



(10) **DE 10 2009 004 792 B4** 2019.10.31

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2009 004 792.1**

(22) Anmeldetag: **13.01.2009**

(43) Offenlegungstag: **15.07.2010**

(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **31.10.2019**

(51) Int Cl.: **F01D 5/10 (2006.01)**

F01D 5/16 (2006.01)

F01D 5/26 (2006.01)

F01D 5/08 (2006.01)

F01D 11/00 (2006.01)

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:

**Rolls-Royce Deutschland Ltd & Co KG, 15827
Blankenfelde-Mahlow, DE**

(72) Erfinder:

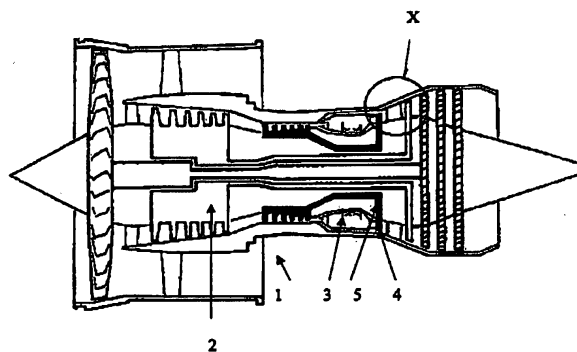
**Xu, Jianmin, Dr.-Ing., 12207 Berlin, DE;
Gerstberger, Ulf, Dr.-Ing., 12161 Berlin, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	38 25 951	A1
DE	10 2005 054 823	A1
DE	60 2004 009 487	T2
US	5 228 835	A
US	4 765 436	A
EP	0 774 048	B1
EP	1 790 824	A2
WO	2007 / 063 128	A1

(54) Bezeichnung: **Dämpfungselement (Reibdämpfer) mit Dichtungsfunktion für Turbinenlaufschaufeln**

(57) Hauptanspruch: Reibdämpfer mit Dichtungsfunktion für Turbinenschaufeln, der in seinen Längsflächen in radialer Richtung verlaufende Staubkanäle (16) zwischen Reibungsflächen (21, 22) aufweist, wobei die Staubkanäle (16) in Strömungsrichtung einer durch den Reibdämpfer (10) strömenden Kühlluft (13) konisch ausgebildet und mit Austrittsöffnungen (17) am freien Ende der Staubkanäle (16) versehen sind.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung bezieht - sich auf ein Dämpfungselement (Reibdämpfer) mit Dichtungsfunktion für Turbinenlaufschaufeln.

[0002] Aus EP 0 774 048 B1 und US 4,765,436 B sind Dämpfungselemente für Turbinenlaufschaufeln bekannt, die unterhalb der Plattformen zweier angrenzender Laufschaufeln angeordnet sind, sie mit je einem Schaufelfuß im Scheibenrad der Turbine gesichert sind.

[0003] Die Konstruktion dieser, auch Reibdämpfer genannten Dämpfungselemente (cottage-roof-damper) für Turbinenlaufschaufeln erfolgt bisher unter Berücksichtigung der Reibkräfte sowie der Abdichtung gegen Heißgaseintritt aus dem Bereich oberhalb der Plattformen in das mit Kühlluft betriebene Sekundärluftsystem unterhalb der Plattformen. Die Reibdämpfer sind üblicherweise im Zwischenraum zwischen den Schaufelhälsen unter den Plattformen zweier benachbarter Laufschaufeln angeordnet. Es gibt unterschiedliche Ausführungsformen des Querschnitts der Reibdämpfer, da der Querschnitt an die jeweilige Schaufelgeometrie angepasst sein muss. So gibt es symmetrische und auch unsymmetrische Querschnittsformen von Reibdämpfern. Die Wirkungsweise der Reibdämpfer basiert auf einem weitestgehend vollflächigen oder durchgehend linienförmigen Kontakt (US 4,765,436 B oder US 5,228,835 A) mit den Plattformen der Laufschaufeln. Zur Vermeidung des Eindringens von Heißgas vom Hauptkanal oberhalb der Plattformen in das Sekundärluftsystem unterhalb der Plattformen, strömt die Kühlluft unter einem gegenüber dem Druck des Heißgases im Hauptkanal höherem Druck in den Zwischenraum, der von den beiden benachbarten Schaufelhälsen begrenzt ist und sich unter dem Reibdämpfer befindet.

[0004] Zum einen wird die Luft in radialer Richtung durch die Schaufelblätter abgeleitet, um diese von innen zu kühlen. Die anströmende Kühlluft wird zum anderen zur Kühlung der Schaufel- und Scheibenoberflächen in dem Zwischenraum unterhalb der Schaufelplattformen genutzt. Während der Kühlluftstrom dort durch den kleinen Spalt zweier benachbarter Laufschaufeln entweicht, wird er abgebremst.

