetauschers 2 beaufschlagt. Dem Beaufschlagen des Innenvolumens des Wärmetauschers 2 mit dem erzeugten Reinigungsdampf 7 und einem Aufwärmen des Wärmetauschers 2 auf eine geeignete Temperatur, schließt sich eine ausreichend lange Kondensationszeit an, in der der Reinigungsdampf 7 auf die zu reinigenden Oberflächen einwirken kann und an den Oberflächen ein Reinigungsdampfkondensat 8 bilden kann. Dabei findet die Kondensation auch an den Verschmutzungen 9 statt.

[0023] Im nächsten Schritt wird ein starker Druckabfall 10 erzeugt. Dies kann beispielsweise durch das Öffnen eines Schaltventils 11 in einer Auslassvorrichtung realisiert sein. Der Druckgradient bestimmt die Reinigungswirkung wesentlich, da durch den Druckgradienten das schnelle Verdampfen und somit das Tempo der Volumexpansion des abgelagerten Kondensats 8 während der Phasenumwandlung von flüssig zu fest bestimmt wird. Dabei sollte der Druckgradient wenigstens eine Rate von etwa 0,01 MPa/s, idealerweise etwa 0,1 MPa/s betragen. Durch die geöffnete Auslassvorrichtung wird der Reinigungsdampf 7 anschließend zusammen mit den gelösten Verschmutzungen 9 abtransportiert.

[0024] Die Reinigungsschritte werden mit einer vorbe-

stimmten Zykluszeit wiederholt. Diese kann je nach Art der Verschmutzungen 9 zwischen etwa 20 Sekunden und bis zu einer Stunde dauern und liegt idealerweise bei wenigen Minuten. Um den Reinigungsvorgang zu überwachen, wird der Abdampf 13, also der ausgestoßene Reinigungsdampf, kondensiert und analysiert. Hierdurch kann die Reinigungswirkung und der erfolgreiche Abschluss des Reinigungsvorgangs festgestellt werden. Im Anschluss an die Reinigungsschritte können weitere Spülvorgänge 14, beispielsweise mit Wasser vorgesehen sein um gelöste Verschmutzungen 9 abzutransportieren, die zwar durch den Reinigungsdampf 7 gelöst wurden, aber noch im Innenvolumen des Wärmetauschers 2 verblieben sind. Während des Spülvorgangs 14 mit Wasser kann in einem Analyseschritt 15 zudem der Druckverlust über den Wärmetauscher 2, als weiterer Indikator für den Grad der Reinigung, gemessen werden. Nach dem letzten Spülvorgang 14 wird der Wärmetauscher 2 mit Dampf getrocknet 33, offen abgekühlt 34 und nachgetrocknet 35 und steht dann als gereinigter Wärmetauscher 2' zur Verfügung.

[0025] Für das Reinigungsverfahren ist als optionaler Schritt 16 eine Energierückgewinnung vorgesehen, welche sich durch den Einsatz eines Wärmetauschers realisieren lässt, der zwischen der Auslassvorrichtung und dem Wasserzulauf 18 des Wärmetauschers 2 angeordnet ist und die vom Abdampf 13 gewonnene Wärme für die Dampferzeugung 4 zur Verfügung stellt. Der verschmutzte Abdampf 13, beziehungsweise das verschmutzte Abwasser 13, kann anschließend entsorgt werden 36. Darüber hinaus kann auch der Abdampf 13 weiterverwertet werden, indem einem Dampfzylinderzyklus eine Wasserrückgewinnung 19 nachgeschaltet ist, die beispielsweise durch Abscheidung 20 der Verschmutzungen 9 aus dem Abwasser 13, Filtration des Wassers und Bereitstellung des derart aufbereiteten Wassers am Zulauf 18 des Dampferzeugers 4 realisiert ist.

