

(19)



(11)

EP 2 829 687 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
28.01.2015 Patentblatt 2015/05

(51) Int Cl.:
F01D 21/04^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **14177235.0**

(22) Anmeldetag: **16.07.2014**

(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**
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA ME

- **Geiger, Peter**
80997 München (DE)
- **Bayer, Erwin**
85221 Dachau (DE)
- **Heß, Thomas**
81541 München (DE)
- **Wittmer, Jens**
85276 Pfaffenhofen a. d. Ilm (DE)
- **Kufner, Petra**
85586 Poing (DE)
- **Stanka, Rudolf**
84431 Rattenkirchen (DE)

(30) Priorität: **23.07.2013 DE 102013214389**

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

(72) Erfinder:
• **Hiller, Sven-Jürgen**
85253 Erdweg (DE)

(54) Gehäuseteil und Verfahren zur dessen Herstellung

(57) Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung eines Gehäuseteils (1) für eine Strömungsmaschine, insbesondere eines Gehäuseteils (1) im Bereich von Laufschaufeln (5) einer Strömungsmaschine, wobei das Gehäuseteil (1) einen Strömungskanal (2) einer Strömungsmaschine zumindest teilweise in Umfangsrichtung umgibt und eine in Umfangsrichtung verlaufende Wand (8) umfasst, an deren radial äußeren Seite energieabsorbierende Strukturen (7) ausgebildet sind, die bei einer radial nach außen gerichteten mechanischen Einwirkung eine hohe Verformungsenergie aufnehmen, wobei das Gehäuseteil (1) zumindest teilweise mit einem generativen Herstellungsverfahren schichtweise aufgebaut wird, sowie ein Gehäuseteil (1) für eine Strömungsmaschine mit entsprechenden energieabsorbierenden Strukturen.

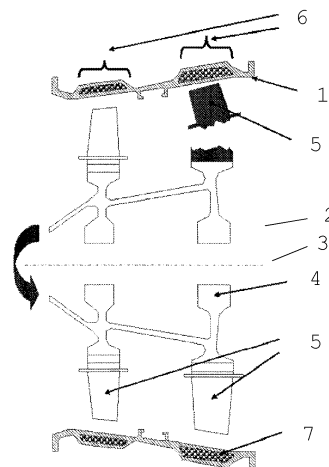
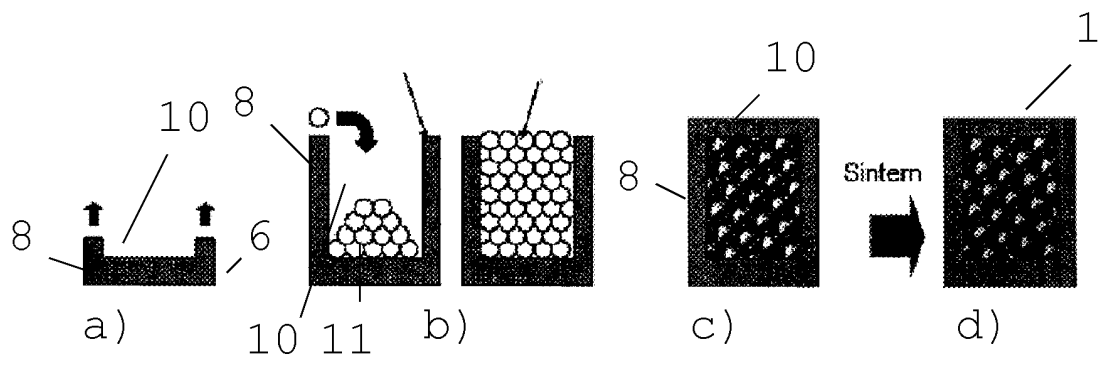


Fig. 1

EP 2 829 687 A1



Beschreibung

GEBIET DER ERFINDUNG

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Gehäuse-
teil für eine Strömungsmaschine, wie beispielsweise eine
stationäre Gasturbine oder ein Flugzeugtriebwerk, wel-
ches den Strömungskanal der Strömungsmaschine zu-
mindest teilweise in Umfangsrichtung umgibt und eine in
Umfangsrichtung verlaufende Wand umfasst, an deren
radial äußeren Seite energieabsorbierende Strukturen
ausgebildet sind, die bei einer radial nach außen gerich-
teten mechanischen Einwirkung in hohem Maße Energie
aufnehmen. Darüber hinaus betrifft die vorliegende Er-
findung ein Verfahren zur Herstellung eines entspre-
chenden Gehäuseteils.