[0005] Da die Strömung an den Rändern des Zwischenraumes stagniert, kommt es zu Ablagerungen von in der Kühlluft mitgeführten Staub- oder Abrasivteilchen an den Oberflächen des Schaufelhalses unterhalb der Schaufelplattformen. Durch vermehrte Ablagerung dieser fremden Teilchen, auch schädlichen Chemiekpartikeln, und im Zusammenwirken mit den Materialien der eventuell auf den Schaufelgrundwerkstoff aufgetragenen Schutzschicht, verringert sich die Lebensdauer dieser Schutzschicht er-

heblich und führt anschließend zu überdurchschnittlicher Korrosion des Schaufelgrundwerkstoffes. Infolge dessen kommt es an dieser Stelle zum Anriss und zur Rissausbreitung im Grundwerkstoff unter den hohen Fliehkräften, denen die Laufschaufeln im Betrieb ausgesetzt sind, wodurch es zum Schaufelbruch kommen kann. Ein Schaufelbruch an dieser Stelle verursacht aufgrund der hohen kinetischen Energie meistens auch einen Kettenbruch aller anderen Laufschaufeln.

[0006] Aus der EP 1 452 694 B1 ist es zur Verhinderung einer Überhitzung und einer daraus resultierenden Rissbildung im Bereich der Plattformen bekannt, bei Dämpfungs- und Dichtungselementen zwischen benachbarten Plattformen von Turbinenlaufschaufeln Kühlluftkanäle an deren Berührungsflächen mit den Plattformen anzuordnen.

[0007] Weiterhin ist aus der DE 10 2005 054 823 A1 ein Dichtungsstift mit kontrollierter Leckage und Schwingungsdämpfer für aktive Kühlung und Spülung von Schaufelblattschlitzflächen bekannt, welcher an gegenüberliegenden Seiten zueinander versetzt angeordnete, ringsegmentförmige Vertiefungen bzw. Kanäle zur Förderung eines Kühlluftstroms aufweist.

[0008] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, die Ablagerung von Staub- oder Abrasivteilchen auf den Oberflächen des Schaufelhalses unter der Plattform der Turbinenlaufschaufeln zu verringern.

[0009] Zur Lösung dieser Aufgabe sieht die Erfindung vor, dass in den Reibungsflächen zwischen dem Reibdämpfer und der Schaufelplattform in radialer Richtung verlaufende Staubkanäle im Reibdämpfer angeordnet sind. Die Staubkanäle sind Vertiefungen zwischen den Reibungsflächen des Reibdämpfers und bilden bei planmäßigem Kontakt des Reibdämpfers mit den Plattformen der Laufschaufeln mehrere durchgehende radiale Staubkanäle entlang der Unterseite der Schaufelplattformen und entlang des Reibdämpfers, womit die Staub- und Abrasivteilchen bzw. die schädlichen Chemiekpartikel aus dem Zwischenraum unter den Schaufelplattformen unter Fliehkräften und der Druckdifferenz in radialer Richtung in den Heißgaskanal oberhalb der Schaufelplattformen geschleudert werden. Der Querschnitt der Staubkanäle, insbesondere die Geometrie der von Schaufelplattform und Reibdämpfer gebildeten Eintritte- und Austrittsöffnungen, und der Abstand zwischen den Staubkanälen werden unter Berücksichtigung der Wirkung der Fliehkräfte, der Dichtung gegen Heißgaseintritt und des Einflusses auf das Luftsystem zweckmäßig ausgebildet. Die Ausbildung der Konturen und die Anzahl der Staubkanäle werden hinsichtlich des Strömungsverhaltens und der Geometrie des Schaufelhalses optimiert. Grundsätzlich können gerade Kanten für die Staubkanäle

gewählt werden, weil dies fertigungstechnisch einfacher herzustellen ist. Bei gegossenen Reibelementen sind auch geschwungene Konturen fertigungstechnisch einfach ausführbar. Wesentlich für die Konstruktion der Reibdämpfer ist der soch in Strömungsrichtung konisch verjüngende Querschnitt der Staubkanäle, der bei konstanter Durchflussmenge zu einer Beschleunigung der Kühlluft und der mitgeführten Abrasivteilchen führt. Dies verhindert ein Blockieren der Staubkanäle und minimiert zugleich das Risiko eines Heißgaseintrittes. Durch eine solche Konstruktion des Reibelementes bleibt die Dämpfungs- und Dichtungswirkung weitestgehend unbeeinflusst.

