



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11) **EP 1 149 985 A2**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
31.10.2001 Patentblatt 2001/44

(51) Int Cl.7: **F01D 11/12**

(21) Anmeldenummer: **01110386.8**

(22) Anmeldetag: **26.04.2001**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU
MC NL PT SE TR**
Benannte Erstreckungsstaaten:
AL LT LV MK RO SI

(71) Anmelder: **MTU Aero Engines GmbH**
80995 München (DE)

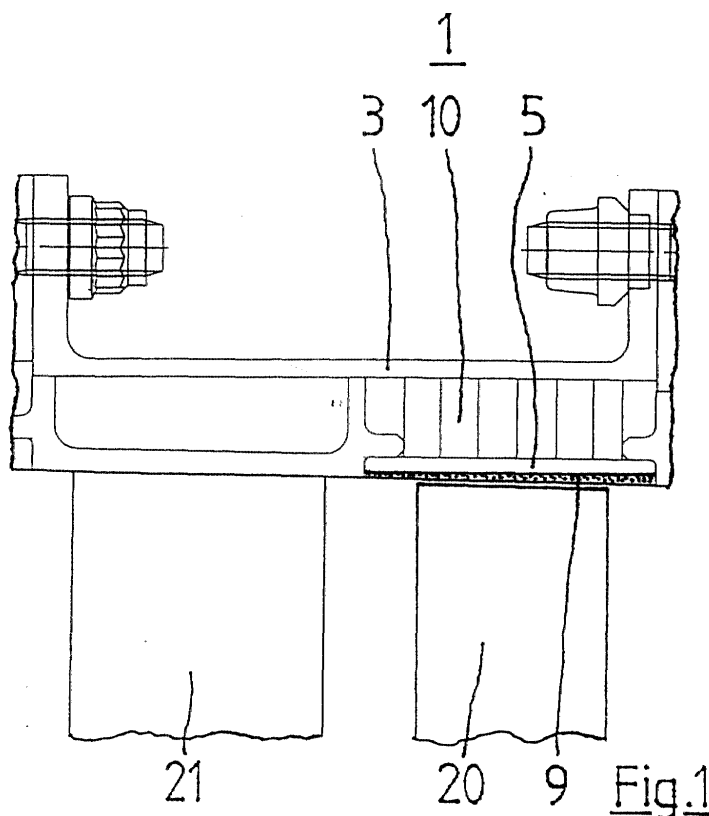
(72) Erfinder: **Humhauser, Werner**
85368 Moosburg (DE)

(30) Priorität: **27.04.2000 DE 10020673**

(54) **Gehäusestruktur in Metallbauweise**

(57) Gehäusestruktur in Metallbauweise für den Laufschaufelbereich von axial durchströmten Verdichter- und Turbinenstufen, mit einer geschlossenen, stabilen Außenwand, mit einer mehrfach durch Dehnfugen unterbrochenen, segmentierten Innenwand und mit einer lastübertragenden Verbindungsstruktur zwischen Innen- und Außenwand.

Als Verbindungsstruktur ist eine vielfach unterteilte Hohlkammerstruktur mit einer Vielzahl von dünnen, hochkant auf Innen- und Außenwand stehenden, zumindest großteils direkt zusammenhängenden Wandelementen angeordnet.
Die Hohlkammerstruktur ist mit der Innen- und/oder Außenwand durch Löten verbunden.



EP 1 149 985 A2

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Gehäusestruktur in Metallbauweise für den Laufschaufelbereich von axial durchströmten Verdichter- und Turbinenstufen, gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1.