STAND DER TECHNIK

[0002] Bei Strömungsmaschinen, wie stationären
Gasturbinen oder Flugzeugtriebwerken, werden im Ver-
dichter oder der Turbine schnell laufende Laufschaufeln
eingesetzt, die sich mit hoher Geschwindigkeit um eine
Drehachse entlang der Längsachse (axiale Richtung)
der Strömungsmaschine bewegen. Auf Grund der hohen
Drehgeschwindigkeiten der Laufschaufeln besteht die
Gefahr, dass bei einem Bruch einer Laufschaufel ein
Bruchstück der Laufschaufel durch die hohen Fliehkräfte
das umgebende Gehäuse durchschlägt und außerhalb
der Strömungsmaschine Schäden verursacht. Insbeson-
dere bei Flugzeugtriebwerken müssen Bruchstücke von
Laufschaufeln am Verlassen des Gehäuses gehindert
werden, um zu vermeiden, dass durch austretende
Bruchstücke Beschädigungen an der Flugzeugstruktur,
wie beispielsweise den Tragflächen oder der Passagier-
kabine, entstehen.

[0003] Deshalb ist es bekannt, ein sogenanntes Con-
tainment am Gehäuse (Gehäusecontainment) vorzuse-
hen, welches energieabsorbierende Strukturen aufweist,
um Bruchstücke am Verlassen des Gehäuses zu hin-
dern, indem die kinetische Energie der Bruchstücke von
den energieabsorbierenden Strukturen des Gehäuse-
containments aufgenommen bzw. abgebaut wird. Bei-
spiele für derartige Gehäuseteile sind in der US
6,979,172 B1, der US 5,403,148 A, der US 4,547,122 A,
EP 0286815 B1, DE 10 2007 042 767 A1, DE 19956444
B4, EP 1726787 A2, US 2006/0165519 A1 und EP
1589195 A1 beschrieben.

[0004] In diesen Dokumenten sind unterschiedliche
Ausgestaltungen von energieabsorbierenden Struktu-
ren, wie beispielsweise in metallische Gehäuse eingela-
gerte keramische Kacheln, die Anordnung von faserver-
stärkten Kunststoffen sowie das Vorsehen von Keilstruk-
turen oder Metallschäumen und die Anordnung von ver-
schiedensten Materialkombinationen beschrieben. Aller-
dings sind die beschriebenen Gehäusecontainments
entweder sehr komplex aufgebaut, um eine gute ener-
gieabsorbierende Wirkung zu erzielen, und damit schwer

herzustellen, oder sie sind einfach aufgebaut und damit
leicht herzustellen, leiden dann aber unter einer mangel-
haften Energieabsorption. Entsprechend muss ein aus-
gewogener Kompromiss zwischen vorteilhaften energie-
absorbierenden Strukturen und einer einfachen Herstel-
lung gefunden werden.

OFFENBARUNG DER ERFINDUNG

10 AUFGABE DER ERFINDUNG

[0005] Es ist deshalb Aufgabe der vorliegenden Erfin-
dung, ein Gehäuse mit einem Containment (Verstär-
kungsbereich) sowie ein Verfahren zu dessen Herstel-
lung bereitzustellen, welches eine möglichst optimale
Energieabsorption und somit sichere Zurückhaltung von
Bruchstücken von Laufschaufeln im Gehäuse gewähr-
leistet und andererseits einfach herstellbar ist.

20 TECHNISCHE LÖSUNG

[0006] Diese Aufgabe wird gelöst durch ein Verfahren
zur Herstellung eines Gehäuseteils für eine Strömungs-
maschine mit den Merkmalen des Anspruchs 1 sowie
einem Gehäuseteil mit den Merkmalen des Anspruchs
10. Vorteilhafte Ausgestaltungen sind Gegenstand der
abhängigen Ansprüche.

[0007] Die Erfindung geht aus von der Erkenntnis,
dass komplexe energieabsorbierende Strukturen, die eine
optimale Energieaufnahme der kinetischen Energie
von Bruchstücken von Laufschaufeln ermöglichen, durch
generative Herstellverfahren schichtweise erzeugt wer-
den können. Durch generative Herstellverfahren lassen
sich somit sehr komplexe energieabsorbierende Struk-
turen auf einfache Weise herstellen, so dass sich der
Zielkonflikt mit einerseits optimalen energieabsorbieren-
den Strukturen, die eine gewisse Komplexität aufweisen,
und andererseits einfachen Herstellungsverfahren lösen
lässt.

[0008] Als generative Herstellungsverfahren können
verschiedene Verfahren eingesetzt werden, bei denen
ein schichtweiser Aufbau eines Bauteils aus Pulverwerk-
stoffen möglich ist, wie beispielsweise selektives Laser-
schweißen oder selektives Elektronenstrahlschweißen,
bei welchen durch Laserstrahlen oder Elektronenstrah-
len pulverförmige Materialpartikel in den Bereichen von
Pulverschichten, in denen das entsprechende Bauteil
entstehen soll, miteinander verschweißt werden. In glei-
cher Weise können durch Laserstrahlen oder Elektro-
nenstrahlen auch Pulverpartikel miteinander versintert
werden, so dass auch selektives Laserstrahlsintern oder
selektives Elektronenstrahlsintern eingesetzt werden
kann. Weiterhin lassen sich Bauteile schichtweise durch
Kaltgasspritzen aus Pulver herstellen, wobei die Pulver-
partikel mit hoher Geschwindigkeit gespritzt werden, so
dass sie kalt verschweißen. Auch dieses Verfahren kann
somit für die generative Herstellung entsprechender Ge-
häuseteile eingesetzt werden. Darüber hinaus können

auch weitere generative Herstellverfahren, bei denen Pulverpartikel schichtweise miteinander verbunden werden, eingesetzt werden.