[0010] Die Verringerung von Ablagerungen der fremden, schädlichen Chemiekpartikel am Schaufelhals im Bereich unterhalb der Plattform und des Reibdämpfers vermindert die Intensität des Korrosionsangriffes in Zusammenarbeit mit der Schutzschicht der Laufschaufel und verzögert den Beginn des korrosiven Angriffes auf den Grundwerkstoff der Laufschaufel. Damit sind eine Erhöhung der Lebensdauer einer vorhandenen Korrosionsschutzschicht und des Materials der Laufschaufel verbunden. Weiterhin kann lokal eine dünnere Korrosionsschutzschicht akzeptiert werden, wodurch prozesstechnische Erleichterungen und Kostenreduktionen beim Aufbringen der Korrosionsschutzschicht bewirkt werden.

[0011] Mit der Erfindung wird das Luftsystem dahingehend genutzt, um eine Stagnation der Sekundärluft unter dem Reibelement aufzuheben und die Sekundärluft durch die Staubkanäle abzuführen. Damit werden eine Ansammlung des Staubes und dessen Ablagerung vermieden. Der Staub und insbesondere schädliche Chemiekpartikel, wie z. B. Schwefel, werden kontinuierlich abgeführt.

[0012] Das erfindungsgemäße Dämpfungselement (Reibdämpfer) mit Dichtungsfunktion für Turbinenlaufschaufeln wird in den nachfolgenden Figuren dargestellt und näher erläutert.

[0013] Es zeigen:

Fig. 1 einen prinzipiellen Längsschnitt durch ein Dreiwelientriebwerk,

Fig. 2 einen partiellen Querschnitt durch das Triebwerk mit der Anordnung der Reibdämpfer im Zwischenraum zwischen zwei benachbarten Laufschaufeln gemäß Detail X in **Fig. 1**,

Fig. 3 einen partiellen Längsschnitt durch das Scheibenrad und eine daran befestigte Laufschaufel des Triebwerkes gemäß Detail X in **Fig. 1**,

Fig. 4 eine 3D-Ansicht eines Reibdämpfers mit Staubkanälen unterhalb der Schaufelplattform und

Fig. 5 a, b Konstruktionszeichnungen von Reibdämpfern mit Staubkanälen a) mit symmetrischem und b) mit unsymmetrischem Querschnitt.

[0014] Die **Fig. 1** zeigt in einem prinzipiellen Längsschnitt durch ein Dreiwelientriebwerk eines Flugzeugtriebwerkes **1** mit Kompressor **2**, Brennkammer **3**, Laufschaufeln **4** und Scheibenrad **5**.

[0015] Die **Fig. 2** zeigt in einem partiellen Querschnitt durch das Scheibenrad **5** des Triebwerkes gemäß Detail X in **Fig. 1** drei nebeneinander angeordnete Laufschaufeln **4**, die jeweils mit einer Schaufelplattform **6**, einem Schaufelhals **7** und einem tannenbaumförmigen Schaufelfuß **9** versehen und die in bekannter Weise in das Scheibenrad **5** eingesetzt sind. Zwischen den Schaufelfüßen **9** und den Schaufelplattformen **6** sind im Bereich der Schaufelhälse **7** Zwischenräume **8** gebildet, in denen Reibdämpfer **10** angeordnet sind, die auch der Abdichtung der Spalten **19** zwischen den Schaufelplattformen **6** dienen. Die Schaufelblätter **20** der Laufschaufeln **4** können radial außen von Deckbändern **18** umgeben sein.

[0016] Die **Fig. 3** zeigt in einem partiellen Längsschnitt durch das Scheibenrad **5** und eine daran befestigte, im Heißgaskanal **11** angeordnete Laufschaufel **4** des Triebwerkes gemäß dem Detail X in **Fig. 1**, dass Kühlluft **12** als Sekundärluft unter hohem Druck vom Scheibenrad **5** her anströmt. Zum einen wird die anströmende Kühlluft **12** als Kühlluftstrom **14** zur internen Kühlung des Schaufelblattes **20** genutzt und in radialer Richtung innerhalb der Schaufelblätter **20** abgeleitet. Die anströmende Kühlluft **12** wird zum anderen zur Kühlung der Oberflächen der Laufschaufeln **4** und des Scheibenrades **5** unterhalb der Schaufelplattformen **6** im Zwischenraum **8** genutzt. Der wesentliche Strömungspfad ist als verwirbelter Kühlluftstrom **13** im Zwischenraum **8** dargestellt. Zur Vermeidung des Eindringens von Heißgas vom Heißgaskanal **11** oberhalb der Schaufelplattformen **6** ins Sekundärluftsystem unterhalb der Schaufelplattformen **6** strömt die zugeführte Kühlluft unter einem höheren Druck ein, als der Druck des Heißgases im Heißgaskanal **11**, was als Dichtung dient. Im Zwischenraum **8** wird der strömende Kühlluftstrom **13** abgebremst, wie es durch den kreisförmigen Pfeil des Kühlluftstromes **13** dargestellt ist, bevor dieser durch den Spalt **19** in den Heißgaskanal **11** entweicht.