[0002] Für die strömungstechnischen Eigenschaften von Verdichter- und Turbinenstufen ist es sehr wichtig, dass der Radialspalt zwischen den Laufschaufelspitzen und dem Gehäuse möglichst klein und möglichst konstant gehalten wird. Dafür sollte die Gehäusestruktur zunächst ausreichend formstabil und geometrisch genau sein. Thermische und mechanische Einflüsse sollten die Geometrie möglichst wenig verändern. Mit dem zumeist heißen Arbeitsgas sollte i.w. nur die Innenwand der Struktur beaufschlagt sein, Leckageverluste durch die Struktur sind zu minimieren. Im instationären Betrieb ist es vorteilhaft, wenn die insbesondere thermisch induzierte Maßänderungen der Gehäusestruktur zeitlich und größtmäßig an diejenigen des beschaufelten Rotors angeglichen sind. Da sich mechanische Kontakte zwischen den Schaufelspitzen und dem Gehäuse unter besonderen Belastungen kaum vermeiden lassen, sollte die Innenwand der Gehäusestruktur zumindest schaufelspitzenseitig verformbar/nachgiebig bzw. abradierbar ausgeführt sein.

Die EP-B-0 728 258 betrifft ein Deckbandsegment einer Turbine, welches zusammen mit gleichartigen Segmenten die Innenwand und einen Teil der Verbindungsstruktur zur Außenwand einer Wandstruktur bildet. Infolge von Temperaturunterschieden zwischen Innen- und gekühlter Außenseite der Segmente im Betrieb sowie infolge von unterschiedlichem Materialverhalten des Grundmaterials und einer in der Regel vorhandenen Beschichtung tendieren die Segmente dazu, ihre Krümmung zu verändern. Um zu verhindern, dass die Segmente dabei stellenweise in die Laufbahn der Schaufelspitzen geraten, sind sie über eine spezielle, hakenartige Geometrie an Vorder- und Hinterkante mit dem Außenbereich der Gehäusestruktur verbunden, welche stellenweise eine Radialbewegung nach außen zulässt. Da die Innenkontur somit häufig von der Kreisform mit Tendenz zur Polygonbildung abweicht, ist eine definierte Spalthaltung schwierig. Die Abdichtung der spalt- und spielbehafteten Segmente ist konstruktiv ebenfalls aufwendig.

[0003] Die EP-B-0 781 371 behandelt eine Anordnung zur dynamischen Kontrolle des Schaufelspitzenspiels in Gasturbinen. Die Innenwand der Gehäusestruktur besteht aus radial nach außen beweglichen, in Umfangsrichtung überlappenden, kreisbogenförmig gekrümmten Segmenten, deren Bewegung radial nach innen durch eine ihre Vorder- und Hinterkante hakenartig einseitig haltende, umlaufende Gehäusestruktur begrenzt wird. Die Segmente werden durch mechanische Federelemente oder durch Gasdruck radial nach innen gegen Anschlag vorgespannt. Die Laufschaufeln weisen spitzenseitig Keilflächen auf, welche bei schneller

Rotation ein dynamisches Gaspolster erzeugen, dessen Druck die Wandsegmente in einem definierten, kleinen Abstand zu den Schaufelspitzen halten soll. Dabei muss sich ein Gleichgewicht zwischen innerer Gaskraft und äußerer Federkraft einstellen, das die Segmente in Balance hält. Ein solches System erscheint sehr störanfällig, schwer kalkulierbar und schwingungsgefährdet. Die Haltestruktur der Segmente ist dem Arbeitsgas ausgesetzt und somit ggf. thermisch hoch belastet, wobei sie auch eine erhebliche Wärmemenge zur Außenwand der Struktur leitet.