[0009] Somit können als energieabsorbierende Strukturen komplexe Bauteilgeometrien und/oder Materialverbünde hergestellt werden, die eine optimale Energieabsorption bezüglich einer radial nach außen gerichteten mechanischen Einwirkung durch Bruchstücke von Laufschaufeln ermöglichen. Unter komplexen Bauteilgeometrien werden hierbei Formen von Bauteilen verstanden, die durch eine entsprechende Bewegung und/oder Verformung möglichst viel Energie eines auftreffenden Bruchstücks einer Laufschaufel aufnehmen können. Zusätzlich oder alternativ können Materialverbünde, also Komponenten aus verschiedenen Werkstoffen oder Materialbestandteilen, eingesetzt werden, um die kinetische Energie von auftreffenden Bruchstücken wirksam abzubauen.

[0010] Die geometrischen Strukturen können Hohlraumstrukturen, Hohlkugelstrukturen, Wabenstrukturen, Schichtstrukturen, Faserstrukturen, Gewebestrukturen, Gitterstrukturen, Kettenstrukturen, Netzstrukturen, radial sich erstreckende Strukturen und sonstige Verformungsstrukturen umfassen.

[0011] Unter Hohlraumstrukturen werden Strukturen verstanden, bei denen definierte Hohlräume vorgesehen sind, so dass das umgebende Material eine entsprechende Verformung oder einen Bruch erleiden kann, ohne dass ein sich ausbildender Riss unmittelbar durch das gesamte Bauteil laufen kann. Als Hohlraumstruktur bietet sich beispielsweise die Anordnung von Hohlkugeln an, die insbesondere fest miteinander verbunden sein können. Darüber hinaus können auch Wabenstrukturen, also Strukturen in Form von Bienenwaben, vorgesehen sein. Weiterhin können als Hohlraumstrukturen Gitterstrukturen zum Einsatz kommen, die durch quer miteinander verbundene Stege in Form eines Fachwerks gebildet sein können. Unter Gitter wird hierbei nicht nur ein Gitter im mathematischen Sinn verstanden, sondern jegliche Anordnung von stegartigen Teilen in zwei- oder dimensionaler Form unter Bildung von Zwischenräumen.

[0012] Unter Faserstrukturen werden Strukturen verstanden, bei denen Fasermaterialien mit oder ohne umgebendes Matrixmaterial bzw. einer Einbettung entlang der dem Strömungskanal umgebenden Wand angeordnet werden, wobei die Längsrichtung der Fasern in Umfangsrichtung um den Strömungskanal ausgerichtet sein kann. Zusätzlich oder alternativ können die Fasern jedoch auch in einer Längsrichtung, als parallel zur axialen Richtung an dem Gehäuseteil angeordnet sein. Als Fasern kommen unterschiedliche Faserwerkstoffe in Frage, wie beispielsweise Kunststofffasern und insbesondere Aramidfasern.

[0013] Unter Gewebestrukturen werden Strukturen aus fadenartigen Gebilden verstanden, die sich quer zueinander kreuzen, um ein Gewebe zu bilden. Insbesondere können sich die Fäden in der Gewebestruktur senkrecht zueinander kreuzen und mehrere flächige Gewebe

können übereinander angeordnet sein. Im Vergleich zu geflochtenen Strukturen, bei denen Fäden lediglich in Richtung ihrer Längserstreckung ineinander geschlungen sind, bieten Gewebestrukturen mit ihren quer und insbesondere senkrecht zueinander angeordneten Fäden oder fadenartigen Gebilden besonders stabile und somit energieabsorbierende Strukturen. Darüber hinaus können die Fäden bzw. fadenartigen Gebilde an ihren Kreuzungspunkten nicht fest miteinander verbunden sein, so dass sie relativ zueinander beweglich sind. Dies ermöglicht bei einer Anordnung der flächigen Gewebestruktur parallel zur oder innerhalb der in Umfangsrichtung verlaufenden Wand des Gehäuseteils bei einem radial auftreffenden Bruchstück einer Laufschaufel, dass ein erster Teil der kinetischen Energie des Bruchstücks durch ein entsprechendes gegenseitiges Verspannen der Gewebefäden aufgenommen wird. Gleiches gilt für netzartige Strukturen von Fäden oder fadenartigen Gebilden oder Kettenstrukturen mit ineinander angeordneten Kettengliedern.

[0014] Die Gewebestrukturen können insbesondere Fäden mit einer Wellenstruktur aufweisen, die Wellentäler und Wellenberge bilden, wobei die Täler und Berge radial beabstandet sind. In diese Gewebestrukturen können zusätzlich Verstärkungsstege eingewoben werden, die die Bewegung der Fäden beim Verspannen im Falle eines Auftreffens eines Bruchstücks beschränken und die Energieabsorption begünstigen.