[0017] Da die Strömung des Kühlluftstromes **13** im Zwischenraum **8** an dessen Raumrändern stagniert, kommt es im Zwischenraum **8** zu Ablagerungen **15** von in der Kühlluft **12** mitgeführten Staub- oder Abrasivteilchen. Dies ist in **Fig. 3** durch den gepunkteten Bereich unterhalb der Schaufelplattform **6** dargestellt. Durch vermehrte Ablagerungen der fremden, teilweise schädlichen Chemiekpartikel und im Zusammenwirken mit den Materialien einer eventuell

auf dem Grundwerkstoff der Laufschaufel **4** aufgetragenen Schutzschicht verringert sich die Lebensdauer der Schutzschicht erheblich. Auch führt dies zu überdurchschnittlicher Korrosion des Grundwerkstoffes der Laufschaufeln **4**. Infolgedessen kann es an dieser Stelle zum Anriss und nur Rissausbreitung im Grundwerkstoff der Laufschaufeln **4** unter dem Einfluss hoher, auf diese einwirkender Fliehkräfte kommen. Die Folge ist ein Bruch der Laufschaufeln **4** an dieser beanspruchten Stelle. Ein Schaufelbruch an dieser Stelle verursacht aufgrund der hohen kinetischen Energie meistens einen Kettenbruch aller anderen Laufschaufeln **4**.

[0018] Um die Ablagerungen **15** auf der Oberfläche des Schaufelhalses **7** im Zwischenraum **8** unterhalb des Reibdämpfers **10** zu vermeiden, sind gemäß **Fig. 4** an den Reibungsflächen **22** des Reibdämpfers **10** in radialer Richtung zur Laufschaufel **4** verlaufende Staubkanäle **16** angeordnet. Die Staubkanäle **16** sind als Vertiefungen in der Reibungsfläche **22** des Reibdämpfers **10** in Strömungsrichtung der aus dem Zwischenraum **8** entweichenden Kühlluft konisch ausgebildet und bilden bei planmäßigem Kontakt des Reibdämpfers **10** mit den Schaufelplattformen **6** der beiden zugeordneten Laufschaufeln **4** mehrere durchgehende radiale Staubkanäle **16** entlang der Unterseite der Schaufelplattformen **6** und entlang des Reibdämpfers **10**, womit die Ablagerungen **15**, d. h. die Staub- und Abrasivteilchen bzw. die schädlichen Chemiekpartikel aus dem Zwischenraum **8** unter den Schaufelplattformen **6** unter Fliehkräften und unter der Druckdifferenz in radialer Richtung durch die Spalte **19** zwischen den Schaufelplattformen **6** benachbarter Laufschaufeln **4** in den Heißgaskanal **11** oberhalb der Schaufelplattformen **6** gesaugt werden.

[0019] Die **Fig. 5 a, b** zeigt Konstruktionszeichnungen von Reibdämpfern **10** mit Staubkanälen **16** mit symmetrischem Querschnitt bzw. mit unsymmetrischem Querschnitt.

[0020] Die **Fig. 5a** zeigt eine Ansicht auf die Längsseite des symmetrischen Reibdämpfers **10** mit neun dachförmigen Reibungsflächen **22**, die durch jeweils einen konisch verlaufenden Staubkanal **16** (insgesamt acht) gebildet werden. Die Querschnitte **AA** in der Reibungsfläche **22** und die Querschnitte **BB** in den Staubkanälen **16** sind darunter dargestellt. Der Querschnitt **AA** zeigt die Breite **k1** der Basis, die Höhe **h1** und den Schrägungswinkel γ_1 im Bereich der Reibungsflächen **22** des Reibdämpfers **10** sowie in gestrichelten Linien die Kontur des Staubkanals **16**. Der Querschnitt **BB** zeigt die verminderte Breite **k2** der Basis im Bereich des Staubkanals **16**, die verminderte Höhe **h2** und den steileren Schrägungswinkel γ_2 im Bereich des Staubkanals **16**. Die Teilung **g** zeigt den Teilungsabstand von Reibungsflächen **22** und Staubkanälen **16** an. Diese haben im Bereich

der Basis einen Neigungswinkel α gegen die vertikale und im oberen, die Austrittsöffnungen **17** bildenden Bereich einen Neigungswinkel β . Wie es aus der Ansicht und den beiden Querschnitten **AA**, **BB** gemäß **Fig. 5a** ersichtlich ist, sind die Kanten der Staubkanäle **16** gerade und der Reibdämpfer **10** symmetrisch ausgebildet.