Die EP-B-0 616 113 betrifft eine Gasturbine und ein Verfahren zur Montage einer Dichtung in dieser Gasturbine. Aus dieser Patentschrift ist es u.a. bekannt, metallische Honigwaben als Einlaufbeläge für Labyrinthdichtungen zu verwenden. Die Waben sind einseitig auf einen flächigen, metallischen Träger gelötet, in der Regel in ringförmig geschlossener Geometrie, wobei ihre Öffnungen schneidenartigen, ringförmigen Dichtspitzen zugewandt sind. Das Verformungsverhalten der duktilen, dünnen, hochkant stehenden Wabenwände beschleunigt einen ggf. erforderlichen Einlaufvorgang und schont die Dichtspitzen. Die offene Struktur mit einer Vielzahl von Kammern erhöht die Dichtwirkung durch Strömungsumlenkung und -verwirbelung. Vorzugsweise im Flugzeug- und Bootsbau werden sandwichartige Leichtbaustrukturen verwendet, bei denen ein relativ dicker, leichter Kern mit einem hohen Leervolumenanteil, z.B. ein Wabenkern, beidseitig mit dünnen, hochfesten, geschlossenen Wänden verbunden und abgedeckt wird. Bei Biegung einer solchen Struktur werden die Wände primär auf Zug oder Druck in ihrer Ebene belastet, der Kern überträgt die Kräfte von Wand zu Wand, insbesondere Schubkräfte. Die Wände sind bevorzugt in Faserverbundbauweise ausgeführt, mit dem Kern verklebt und hinsichtlich ihrer Dicke und mechanischen Eigenschaften zumindest vergleichbar.

[0004] Ausgehend von dem genannten Stand der Technik besteht die Aufgabe der Erfindung darin, eine Gehäusestruktur in Metallbauweise für den Laufschaufelbereich von axial durchströmten Verdichter- und Turbinenstufen zu schaffen, die sich durch eine hohe Maß- und Formgenauigkeit unter wechselnden Betriebsbedingungen und Temperaturen, eine hohe mechanische Lastaufnahmefähigkeit, eine gute thermische Isolationswirkung sowie eine minimale Arbeitsfluidleckage durch die Struktur auszeichnet und durch besonders kleine, sich wenig ändernde Spalte zu den Laufschaufelspitzen einen hohen Stufenwirkungsgrad bzw. eine hohe Stufenbelastung ermöglicht.

[0005] Diese Aufgabe wird durch die in Anspruch 1 gekennzeichneten Merkmale gelöst, in Verbindung mit den gattungsbildenden Merkmalen in dessen Oberbegriff.

Die Erfindung ist somit in der zwischen der segmentierten Innenwand und der geschlossenen, tragenden Außenwand angeordneten Verbindungsstruktur und deren stoffschlüssiger Integration zu sehen. Die Verbindungs-

struktur ist als filigrane, leichte, praktisch den gesamten Hohlraum zwischen Innen- und Außenwand einnehmende Hohlkammerstruktur ausgeführt - beispielsweise als Honigwabenstruktur - und mit einer oder beiden Wänden durch Löten verbunden. Durch die "quasi-flächige" Verbindung der Wände ist es möglich, die Formgenauigkeit der tragenden Außenwand in allen Betriebszuständen der segmentierten Innenwand aufzuprägen. Ein Verwölben bzw. "Polygonisieren" der Innenkontur lässt sich so vermeiden. Die Lötverbindung ist durch ihren "flächigen Charakter" optimal hinsichtlich mechanischer Festigkeit sowie Dauerhaftigkeit und hat keinen negativen Einfluss auf das Werkstoffgefüge. Andererseits ist die filigrane Verbindungsstruktur elastisch genug, um thermische Dehnungen /Kontraktionen der Innenwandsegmente in Umfangsrichtung ohne kritische Zwangskräfte zuzulassen. Die Verbindungsstruktur wirkt thermisch isolierend, was durch ihren hohen Leervolumenanteil bedingt ist und durch die Auswahl ihres Werkstoffes ebenfalls beeinflussbar ist. Somit nimmt die Innenwand etwa die meist hohe Temperatur des Arbeitsgases an, die Außenwand kann deutlich kühler gehalten werden, was günstig für ihre mechanischen Eigenschaften ist. Natürlich ist die Isolationswirkung auch gut für den thermodynamischen Wirkungsgrad der Maschine. Die filigrane Verbindungsstruktur ist in Umfangs- und Axialrichtung praktisch gasundurchlässig, so dass zusätzliche Dichtungsmaßnahmen entfallen. Die Leckage durch die wenigen, kleinen Dehnfugen der Innenwand ist dabei ohne jede Bedeutung. In den Unteransprüchen sind bevorzugte Ausgestaltungen der Gehäusestruktur gekennzeichnet.