[0015] Bei derartigen Gewebestrukturen, die ein- oder mehrlagig entlang der Umfangsfläche um den Strömungskanal angeordnet sein können, führen radial auftreffende Bruchstücke zu einem Verspannen der Gewebestruktur und einer dadurch bewirkten ersten Energieaufnahme, bevor weitere Energie durch elastische Verformung und plastische Verformung bis zum Reißen der Gewebefäden absorbiert wird.

[0016] Bei den energieabsorbierenden Kettenstrukturen kann es sich um einzelne linienförmige Ketten mit formschlüssig ineinander greifenden Kettengliedern oder um flächige, also zweidimensionale, oder räumliche, also dreidimensionale, Kettenstrukturen mit übereinander und nebeneinander angeordneten linienförmigen Ketten handeln, die zusätzlich untereinander verkettet sein können.

[0017] Sowohl die Kettenstrukturen als auch die Netzstrukturen und/oder die Gewebestrukturen können in einer oder mehreren Lagen, insbesondere in radialer Richtung übereinander angeordnet sein.

[0018] Unter Faltstrukturen werden Strukturen verstanden, bei denen eine vorgegebene Faltung stattfindet, wenn in radialer Richtung eine mechanische Einwirkung, wie beispielsweise das Auftreffen eines Bruchstücks einer Laufschaufel erfolgt. Beispielsweise kann eine Faltstruktur durch eine Ziehharmonikastruktur gebildet sein, bei der mehrere flächige, plattenförmige Elemente winkelig zueinander angeordnet sind, so dass an den Verbindungsbereichen zwischen den plattenförmigen Elementen Verformungsarbeit erforderlich wird,

wenn die flächigen, plattenförmige Elemente gegeneinander gepresst werden und die Faltstruktur zusammengefaltet wird. In gleicher Weise können mäanderartige Strukturen oder vergleichbare Strukturen vorgesehen sein, bei denen durch das Zusammenfallen bzw. Zusammendrücken Verformungsarbeit aufgewendet werden muss. Diese Faltstrukturen können als einzelne Strukturen in einem Verstärkungsbereich (Containment) eines Gehäuseteils vorgesehen sein oder es können mehrere Faltstrukturen in axialer Richtung nebeneinander angeordnet sein. Darüber hinaus können weitere Verformungsstrukturen, bei denen bei einer Verformung in radialer Richtung eine hohe Energieaufnahme möglich ist, vorgesehen sein, die andersartige Formen aufweisen. Insbesondere können radial sich erstreckende Strukturen, also Bauteile bzw. Komponenten mit der maximalen Dimension in radialer Richtung im Verstärkungsbereich (Containment) angeordnet sein, um die kinetische Energie eines Bruchstücks einer Laufschaufel beim Auftreffen wirksam abzubauen.

[0019] Neben den verschiedenen Bauteilgeometrien, die zur Energieabsorption eingesetzt werden können, können auch unterschiedliche Materialkombinationen, sogenannten Materialverbünde, vorgesehen sein, die durch die unterschiedlichen Phasen und Komponenten an Materialien und die dazwischen liegenden Phasengrenzen eine hohe Energieabsorption bewirken können. Beispielsweise können harte und duktile Materialien miteinander kombiniert werden, wie beispielsweise Keramiken und Metalle, wobei die duktilen Materialien ein Komplettversagen durch katastrophales Risswachstum vermeiden, während die harten Materialien hohe Bruchenergien aufweisen können. Selbstverständlich können Materialverbünde mit unterschiedlichen Werkstoffen, wie beispielsweise metallischen und/oder keramischen und/oder Polymerwerkstoffen sowie Kombinationen hieraus auch mit unterschiedlichen Bauteilgeometrien kombiniert werden.

[0020] Durch die generativen Herstellungsverfahren lassen sich sowohl Strukturen verwirklichen, die vollständig generativ hergestellt werden als auch Strukturen, bei denen nur Teile generativ hergestellt werden, während andere Teile konventionell erzeugt werden. Beispielsweise lassen sich Gehäuseteile mit Verstärkungsbereichen (Containment) herstellen, die zumindest teilweise eine metallische Doppelwandstruktur aufweisen, welche einen Gehäusehohlraum einschließt, in dem keramische Hohlkugeln angeordnet sind, die stoffschlüssig miteinander verbunden werden, beispielsweise durch Sintern oder durch Bindemittel. Bei einer derartigen Gestaltung kann die metallische Doppelwandstruktur durch ein generatives Herstellungsverfahren erzeugt werden, während die keramischen Hohlkugeln anschließend in den Hohlraum eingefüllt und dort durch Sintern oder ein entsprechend eingefülltes Bindemittel stoffschlüssig miteinander verbunden werden. Insbesondere kann auch durch ein keramisches Nanopulver oder durch eine metallorganische Metallverbindung der Sintervorgang begünstigt werden.