[0021] Die **Fig. 5b** zeigt eine Ansicht auf die rückwärtige Längsseite des unsymmetrischen Reibdämpfers **10** mit neun rückwärtigen Reibungsflächen **21**, die durch jeweils einen konisch verlaufenden Staubkanal **16** (insgesamt acht) gebildet werden. Die Querschnitte **CC** in den Reibungsflächen **21** und die Querschnitte **DD** in den Staubkanälen **16** sind darunter dargestellt. Der Querschnitt **CC** zeigt die Breite **k1** der Basis, die Höhe **h1** und den Schrägungswinkel γ_1 im Bereich der rückwärtigen Reibungsflächen **21** sowie in gestrichelten Linien die Kontur des Staubkanals **16**. Wie es ein Vergleich der beiden Querschnitte **CC** und **DD** aufzeigt, ist die rückwärtige Reibungsfläche **21** des unsymmetrischen Reibdämpfers **10** rechtwinklig zur Basis mit der Breite **k1** ausgerichtet, wohingegen die vordere Reibungsfläche **22** gemäß Querschnitt **CC** ähnlich wie die Reibungsflächen **22** des symmetrischen Reibdämpfers **10** nach **Fig. 5a** ausgebildet ist. Der Querschnitt **DD** zeigt die verminderte Breite **k2** der Basis im Bereich des Staubkanals **16**. Dieser ist auf der rückwärtigen Reibungsfläche **21** unter dem Winkel γ_3 angeschrägt. Auf der vorderen Reibungsfläche **22** ist die Tiefe **k3** des Staubkanals **16** angegeben. Die Teilung **g** zeigt den Teilungsabstand von benachbarten Reibungsflächen **21** und **22** bzw. Staubkanälen **16** an. Diese haben auf der rückwärtigen Reibungsfläche **21**, ausgehend vom Bereich der Basis, einen bis zu den Austrittsöffnungen **17** durchgehenden Neigungswinkel α gegen die Vertikale. Wie es die Ansicht und die beiden Querschnitte **CC** und **DD** gemäß **Fig. 5b** zeigen, sind die Kanten der Staubkanäle **16** gerade und der Reibdämpfer **10** unsymmetrisch ausgebildet.

[0022] Der Querschnitt der konischen Staubkanäle **16**, insbesondere die Geometrie der von der Schaufelplattform **6** und dem Reibdämpfer **10** gebildeten Austrittsöffnungen **17** und der Abstand zwischen den Staubkanälen **16** bzw. deren Teilungsabstand, werden unter Berücksichtigung der Wirkung der Fliehkräfte, der Dichtung gegen Heißgaseintritt und des Einflusses auf das Luftsystem zweckmäßig ausgebildet. Die in **Fig. 5** dargestellte Ausbildung der Konturen und Anzahl der Staubkanäle **16** sind hinsichtlich des Strömungsverhaltens zu optimieren. Grundsätzlich werden gerade Kanten für die Staubkanäle **16** gewählt, weil diese fertigungstechnisch einfacher herzustellen sind. Bei gegossenen Reibdämpfern **10** sind auch geschwungene Konturen fertigungstechnisch einfach ausführbar. Wesentlich für die Konstruktion der Reibdämpfer **10** ist der sich in Strömungsrichtung verjüngende, konische Quer-

schnitt der Staubkanäle **16**, der bei konstanter Durchflussmenge zu einer Beschleunigung der Luft und der mitgeführten Abrasivteilchen führt. Dies verhindert ein Blockieren der Staubkanäle **16** und minimiert zugleich das Risiko eines Heißgaseintrittes in den Zwischenraum **8**. Durch eine solche Konstruktion des Reibdämpfers **10** bleibt die Dämpfungs- und Dichtungswirkung weitestgehend unbeeinflusst.

[0023] Die Verringerung von Ablagerungen **15** der fremden, schädlichen Chemiekpartikel am Schaufelhals **7** im Bereich unterhalb der Plattform **6** vermindert die Intensität des Korrosionsangriffes in Zusammenarbeit mit der Schutzschicht der Laufschaufel **4** und verzögert den Beginn des korrosiven Angriffes auf den Grundwerkstoff der Laufschaufel **4**. Damit ist eine Erhöhung der Lebensdauer einer vorhandenen Korrosionsschutzschicht und des Materials der Laufschaufel **4** verbunden. Weiterhin kann lokal eine dünnere Korrosionsschutzschicht akzeptiert werden, wodurch prozesstechnische Erleichterungen beim Aufbringen der Korrosionsschutzschicht bewirkt werden.