[0006] Die Erfindung wird anschließend anhand der Figuren noch näher erläutert. Dabei zeigen in vereinfachter, nicht maßstäblicher Darstellung:

Figur 1 einen Teillängsschnitt durch einen Verdichter im Bereich eines Leit- und eines Laufschaufelkranzes,

Figur 2 zwei nebeneinander gezeichnete Teilquerschnitte durch zwei unterschiedliche Gehäusestrukturen, und

Figur 3 drei nebeneinander gezeichnete Teilschnitte durch drei verschiedene Hohlkammerstrukturen.

[0007] Die Gehäusestruktur gemäß Figur 1 ist Teil eines Axialverdichters, der von links nach rechts durchströmt werden soll. Man erkennt den radial äußeren Teil einer Leitschaufel 21 sowie einer -deckbandlosen- Laufschaufel 20. Die Außenwand 3 der Gehäusestruktur erstreckt sich über beide Schaufelbereiche, wobei die Aufhängung der Leitschaufel 21 formschlüssig, d.h. konventionell ist. Die erfindungsgemäße Gehäusestruktur 1 befindet sich in der Figur rechts, d.h. im Bereich der Laufschaufel 20, und umfasst eine Innenwand 5, eine Hohlkammerstruktur 10 sowie den der Innenwand 5 gegenüberliegenden Teil der Außenwand 3, d.h. den rechten Teil bis zum Flansch. Die Innenwand 5 ist zur Scho-

nung der Laufschaufelspitzen beim Anstreifen mit einem Einlaufbelag 9 versehen. Die Innenwand 5 einschließlich des Einlaufbelages 9 ist segmentiert, d.h. sie weist über den Umfang verteilt mehrere, zumindest vorwiegend axial verlaufende Dehnfugen 7 auf (siehe Fig. 2). Die Gehäusestruktur 1 stellt ein integrales Gebilde mit stoffschlüssiger Verbindung seiner Elemente 3, 5 und 10 dar. Die Hohlkammerstruktur 10 ist dabei mit der Außenwand 3 und mit der Innenwand 5 verlötet. Es ist ebenso möglich, die Hohlkammerstruktur mit einer der beiden Wände einstückig zu fertigen und danach mit der anderen Wand zu verlöten.

[0008] Figur 2 zeigt zwei unterschiedliche, erfindungsgemäße Gehäusestrukturen 1,2 im Teilquerschnitt, auf der rechten bzw. linken Seite einer vertikalen, strichpunktierten Linie in der Mitte der Zeichnung. Die rechte Gehäusestruktur 1 entspricht derjenigen aus Figur 1, wobei eine durch die Innenwand 5 und den Einlaufbelag 9 verlaufende Dehnfuge 7 zu erkennen ist.

Die linke Gehäusestruktur 2 unterscheidet sich von der rechten zunächst dadurch, dass ihre Innenwand 6 über die gesamte Dicke aus einem von den Schaufelspitzen problemlos verformbaren bzw. abtragbaren Material besteht. Dieses kann ein poröses Metall ohne oder mit Einlagerungen von Kunststoff, Graphit oder anderen Stoffen sein, beispielsweise in Form einer gesinterten Struktur. Die Außenwand 4 und die Hohlkammerstruktur 11 weisen keine Besonderheiten gegenüber den entsprechenden Positionen 3 und 10 auf. Allerdings ist als spezielle, konstruktive Maßnahme ein sogenanntes "Casing Treatment" erkennbar, welches bei Verdichtern die Aerodynamik verbessern kann im Sinne einer Erhöhung des Wirkungsgrades bzw. der Pumpgrenze. Zu diesem Zweck ist die Innenwand 6 mit gleichmäßig über den Umfang verteilten, geometrisch definierten Durchbrüchen 8 versehen. In der Hohlkammerstruktur 11 wirken Aussparungen 19 mit den Durchbrüchen 8 zusammen und bilden Rezirkulationskammern für einen Teil der Verdichterströmung im Schaufelspitzenbereich. In axialer Richtung erstrecken sich die Durchbrüche 8 und Aussparungen 19 stromaufwärts bis vor die Schaufeleintrittskanten, stromabwärts enden sie hinter der axialen Schaufelmitte und vor den Schaufelaustrittskanten. Dies ist dem Fachmann geläufig und daher nicht gesondert dargestellt. Die Aussparungen in der Hohlkammerstruktur müssen nicht zwingend radial bis zur Außenwand reichen. Es ist denkbar, die teilweise ausgesparte Hohlkammerstruktur mit einem Füllmaterial einzueben, d.h. strömungstechnisch zu glätten. Es kann auch günstig sein, die Längsmittlebenen der Durchbrüche und Aussparungen nicht radial, sondern in Umfangsrichtung geneigt zu orientieren. All dies ist für den Fachmann auch ohne gesonderte Darstellung klar.