KURZBESCHREIBUNG DER FIGUREN

[0021] Weitere Vorteile, Kennzeichen und Merkmale der vorliegenden Erfindung werden bei der nachfolgenden detaillierten Beschreibung der Ausführungsbeispiele anhand der beigefügten Zeichnungen deutlich. Die Zeichnungen zeigen in rein schematischer Weise in

- Fig. 1 einen teilweisen Längsschnitt entlang der axialen Richtung einer Strömungsmaschine;
- Fig. 2 einen Querschnitt durch ein Gehäuseteil beim generativen Aufbau;
- Fig. 3 ein Diagramm, das den Verfahrensablauf der Herstellung des Gehäuseteils aus der Fig. 2 zeigt;
- Fig. 4 eine Schnittansicht durch eine weitere Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Gehäuseteils;
- Fig. 5 eine Schnittansicht eines dritten Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemäßen Gehäuseteils;
- Fig. 6 eine weitere Schnittansicht eines erfindungsgemäßen Gehäuseteils;
- Fig. 7 eine Darstellung einer Gewebestruktur einer erfindungsgemäßen energieabsorbierenden Struktur; und in
- Fig. 8 eine Schnittansicht eines weiteren Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemäßen Gehäuseteils.

AUSFÜHRUNGSBEISPIELE

[0022] Obwohl die vorliegende Erfindung anhand der nachfolgenden Ausführungsbeispiele detailliert beschrieben wird, ist für den Fachmann selbstverständlich, dass die Erfindung nicht auf diese Ausführungsbeispiele beschränkt ist.

[0023] Die Fig. 1 zeigt einen teilweisen Schnitt durch eine Strömungsmaschine, wie beispielsweise ein Flugzeugtriebwerk, mit einem Gehäuseteil 1, welches einen Strömungskanal 2 umgibt, der sich entlang der Längsachse 3 axial erstreckt. In dem Strömungskanal 2 sind rotierende Scheiben 4 montiert, an denen Laufschaufeln 5 angeordnet sind. Die Laufschaufeln 5 bewegen sich mit hoher Drehgeschwindigkeit um die Längsachse 3, wie durch den Pfeil angedeutet ist. Kommt es beispielsweise durch einen eindringenden Fremdkörper oder aus einem anderen Grund zu einem Bruch einer Laufschaufel 5, so wird das Bruchstück 5' der Laufschaufel 5 aufgrund der Fliehkräfte radial nach außen beschleunigt, wo es das Gehäuse 1 zu durchschlagen droht. Um jedoch zu verhindern, dass durch nach außen austretende Bruchstücke 5' zu der Strömungsmaschine benachbarte Bauteile, wie beispielsweise Tragflächen von Flugzeugen, beschädigt werden, sind in dem entsprechenden Gehäuseteil 1 in den Bereichen, in denen Laufschaufeln angeordnet sind, Verstärkungsbereiche 6 vorgesehen, die mit energieabsorbierenden Strukturen ausgebildet sind, die

die Energie der abgebrochenen Bruchstücke aufnehmen und abbauen können, so dass die Bruchstücke 5' das Gehäuse 1 nicht verlassen können.

[0024] In dem Ausführungsbeispiel der Fig. 1 sind die Verstärkungsbereiche 6 als abgeschlossene Doppelwandstrukturen des Gehäuses 1 ausgebildet, die einen Gehäusehohlraum einschließen, in dem eine keramische Hohlkugelstruktur 7 angeordnet ist.

[0025] Das Gehäuseteil 1 wird entsprechend der Erfindung durch ein generatives Herstellungsverfahren, wie selektives Laserschweißen, hergestellt.

[0026] Wie in der Fig. 2 zu sehen ist, erfolgt der Aufbau des Gehäuseteils 1 entlang der Längsachse bzw. axialen Richtung, wie durch den Pfeil 9 dargestellt ist.

[0027] Das Gehäuseteil 1 wird hierbei aus einem metallischen Werkstoff generativ aufgebaut, wobei Metallpulver schichtweise aufgetragen wird. Das Gehäuseteil 1 umfasst hierbei im Wesentlichen eine den Strömungskanal umgebende zylinderförmige Wand 8, die im Verstärkungsbereich 6 doppelwandig ausgebildet ist, um einen Gehäusehohlraum zu bilden, in dem die keramischen Hohlkugeln angeordnet werden können.