[0026] Die Wirkungsweise des Ablösens der Oberflächenverschmutzungen 9 ist in den Fig. 3a bis 3d schematisch dargestellt. Das erfindungsgemäße Reinigungsverfahren macht sich die natürliche Beschaffenheit der Verschmutzungen 9 der zu reinigenden Oberflächen zu Nutze. Die Verschmutzungen 9 lagern am Basismaterial 21 der zu reinigenden Oberflächen an und sind in der Regel porös und weisen Kavitäten 22 und Risse 23 auf. Während des Reinigungsverfahrens werden die Oberflächen sowie die Verschmutzungen 9 mit dem Überdruck und dem Reinigungsdampf 7 beaufschlagt (Fig. 3b). Während der Kondensationszeit beginnt der Reinigungsdampf 7 an allen Oberflächen und somit auch an den Verschmutzungen 9 zu kondensieren. Das Reinigungsdampfkondensat 8 belegt dabei die Oberflächen und beginnt aufgrund der Porosität der Verschmutzungen 9 in Risse 23 und Kavitäten 22 einzudringen und sich dort abzulagern (Fig. 3c). Im nächsten Schritt wird ein Druckabfall 10 erzeugt, welcher ein plötzliches Verdampfen und somit eine Volumenzunahme des in den

Verschmutzungen 9 eingelagerten Reinigungsdampf-kondensats 8 bewirkt. Die hierdurch erzeugten, in den Verschmutzungen 9 lokal wirkenden Druckkräfte führen dann zu einem Abplatzen und Ablösen 24 der Verschmutzungen 9. Der vergrößerte Volumenstrom 25 des Reinigungsdampfes 7 unterstützt zusätzlich den Abtransport 26 der gelösten Verschmutzung 9 (Fig. 3d).

[0027] Die erfindungsgemäße Reinigung kann nicht nur bei porösen oder festen Verschmutzungen angewendet werden, sondern es können beispielsweise auch flüssige oder zähviskose Filme abgetragen werden. Der zuvor unter Bezugnahme auf Figur 3 beschriebene Wirkmechanismus kann sich bei anderen als den dargestellten porösen bzw. festen Verschmutzungen anders darstellen.

[0028] In Fig. 4 ist eine konkrete Manifestation des Reinigungsverfahrens erläutert. Dabei ist ein Wärmetauscher 2 über eine erste Adaptierung 3 an einen druck- und temperaturregelbaren Dampferzeuger 4 angeschlossen. Dieser wird an seinem Wasserzulauf 18 über eine Demineralisierungsvorrichtung 6 mit Nutzwasser und aufbereitetem Wasser aus einem Wasserkreislauf 28 versorgt. Ein Ausgang des zu reinigenden Wärmetauschers 2 wird über eine zweite Adaptierung 3' an ein Schaltventil 11 angeschlossen. Mittels des Dampferzeugers 4 wird Druck im Wärmetauscher 2 aufgebaut. Dabei sammelt sich zunächst Kondensat 8 an den Oberflächen an, die eine geringere Temperatur als der erzeugte Reinigungsdampf 7 aufweisen. Nach dem Erreichen eines vorbestimmten Dampfdruck- und/oder Temperaturniveaus wird dieser Zustand für die Dauer einer definierten Kondensationszeit gehalten. Die Kondensationszeit kann je nach Bedarf variieren und liegt im Normbereich bei etwa einer halben Minute bis zu etwa einer Stunde. Je nach Struktur und Zusammensetzung der Verschmutzungen 9 sowie der Dauer der Kondensationszeit, in der der Dampfdruck im Innenvolumen des Wärmetauschers 2 aufrechterhalten wird, wird das Kondensat 8 in den Verschmutzungen 9 eingelagert. Nach Ablauf der Kondensationszeit wird das in der Auslassvorrichtung vorgesehene Schaltventil 11 vollständig geöffnet, sodass sich ein starker Druckabfall 10 im Innenvolumen des Wärmetauschers 2 einstellt. Aufgrund des starken Druckabfalls 10 verdampfen die Ansammlungen von Dampf-kondensat 8 unter großer Volumenzunahme. Damit sich eine ausreichend große Druckabfallrate einstellt, sind die Auslassvorrichtung, das Schaltventil 11 sowie nachgelagerte Rohrleitungen mit einem ausreichend großen Strömungsquerschnitt versehen. Für ein mit Dampfdruck beaufschlagtes zu reinigendes Innenvolumen eines Wärmetauschers 2 von etwa 3 Litern haben sich beispielsweise DN12 Strömungsrohrquerschnitte als ausreichend erwiesen. Für größere druckbeaufschlagte Volumina sind entsprechend größere Strömungsrohrquerschnitte zu wählen. Der Druckverlust über den Wärmetauscher 2 kann dabei analysiert 15 werden. Über die Auslassvorrichtung tritt das Dampf-Kondensat-Gemisch 7, 8 aus. Die Auslassvorrichtung ist mit