[0009] Figur 3 zeigt beispielhaft drei verschiedene Hohlkammerstrukturen 12,13 und 14 in Schnitten parallel zur Innen- bzw. Außenwand der Gehäusestruktur. Links ist eine Honigwabenstruktur mit gleichseitigen, sechseckigen Waben zu sehen, deren zusammenhän-

gende Wandelemente 15 somit geometrisch gleich groß sind und in 120°-Winkeln zueinander stehen.

Die mittlere Struktur 13 weist rechteckige Kammern auf, welche von kleineren Wandelementen 16 und größeren Wandelemente 17 in rechtwinkliger Anordnung be-

grenzt werden.
Die rechte Struktur 14 ähnelt der linken Struktur 12, jedoch haben bei 14 die Hohlkammern eine runde - statt einer sechseckigen - Form. Somit ergeben sich Wandelemente 18 mit örtlich unterschiedlicher Dicke. Die Hohlkammerstruktur 14 kann beispielsweise durch mechanisches oder elektrochemisches Bohren in einem zunächst dickwandigen Vollmaterial erzeugt werden. Bezogen auf die erfindungsgemäße Gehäusestruktur kann auf diese Weise die innere oder äußere Wand einstückig mit der Hohlkammerstruktur gefertigt werden, wobei die jeweils andere Wand durch Lötten integriert wird. Die filigraneren Strukturen 12 und 13 werden eher separat aus Blechstreifen, Streckmetall o. ä. gefertigt.

Patentansprüche

1. Gehäusestruktur in Metallbauweise für den Laufschaufelbereich von axial durchströmten Verdichter- und Turbinenstufen, insbesondere in Gasturbinen- und Turbinenstufen, mit einer kreisringförmig geschlossenen, mechanisch stabilen Außenwand, mit einer über ihren Umfang mehrfach durch Dehnfugen unterbrochenen, d.h. segmentierten, sowie in geringem radialem Abstand zu den Laufschaufelspitzen stehenden Innenwand und mit einer zumindest in radialer Richtung lastübertragenden Verbindungsstruktur zwischen Innen- und Außenwand, **dadurch gekennzeichnet,**