[0028] Wie sich aus der Fig. 3 mit den Teilbildern a) bis d) ergibt, wird zunächst im Verstärkungsbereich 6 die metallische Doppelwandstruktur 8 generativ aufgebaut, um den Gehäusehohlraum 10 auszubilden. Kontinuierlich mit dem Aufbau des Gehäusehohlraums 10 oder schrittweise nach teilweiser oder vollständiger Fertigstellung des Gehäusehohlraums 10 werden keramische Hohlkugeln 11 mit oder ohne ein Bindemittel, wie beispielsweise eine organischen Platinverbindung, eingefüllt. Nach dem vollständigen Verschließen des Gehäusehohlraums 10 mit der Doppelwandstruktur 8 wird das Gehäuseteil 1 einer Wärmebehandlung unterzogen, um die keramischen Hohlkugeln und das ggf. eingefüllte Bindemittel zu versintern. Beispielsweise können als Bindemittel keramische Nanopartikel eingesetzt werden, um eine stoffschlüssige Verbindung der keramischen Hohlkugeln untereinander zu erleichtern. Im Falle, dass ein metallorganisches Bindemittel, wie beispielsweise eine metallorganische Platinverbindung, eingesetzt wird, kann die Wärmebehandlung auch vor dem Verschließen des Gehäusehohlraums 10 erfolgen, um dem organischen Bestandteil, der sich bei der Wärmebehandlung zersetzt, das Entweichen aus dem Gehäusehohlraum 10 zu ermöglichen.

[0029] Mit dem in Fig. 3 in den Teilbildern a) bis d) gezeigten Herstellungsverfahren können auf günstige und einfache Weise komplexe Bauteilgeometrien und Werkstoffverbünde als energieabsorbierende Strukturen erzeugt werden. Bei dem Ausführungsbeispiel der Fig. 1 bis 3 kann eine beliebig geformte Doppelwandstruktur 8 aus einem metallischen Werkstoff ausgebildet werden und mit einer keramischen Hohlkugelstruktur 7 kombiniert werden, um Bruchstücke 5' von Laufschaufeln am Verlassen des Gehäuses 1 zu hindern. Trifft nämlich ein Bruchstück 5' auf den Verstärkungsbereich 6 des Gehäuses 1, so muss das Bruchstück 5' zunächst den radial

innen liegenden Randbereich der metallischen Doppelwandstruktur 8 und anschließend die keramische Hohlkugelstruktur 7 durchbrechen, wobei durch die Verformung der metallischen Hohlwandstruktur und der keramischen Hohlkugelstruktur so viel Energie aufgenommen wird, dass das Bruchstück 5' am Verlassen des Gehäuses 1 gehindert wird.

[0030] Die Fig. 4 zeigt ein weiteres Gehäuseteil 1' mit einem Verstärkungsbereich 6', in dem eine andere Ausführungsform einer energieabsorbierenden Struktur vorgesehen ist. Die energieabsorbierende Struktur der Ausführungsform der Fig. 4 ist durch mehrere parallele, in axialer Richtung nebeneinander angeordnete, radial ausgerichtete Faltstrukturen 13 gebildet, deren Längserstreckung, also die Richtung mit der größten Längendimension, radial ausgerichtet ist. Die Faltstruktur 13 ist durch eine Vielzahl von Plattenbereichen 21 gebildet, die spitzwinklig entlang von Kanten 23 zueinander angeordnet sind, wobei die Kanten 22 in radialer Richtung hintereinander und abwechselnd axial versetzt angeordnet sind, so dass sich eine Ziehharmonikastruktur ergibt. Beim Auftreffen eines Bruchstücks 5' wird die Faltstruktur 13 entlang der Kanten 22 gebogen, so dass die Plattenbereiche 21 aufeinander zubewegt werden. Dadurch wird Verformungsenergie verbraucht und gleichzeitig wird ein dicker Wandbereich zur Verfügung gestellt, der von dem auftreffenden Bruchstück 5' durchdrungen werden muss.

[0031] Die Fig. 5 zeigt eine weitere Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Gehäuseteils 1'' mit einem Verstärkungsbereich 6'', der ebenfalls, wie der Verstärkungsbereich 6' der Fig. 4 mit der Faltstruktur 13, vollständig generativ hergestellt werden kann, so dass also nicht nur die Doppelwandstruktur des Verstärkungsbereichs 6'', sondern auch die in dem Gehäusehohlraum aufgenommene energieabsorbierende Struktur generativ hergestellt werden kann. Dadurch lassen sich somit komplexe Bauteilgeometrien und/oder Werkstoffverbünde realisieren, die eine hohe Energieaufnahme gewährleisten.

[0032] Bei der Ausführungsform der Fig. 5 ist die energieabsorbierende Struktur durch eine Schichtstruktur 14 gebildet, die aus mehreren in radialer Richtung übereinander angeordneten Einzellagen ausgebildet ist, wobei die einzelnen Lagen aus unterschiedlichen Materialien gebildet sein können. Zudem können in den einzelnen Lagen unterschiedliche Bauteilgeometrien verwirklicht werden, wie beispielsweise Hohlraumstrukturen, Wabenstrukturen, Gitterstrukturen und dergleichen mehr.

[0033] Die Fig. 6 zeigt noch eine weitere Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Gehäusebauteils 1''' mit einem Verstärkungsbereich 6''', in dem mehrere energieabsorbierende Strukturen in Form von Einlagen 15 vorgesehen sind, die in jeweils separaten Gehäusehohlräumen oder in einem gemeinsamen Gehäusehohlraum angeordnet sein können. Im Ausführungsbeispiel der Fig. 6 sind die Einlagen 15 als radial übereinander und axial versetzt zueinander angeordnete Einlagen 15 ausgebil-

det.