einem Kondensator 30 strömungstechnisch verbunden. Das Dampf-Kondensat-Gemisch 7, 8 wird abtransportiert 26 und dem Kondensator 30 zugeführt, in dem eine vollständige Kondensation des abtransportierten Abdampfes 13 erfolgen soll. An dieser Stelle ist es vorteilhaft, Proben des kondensierten Gemisches zu entnehmen und auf Verschmutzungsanteile und deren Zusammensetzung zu untersuchen 31, um auf die Reinigungswirkung schließen zu können. Anhand der in diesem Schritt 31 gewonnenen Erkenntnisse, können die Verfahrensparameter der folgenden Reinigungszyklen effektiv angepasst werden. Das Abwasser 13 aus einem Reinigungsdurchgang wird in einem Abscheidebehälter 20 gesammelt, wobei sich die Verschmutzungen 9 je nach Art separieren lassen, sodass das gereinigte Wasser über einen Wasserkreislauf 28 und eine Wasseraufbereitung 32 mit Filtration dem Dampferzeuger 4 zugeführt wird und somit wieder in den Prozess gelangt.

[0029] Grundsätzlich sind die mechanischen Belastungen durch die Druckschwankungen und Strömungskräfte im Innenvolumen des zu reinigenden Wärmetauschers 2 zu berücksichtigen. Wärmetauscher 2 weisen häufig empfindliche Konstruktionen mit geringen Materialwandstärken auf, die beschädigt werden können. Die strömungsmechanischen Belastungen bei einem Dampfreinigungsverfahren sind aber aufgrund der deutlich geringeren Dichte von Dampf gegenüber Flüssigkeiten geringer als bei einem Spülverfahren.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Reinigung von Oberflächen im Innenvolumen einer durchströmten Flugzeugkomponente (2), umfassend mindestens folgende Schritte:

- Verbinden des zu reinigenden Innenvolumens mit einem Dampferzeuger (4),
- Erzeugen eines Reinigungsdampfes (7) mit vorbestimmtem Dampfdruck und Temperatur durch den Dampferzeuger (4),
- Beaufschlagen der zu reinigenden Oberflächen im Innenvolumen der durchströmten Flugzeugkomponente (2) mit dem Reinigungsdampf (7),
- Aufrechterhalten des Dampfdruckes und der Temperatur innerhalb des Innenvolumens für die Dauer einer vorbestimmten Kondensationszeit,
- Erzeugen eines Druckabfalls (10) im Innenvolumen der durchströmten Flugzeugkomponente (2) zur Verdampfung des während der Kondensationszeit kondensierten Teils (8) des Reinigungsdampfes (7),
- Abtransport (26) des Reinigungsdampfes (7, 13) aus dem Innenvolumen der durchströmten Flugzeugkomponente (2) durch eine Auslassvorrichtung.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Innenvolumen der durchströmten Flugzeugkomponente (2) nach dem Abtransport (26) des Reinigungsdampfes (7) mit Wasser durchspült wird. 5
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Schritte mit einer vorbestimmten Zykluszeit wiederholt werden. 10
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** als Reinigungsdampf (7) Wasserdampf verwendet wird. 15
5. Verfahren nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Dampfdruck des Reinigungsdampfes (7) zwischen 0,17 mPa und 22 MPa liegt. 20
6. Verfahren nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Dampftemperatur des Reinigungsdampfes (7) zwischen 388 K und 646 K liegt. 25
7. Verfahren nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Druckabfall (10) im Innenvolumen der durchströmten Flugzeugkomponente (2) mindestens 0,01 MPa/s, bevorzugt 0,1 MPa/s beträgt. 30
8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Dampferzeuger (4) regelbar bezüglich Dampfdruck und/oder Dampftemperatur ist. 35
9. Verfahren nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** der abtransportierte Reinigungsdampf (13) wiederverwertet wird, indem er kondensiert (30) und gereinigt (32) wird und dem Dampferzeuger (4) zur erneuten Erzeugung eines Reinigungsdampfes (7) in einem folgenden Zyklus zugeführt wird. 40
10. Verfahren nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** der abtransportierte Reinigungsdampf (13) einen Wärmetauscher zur Energierückgewinnung (16) durchläuft, bevor er dem Dampferzeuger (4) erneut zugeführt wird. 45
11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Druckabfall (10) im Innenvolumen der zu reinigenden durchströmten Flugzeugkomponente (2) durch das Öffnen einer Auslassvorrichtung realisiert wird. 50
12. Verfahren nach Anspruch 11, wobei die Auslassvorrichtung ein Schaltventil (11) umfasst. 55
13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Ver-