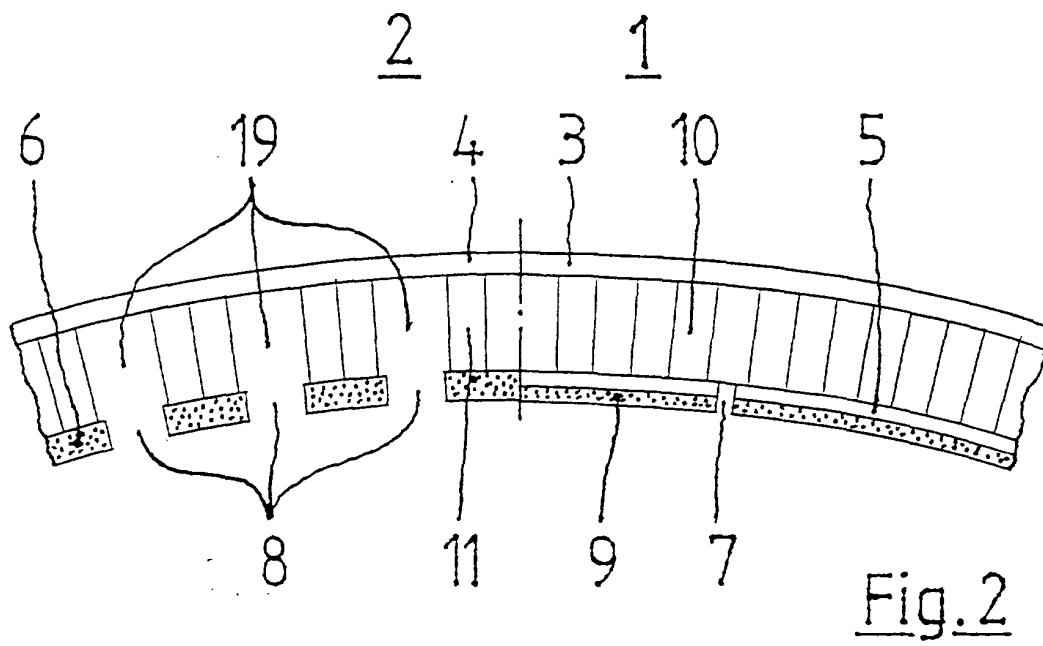
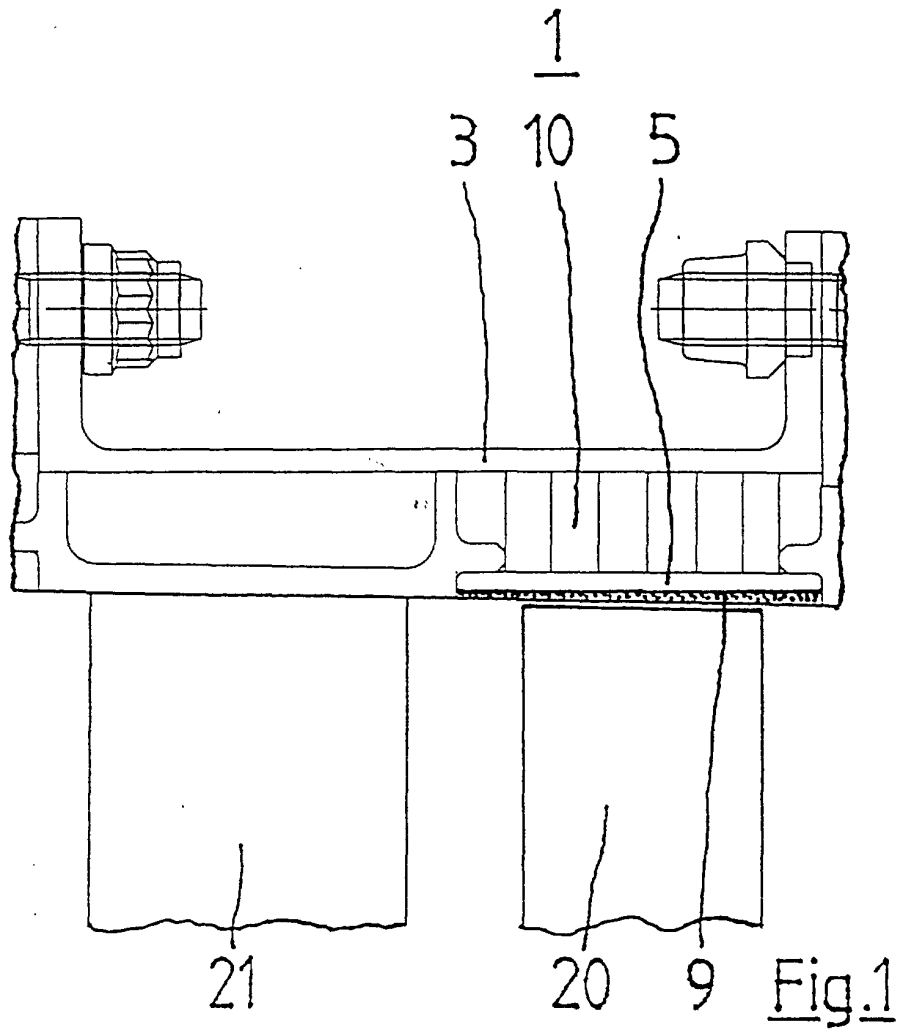
dass als Verbindungsstruktur eine sich zumindest über den Großteil der einander zugewandten Oberflächenbereiche von Innen- (5,6) und Außenwand (3,4) erstreckende, vielfach unterteilte Hohlkammerstruktur (10,11,12,13,14) mit einer Vielzahl von dünnen, hochkant auf der Innen- (5,6) und Außenwand (3,4) sowie zueinander im Winkel stehenden, zumindest mehrheitlich direkt zusammenhängenden Wandelementen (15,16,17,18) angeordnet ist und **dass** die Hohlkammerstruktur (10,11,12,13,14) mit der Innen- (5,6) und/oder mit der Außenwand (3,4) durch Lötten verbunden ist.