[0024] Mit der Erfindung wird das Luftsystem genutzt, um eine Stagnation der Sekundärluft unter dem Reibdämpfer **10** auf ruheben und die Sekundärluft durch die Staubkanäle **16** abzuführen. Damit werden eine Ansammlung des Staubes und dessen Ablagerung verringert. Der Staub und insbesondere schädliche Chemiekpartikel, wie z. B. Schwefel, werden kontinuierlich abgeführt.

Bezugszeichenliste

01	Flugzeugtriebwerk
02	Kompressor
03	Brennkammer
04	Laufschaufel
05	Scheibenrad
06	Schaufelplattform
07	Schaufelhals
08	Zwischenraum
09	Schaufelfuß
10	Reibdämpfer
11	Heißgaskanal
12	Kühlluft
13	Kühlluftstrom (um den Schaufelhals 7)
14	Kühlluftstrom (durch die Laufschaufel 4)
15	Ablagerungen
16	Staubkanal
17	Austrittsöffnung
18	Deckband

19	Spalt
20	Schaufelblatt
21	rückwärtige Reibungsfläche
22	Reibungsfläche

Patentansprüche

1. Reibdämpfer mit Dichtungsfunktion für Turbinenschaufeln, der in seinen Längsflächen in radialer Richtung verlaufende Staubkanäle (16) zwischen Reibungsflächen (21, 22) aufweist, wobei die Staubkanäle (16) in Strömungsrichtung einer durch den Reibdämpfer (10) strömenden Kühlluft (13) konisch ausgebildet und mit Austrittsöffnungen (17) am freien Ende der Staubkanäle (16) versehen sind.

2. Reibdämpfer nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Staubkanäle (16) Vertiefungen zwischen den Reibungsflächen (21, 22) des Reibdämpfers (10) bilden.

3. Reibdämpfer nach einem der Ansprüche 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Kanten der Staubkanäle (16) gerade ausgebildet sind.

4. Reibdämpfer nach einem der Ansprüche 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Kontur der Staubkanäle geschwungen ausgebildet ist.