schmutzungsgrad des abtransportierten Reinigungsdampfes (13) gemessen wird.

14. Verfahren nach Anspruch 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Reinigungszyklus so oft wiederholt wird, bis der gemessene Verschmutzungsgrad einen vorbestimmten Schwellwert erreicht.

15. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass**

- der Druckverlust während eines Reinigungsvorgangs einer genormten Vergleichskomponente (Vergleichswert) gemessen wird und dass
- der Reinigungszyklus automatisiert wiederholt wird, bis der gemessene Druckverlust der zu reinigenden Flugzeugkomponente (2) im Wesentlichen dem Vergleichswert entspricht.

Claims

1. Method for cleaning surfaces in the internal volume of an aircraft component (2) through which a medium flows, said method comprising at least the following steps:

- connecting the internal volume to be cleaned to a steam generator (4),
- generating a cleaning steam (7) having a predetermined vapour pressure and temperature, by means of the steam generator (4),
- applying the cleaning steam (7) to the surfaces to be cleaned in the internal volume of the aircraft component (2) through which a medium flows,
- maintaining the vapour pressure and the temperature within the internal volume for the duration of a predetermined condensation time,
- generating a pressure drop (10) in the internal volume of the aircraft component (2) through which a medium flows, in order to vaporise the portion (8) of the cleaning steam (7) that condensed during the condensation time,
- removing (26) the cleaning steam (7, 13) from the internal volume of the aircraft component (2) through which a medium flows, via a discharge device.

2. Method according to claim 1, **characterised in that** the internal volume of the aircraft component (2) through which a medium flows is rinsed with water following removal (26) of the cleaning steam (7).

3. Method according to either claim 1 or claim 2, **characterised in that** the steps are repeated in a manner having a predetermined cycle time.

4. Method according to any of the preceding claims,

characterised in that water vapour is used as the cleaning steam (7).

5. Method according to claim 4, **characterised in that** the vapour pressure of the cleaning steam (7) is between 0.17 mPa and 22 MPa. 5
6. Method according to claim 4, **characterised in that** the vapour temperature of the cleaning steam (7) is between 388 K and 646 K. 10
7. Method according to claim 4, **characterised in that** the pressure drop (10) in the internal volume of the aircraft component (2) through which a medium flows is at least 0.01 MPa/s, preferably 0.1 MPa/s. 15
8. Method according to any of the preceding claims, **characterised in that** the vapour pressure and/or vapour temperature of the steam generator (4) can be controlled. 20
9. Method according to claim 4, **characterised in that** the removed cleaning steam (13) is recycled, by means of being condensed (30) and cleaned (32), and supplied to the steam generator (4) for generating a cleaning steam (7) again, in a subsequent cycle. 25
10. Method according to claim 9, **characterised in that** the removed cleaning steam (13) passes through a heat exchanger for the purpose of energy recovery (16), before being supplied to the steam generator (4) again. 30
11. Method according to any of the preceding claims, **characterised in that** the pressure drop (10) in the internal volume of the aircraft component (2) through which a medium flows is achieved by opening a discharge device. 35
12. Method according to claim 11, wherein the discharge device comprises a switch valve (11). 40
13. Method according to any of the preceding claims, **characterised in that** the degree of contamination of the removed cleaning steam (13) is measured. 45
14. Method according to claim 13, **characterised in that** the cleaning cycle is repeated until the measured degree of contamination reaches a predetermined threshold value. 50
15. Method according to any of the preceding claims, **characterised in that**