[0034] Die Fig. 7 zeigt eine Gewebestruktur 16, die beispielsweise eine Einlage 15 des Gehäuseteils 1''' bilden kann.

[0035] Die Gewebestruktur 16 ist aus zwei Lagen gebildet, die jeweils aus mehreren parallelen Fäden 17 und 18 gewoben sind, wobei die Enden der Fäden 17 und 18 fest miteinander verbunden sind. Dazwischen sind die Fäden 17, 18 gegenseitig verwoben, also gekreuzt. In dem Kreuzungsbereich 19 der Gewebestruktur 16 sind die Fäden 17, 18 nicht fest miteinander verbunden, sondern können sich relativ zueinander bewegen. Die parallelen Fäden 17, 18 bilden jeweils eine Wellenstruktur mit entsprechenden Wellenbergen und Wellentälern, wobei zwischen den Wellenbergen der einen Fadengruppe und den Wellentälern der anderen Fadengruppe Zwischenräume gebildet sind, in denen Versteifungsstege 20 angeordnet sind.

[0036] Bei einer derartigen Gewebestruktur 16 kann ein auftretendes Bruchstück 5' einer Laufschaufel 5 zunächst eine Bewegung der Fäden 17, 18 zueinander bewirken, so dass die Fäden gespannt werden, wobei eine zu weit gehende Bewegung der Fäden 17, 18 durch die Versteifungsstege 20 verhindert wird. Durch das Verspannen der Fäden 17, 18 in der Gewebestruktur 16 wird bereits Energie aufgenommen. Zusätzlich wird weitere Energie durch das elastische Verformen der Fäden 17, 18 und der Versteifungsstege 20 absorbiert. Darüber hinaus müsste für ein Durchdringen eines Bruchstücks 5' Energie für das Reißen der Fäden 17, 18 aufgebracht werden, so dass mit einer derartigen Struktur ein wirksamer Schutz dafür gegeben ist, dass keine Bruchstücke von Laufschaufeln 5 das Gehäuse einer Strömungsmaschine verlassen.

[0037] Eine derartige komplexe Gewebestruktur 16, wie sie in der Fig. 7 gezeigt ist, kann ebenfalls durch generative Herstellungsverfahren erzeugt werden.

[0038] Die Fig. 8 zeigt eine weitere Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Gehäuseteils 1''' mit einem Verstärkungsbereich 6'''. Bei der Ausführungsform der Fig. 8 ist keine Doppelwandstruktur vorgesehen, sondern lediglich eine den Strömungskanal in Umfangsrichtung umgebende Wand 8, an deren radial äußeren Seite eine energieabsorbierende Struktur in Form einer Kettenstruktur 23 vorgesehen ist. Die Kettenstruktur besteht aus einer Vielzahl von Kettengliedern, die in einer dreidimensionalen Struktur ineinander in der Art eines Kettenhemds angeordnet sind. Auch eine derartige Struktur lässt sich durch ein generatives Herstellungsverfahren in günstiger Weise herstellen. Statt der Anordnung der Kettenstruktur 23 radial außen an einer Einzelwand des Gehäuseteils kann eine derartige Kettenstruktur 23 auch in einem Gehäusehohlraum, wie beispielsweise als Einlage 15, vorgesehen werden.

[0039] Obwohl die vorliegende Erfindung anhand der Ausführungsbeispiele detailliert beschrieben worden ist, ist für einen Fachmann selbstverständlich, dass die Erfindung nicht auf diese Ausführungsbeispiele beschränkt

ist, sondern dass vielmehr Abwandlungen in der Weise möglich sind, dass einzelne Merkmale weggelassen oder andersartige Kombinationen von Merkmalen verwirklicht werden können, solange der Schutzbereich der beiefügten Ansprüche nicht verlassen wird.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung eines Gehäuseteils für eine Strömungsmaschine, insbesondere eines Gehäuseteils im Bereich von Laufschaufeln einer Strömungsmaschine, wobei das Gehäuseteil einen Strömungskanal einer Strömungsmaschine zumindest teilweise in Umfangsrichtung umgibt und eine in Umfangsrichtung verlaufende Wand (8) umfasst, an deren radial äußeren Seite energieabsorbierende Strukturen ausgebildet sind, die bei einer radial nach außen gerichteten mechanischen Einwirkung eine hohe Verformungsenergie aufnehmen,
dadurch gekennzeichnet, dass
das Gehäuseteil (1) zumindest teilweise mit einem generativen Herstellungsverfahren schichtweise aufgebaut wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet, dass
das generative Herstellungsverfahren ausgewählt wird aus selektivem Laserschweißen, selektivem Elektronenstrahlschweißen, selektivem Laserstrahlsintern, selektivem Elektronenstrahlsintern und Kaltgasspritzen.
3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
die energieabsorbierenden Strukturen komplexe Bauteilgeometrien und/oder Materialverbünde umfassen.
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Bauteilgeometrien mindestens ein Element aus der Gruppe umfassen, die Hohlraumstrukturen, Hohlkugelstrukturen (7), Wabenstrukturen, Schichtstrukturen (14) mit in radialer Richtung geschichteten Lagen, Faserstrukturen, Gewebestrukturen, Gitterstrukturen, Kettenstrukturen, Netzstrukturen, Faltstrukturen (13), Verformungsstrukturen und radial sich erstreckende Strukturen aufweist.
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Materialverbünde Verbünde aus unterschiedlichen metallischen Werkstoffen und/oder unterschiedlichen keramischen Werkstoffen und/oder un-