Es folgen 3 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

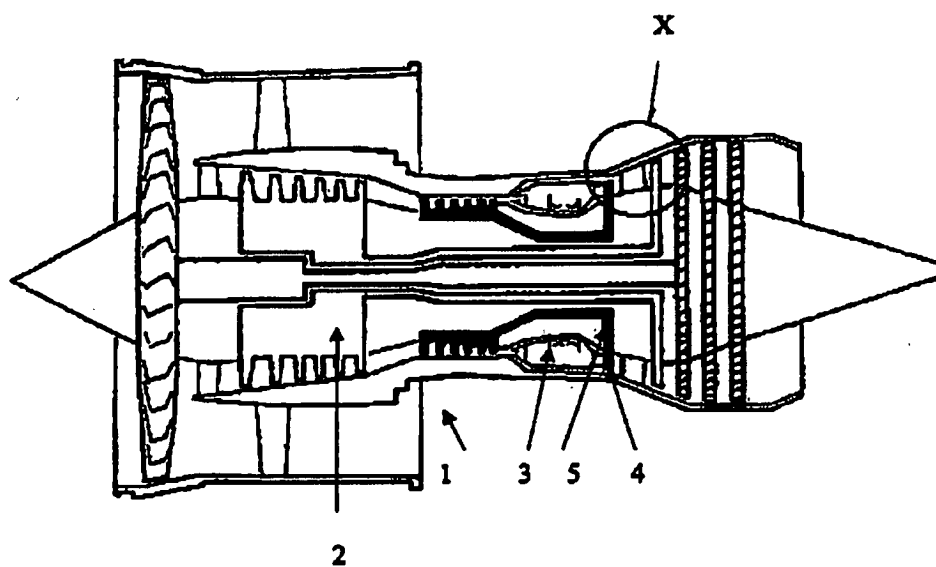


Fig. 1

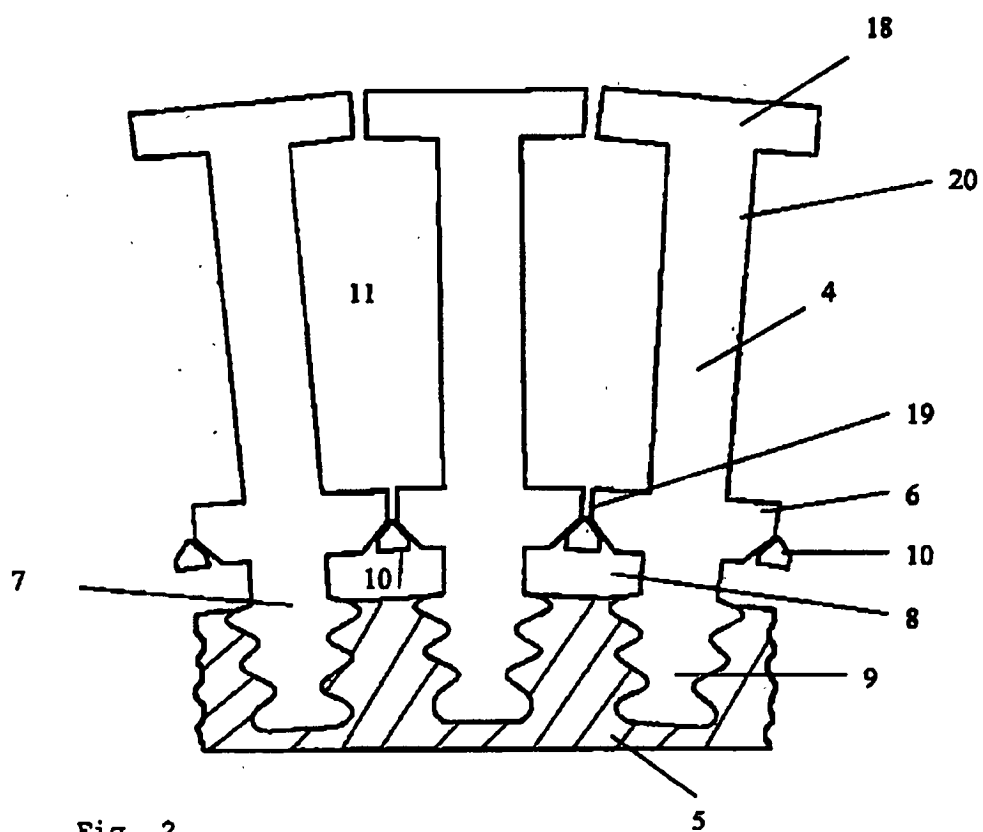
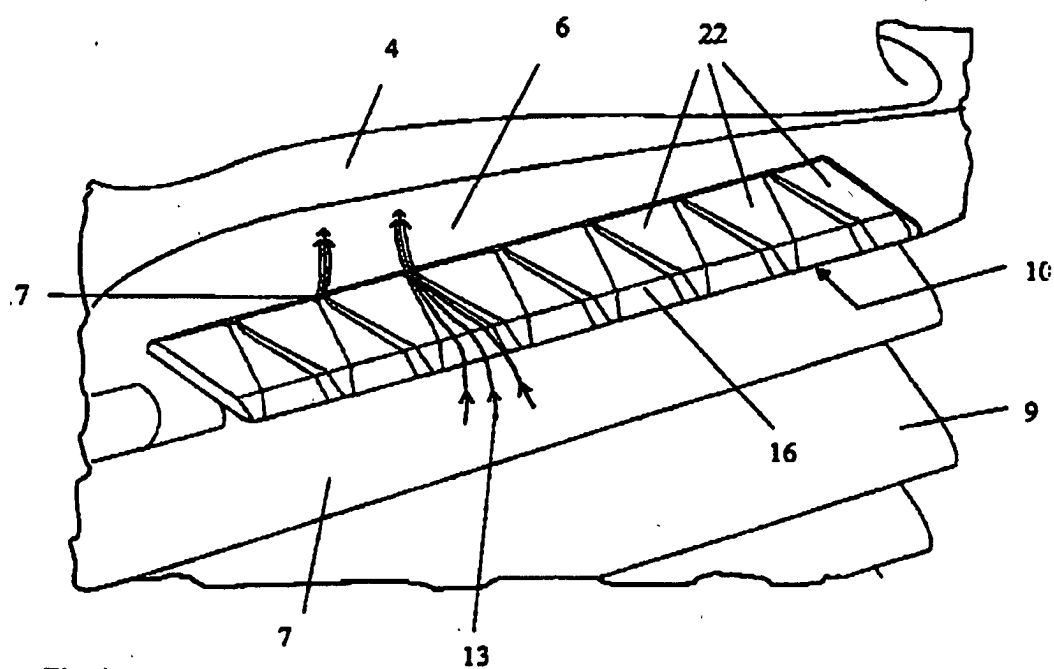
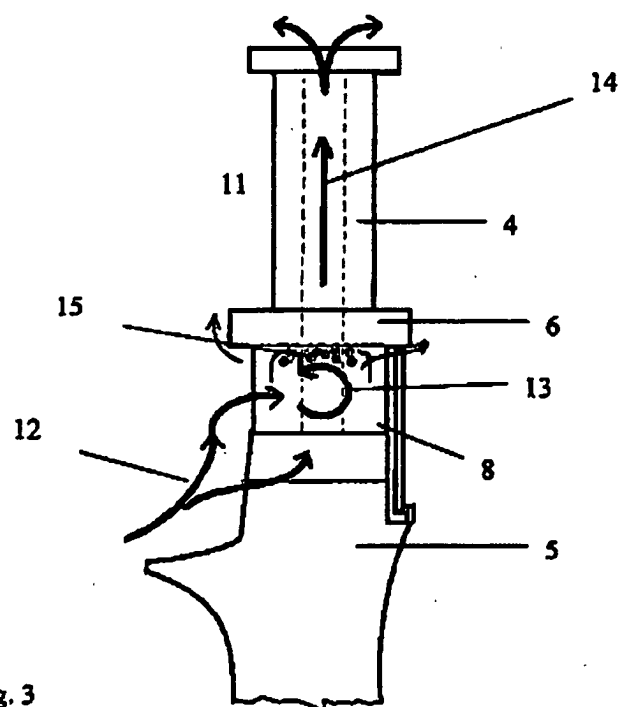