2. Gehäusestruktur nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die segmentierte Innenwand (5) schaufelseitig mit einer Beschichtung in Form eines von den Laufschaufelspitzen bei Kontakt mechanisch verformbaren bzw. abtragbaren Einlaufbelages (9) versehen ist.

3. Gehäusestruktur nach Anspruch 1, **dadurch ge-**

kennzeichnet, dass die segmentierte Innenwand (6) vollständig, d.h. in ihrem gesamten Materialquerschnitt, als Einlaufbelag ausgeführt ist, vorzugsweise in Gestalt eines porösen Metallkörpers ohne oder mit Einlagerungen aus einem anderen Material, wie Kunststoff oder Kohlenstoff.

4. Gehäusestruktur nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die segmentierte Innenwand (6), abgesehen von den vorwiegend axial verlaufenden Dehnfugen (7), mit über ihren Umfang verteilten, geometrisch definierten Durchbrüchen (8) versehen ist, wobei die Hohlkammerstruktur (11) im Bereich der Durchbrüche (8) zurückgesetzt bzw. ausgespart (19) ist.
5. Gehäusestruktur nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Hohlkammerstruktur (12) als Honigwabenstruktur ausgeführt ist.
6. Gehäusestruktur nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Hohlkammerstruktur (14) als integraler Bestandteil der Innen- (5,6) oder der Außenwand (3,4) durch abtragende Fertigung erzeugt ist, z.B. durch Fräsen, Bohren oder elektrochemisches Abtragen.



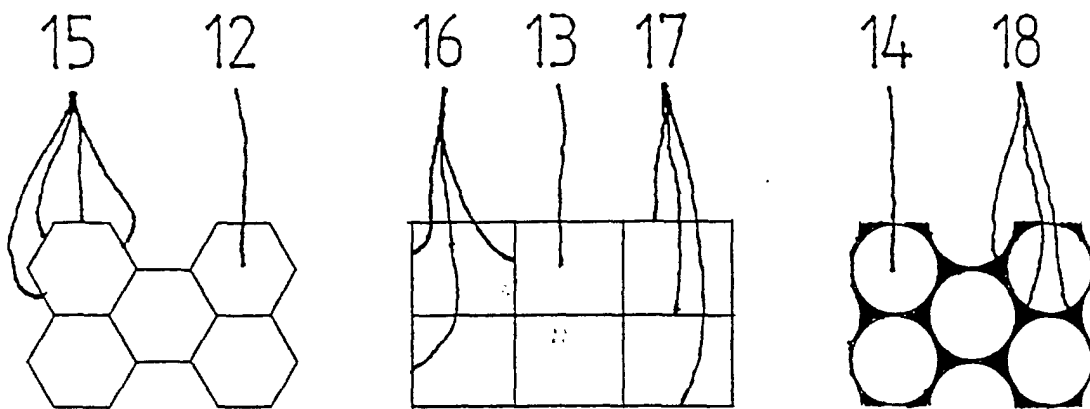


Fig.3