- the pressure loss during a cleaning process of a standardised comparison component (comparative value) is measured, and **in that**

- the cleaning cycle is repeated in an automated manner, until the measured pressure loss of the aircraft component (2) to be cleaned substantially corresponds to the comparative value.

Revendications

1. Procédé pour nettoyer des surfaces dans le volume intérieur d'un composant d'avion (2) parcouru par un fluide, comprenant au moins les étapes suivantes consistant à :
 - raccorder le volume intérieur à nettoyer à un générateur de vapeur (4),
 - générer, par l'intermédiaire du générateur de vapeur (4), une vapeur de nettoyage (7) ayant une pression de vapeur et une température prédéterminées,
 - appliquer la vapeur de nettoyage (7) sur les surfaces à nettoyer dans le volume intérieur du composant d'avion (2) parcouru par un fluide,
 - maintenir la pression de vapeur et la température à l'intérieur du volume intérieur pendant la durée d'un temps de condensation prédéterminé,
 - générer une chute de pression (10) dans le volume intérieur du composant d'avion (2) parcouru par un fluide afin de vaporiser la partie (8) de la vapeur de nettoyage (7) qui s'est condensée pendant le temps de condensation,
 - évacuer (26), par l'intermédiaire d'un dispositif d'échappement, la vapeur de nettoyage (7, 13) hors du volume intérieur du composant d'avion (2) parcouru par un fluide.
2. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** le volume intérieur du composant d'avion (2) parcouru par un fluide est rincé avec de l'eau après l'évacuation (26) de la vapeur de nettoyage (7).
3. Procédé selon la revendication 1 ou 2, **caractérisé en ce que** les étapes sont répétées avec un temps de cycle prédéterminé.
4. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** de la vapeur d'eau est utilisée en tant que vapeur de nettoyage (7).
5. Procédé selon la revendication 4, **caractérisé en ce que** la pression de vapeur de la vapeur de nettoyage (7) est comprise entre 0,17 mPa et 22 MPa.
6. Procédé selon la revendication 4, **caractérisé en ce que** la température de vapeur de la vapeur de nettoyage (7) est comprise entre 388 K et 646 K.
7. Procédé selon la revendication 4, **caractérisé en ce**

que la chute de pression (10) dans le volume intérieur du composant d'avion (2) parcouru par un fluide est au moins de 0,01 MPa/s, de préférence de 0,1 MPa/s.

- 5
8. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la pression de vapeur et/ou la température de vapeur du générateur de vapeur (4) peut être réglée.
- 10
9. Procédé selon la revendication 4, **caractérisé en ce que** la vapeur de nettoyage (13) évacuée est recyclée, en la condensant (30) et en la nettoyant (32), et est acheminée au générateur de vapeur (4) afin de générer de nouveau une vapeur de nettoyage (7) lors d'un cycle suivant.
- 15
10. Procédé selon la revendication 9, **caractérisé en ce que** la vapeur de nettoyage (13) évacuée passe à travers un échangeur de chaleur en vue d'une récupération d'énergie (16) avant qu'elle soit de nouveau acheminée au générateur de vapeur (4).
- 20
11. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la chute de pression (10) dans le volume intérieur du composant d'avion (2) parcouru par un fluide à nettoyer est réalisée par une ouverture du dispositif d'échappement.
- 25
12. Procédé selon la revendication 11, dans lequel le dispositif d'échappement comprend une vanne de commutation (11).
- 30
13. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le degré d'encrassement de la vapeur de nettoyage (13) évacuée est mesuré.
- 35
14. Procédé selon la revendication 13, **caractérisé en ce que** le cycle de nettoyage est répété jusqu'à ce que le degré d'encrassement mesuré atteigne une valeur de seuil prédéterminée.
- 40
15. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que**
- 45
- la perte de pression pendant une opération de nettoyage d'un composant de comparaison normalisé (valeur de comparaison) est mesurée et **en ce que**
 - le cycle de nettoyage est répété de manière automatisée jusqu'à ce que la perte de pression mesurée du composant d'avion (2) à nettoyer corresponde sensiblement à la valeur de comparaison.
- 50
- 55