Fig. 2



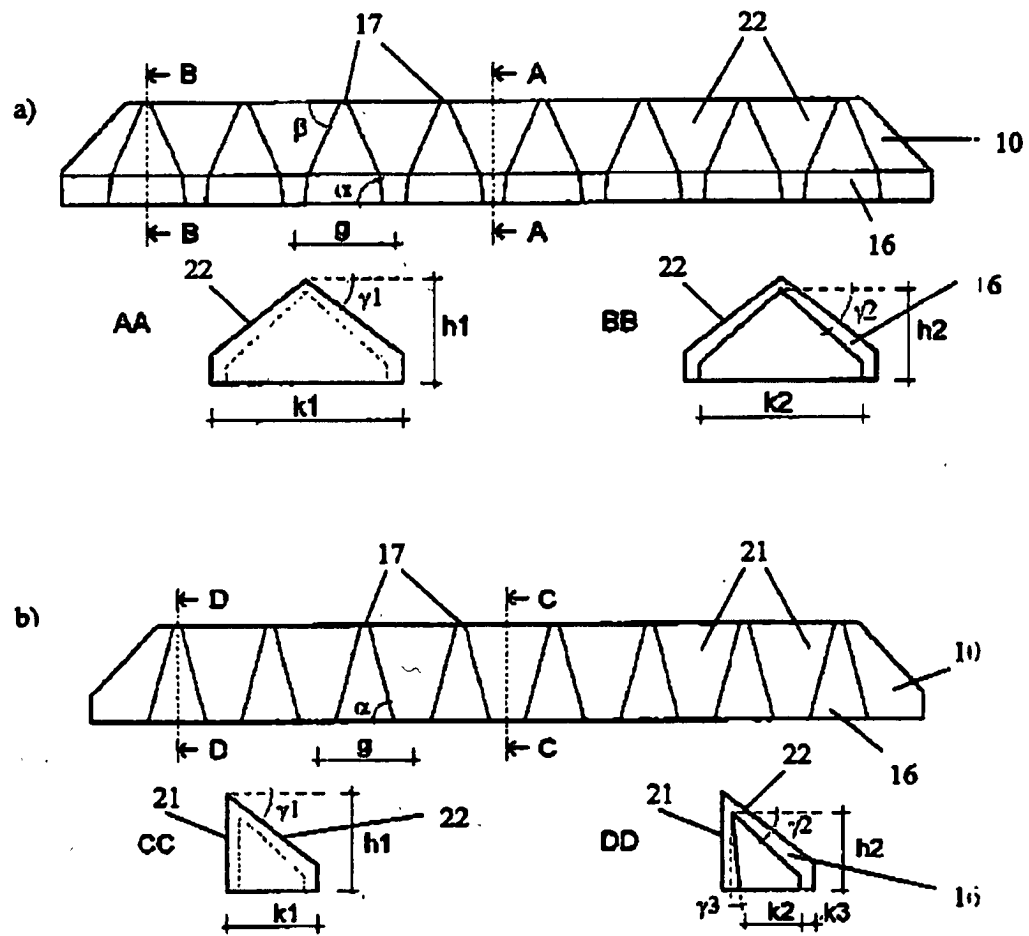


Fig. 5a, b