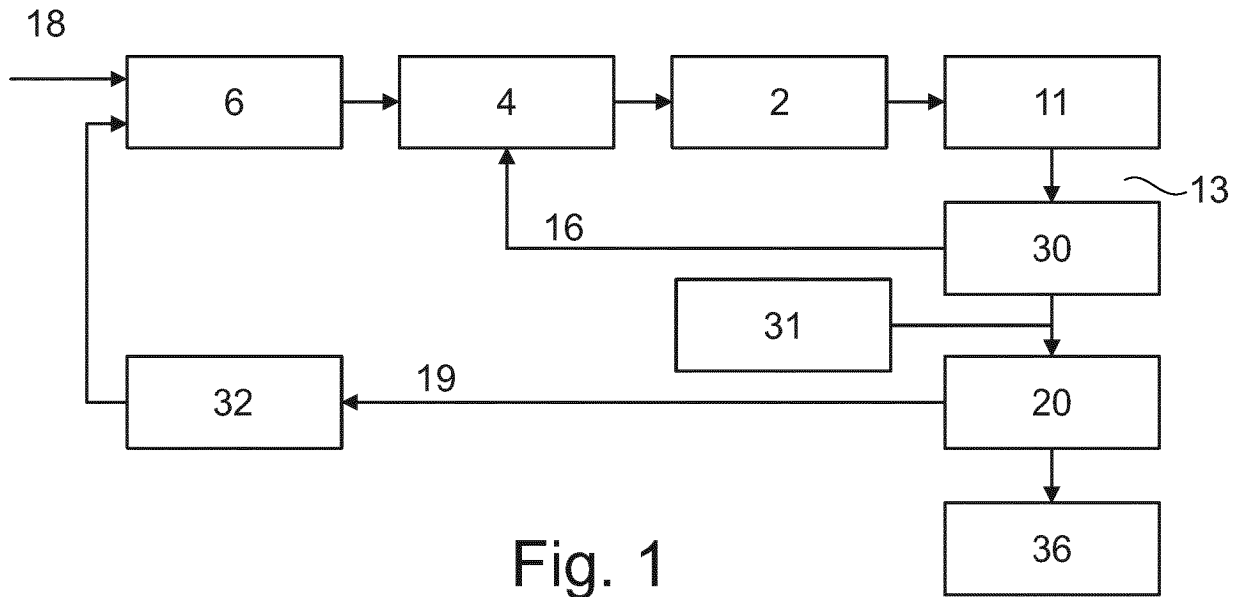


Fig. 1

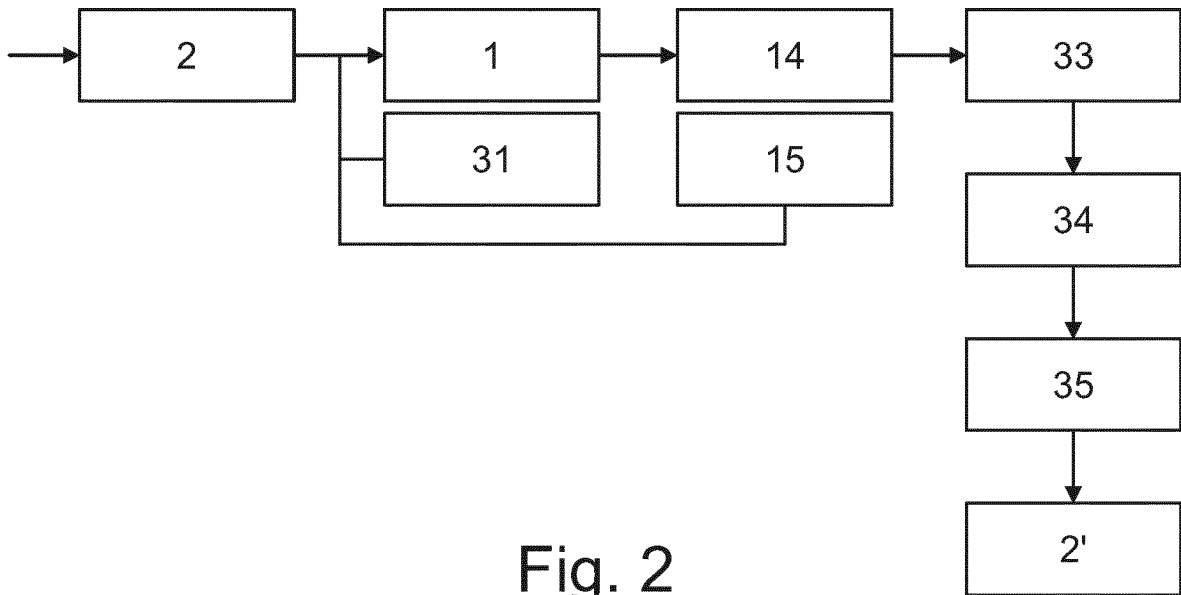


Fig. 2

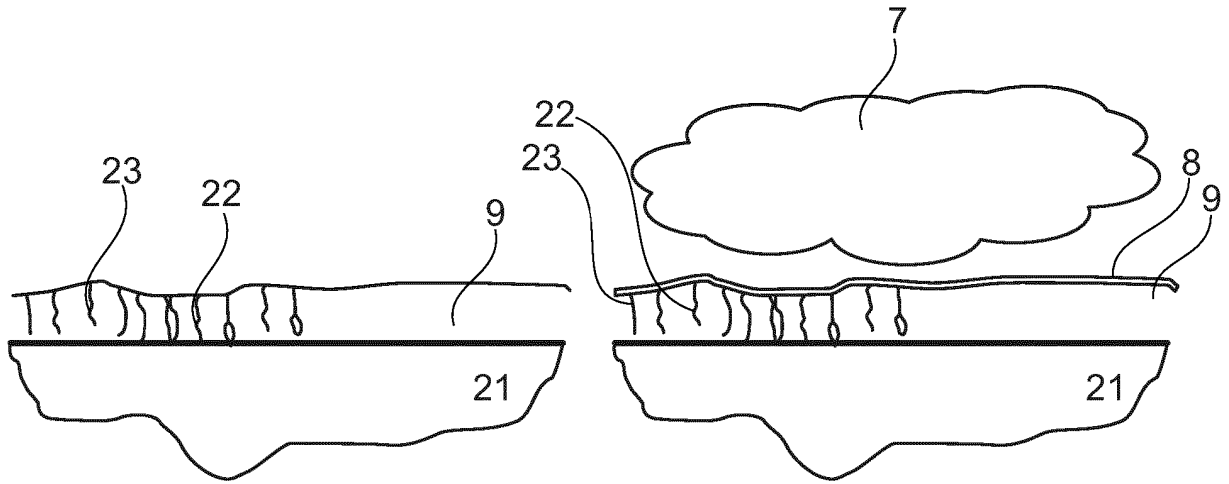


Fig. 3a

Fig. 3b

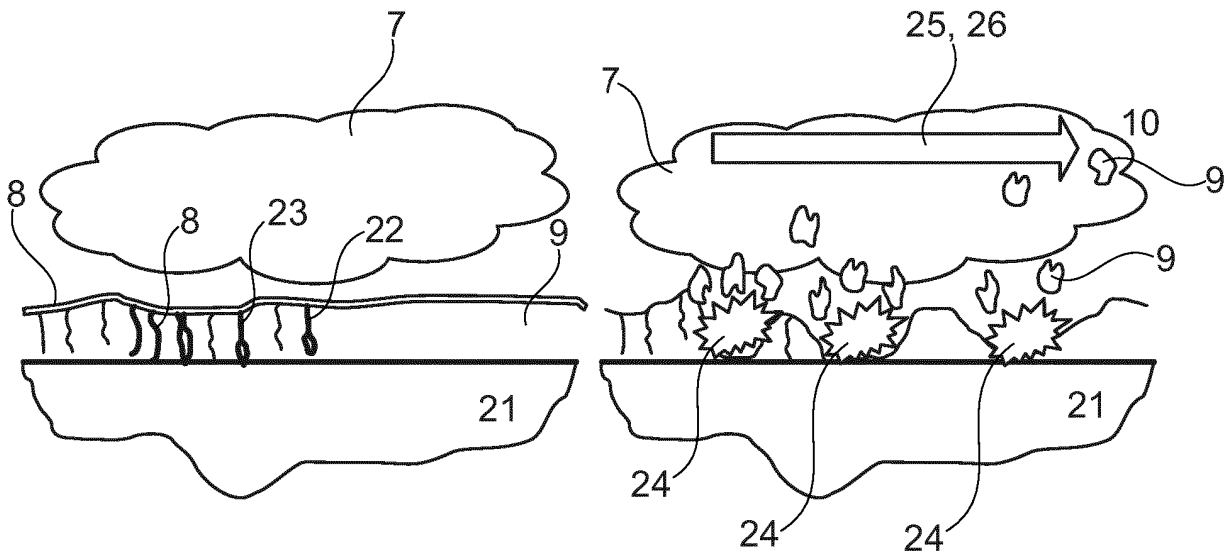


Fig. 3c

Fig. 3d

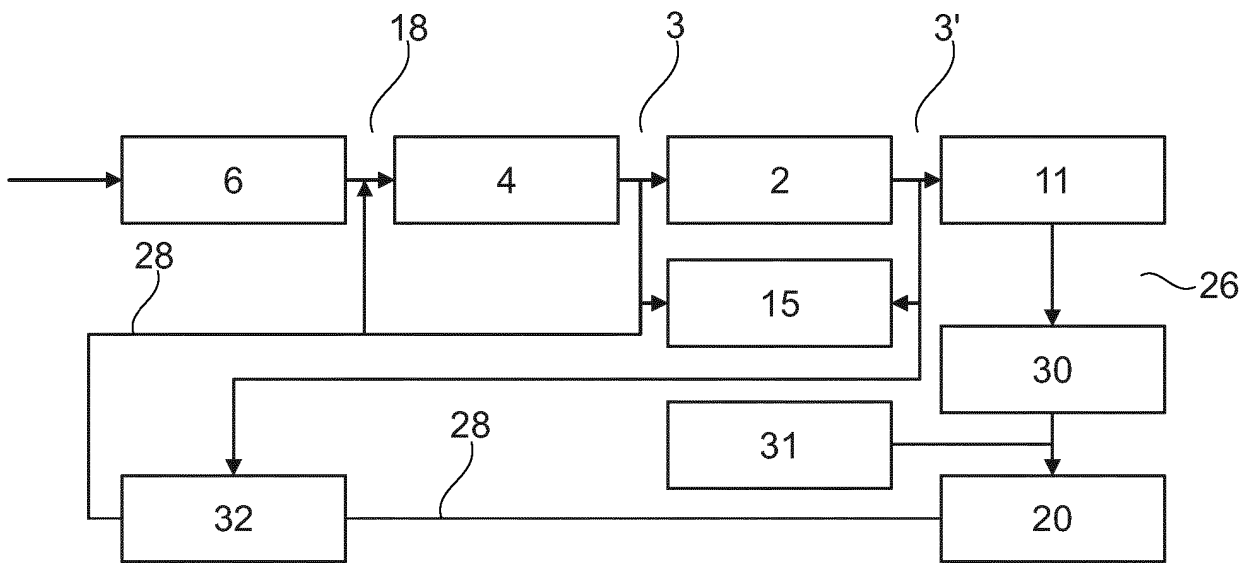


Fig. 4

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

- DE 102009009938 A1 [0004]