terschiedlichen Polymerwerkstoffen und/oder Kombinationen daraus umfassen.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, 5
dadurch gekennzeichnet, dass
das Gehäuseteil als metallischer Hohlzylinder mit zumindest teilweiser Doppelwandstruktur, die zwischen sich einen Gehäusehohlraum (10) definiert, generativ in axialer Richtung aufgebaut wird, wobei in den Gehäusehohlraum kontinuierlich oder schrittweise nach Fertigstellung von zumindest Teilen des Gehäusehohlraums keramische Hohlkugeln (11) in den Gehäusehohlraum eingefüllt werden. 10
7. Verfahren nach Anspruch 6, 15
dadurch gekennzeichnet, dass
die keramischen Hohlkugeln (11) durch Sintern miteinander stoffschlüssig verbunden werden und/oder der Gehäusehohlraum durch die Wandstruktur des metallischen Hohlzylinders abgeschlossen wird. 20
8. Verfahren nach Anspruch 6 oder 7, 25
dadurch gekennzeichnet, dass
mit den keramischen Hohlkugeln ein Bindemittel, insbesondere ein metallorganischer Binder oder ein keramisches Nanopulver in den Gehäusehohlraum eingefüllt wird.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, 30
dadurch gekennzeichnet, dass
das Gehäuseteil zumindest als Teil eines Hohlzylinders gebildet wird, wobei die energieabsorbierenden Strukturen in zumindest einem Teil einer hohlen Wandstruktur des Hohlzylinderteils ausgebildet wird. 35
10. Gehäuseteil für eine Strömungsmaschine, insbesondere ein Gehäuseteil im Bereich von Laufschaufeln einer Strömungsmaschine, vorzugsweise hergestellt nach dem Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Gehäuseteil einen Strömungskanal einer Strömungsmaschine zumindest teilweise in Umfangsrichtung umgibt und eine in Umfangsrichtung verlaufende Wand (8) umfasst, an deren radial äußeren Seite energieabsorbierende Strukturen ausgebildet sind, die bei einer radial nach außen gerichteten mechanischen Einwirkung eine hohe Verformungsenergie aufnehmen, 40
dadurch gekennzeichnet, dass 45
die energieabsorbierenden Strukturen zumindest eine Komponente umfassen, die aus der Gruppe ausgewählt ist, die Hohlkugelstrukturen (7), Wabenstrukturen, Gewebestrukturen, Gitterstrukturen, Kettenstrukturen, Netzstrukturen, Faltstrukturen (13), Verformungsstrukturen und Strukturen mit radial sich erstreckender Längserstreckung aufweist. 50

11. Gehäuseteil nach Anspruch 10, 5
dadurch gekennzeichnet, dass
die energieabsorbierenden Strukturen in einem Gehäusehohlraum (10) aufgenommen sind.
12. Gehäuseteil nach Anspruch 10 oder 11, 10
dadurch gekennzeichnet, dass
die Gewebestrukturen, Netzstrukturen und/oder Kettenstrukturen in ihrer Linien- oder Flächenerstreckung so parallel zur und/oder innerhalb der in Umfangsrichtung verlaufenden Wand des Gehäuseteils angeordnet sind, dass ihre Strukturelemente in Umfangsrichtung zunächst durch gegenseitige Bewegung zueinander und anschließend durch elastische und/oder plastische Verformung eine Dehnung der Struktur bewirken können. 15
13. Gehäuseteil nach Anspruch 10 oder 11, 20
dadurch gekennzeichnet, dass
die energieabsorbierenden Strukturen durch keramische Hohlkugeln (11) gebildet sind, die in mehreren Lagen übereinander und in mehreren Reihen nebeneinander angeordnet und stoffschlüssig miteinander verbunden sind.
14. Gehäuseteil nach Anspruch 10 bis 12, 25
dadurch gekennzeichnet, dass
die energieabsorbierenden Strukturen aus einem Gewebe (16) mit mindestens zwei quer zueinander angeordneten und sich kreuzenden fadenartigen Gebilden (17,18) gebildet sind, die sich an ihren Kreuzungspunkten relativ zueinander bewegen können.
15. Gehäuseteil nach Anspruch 14, 30
dadurch gekennzeichnet, dass
die fadenartigen Gebilde an ihren Enden fest untereinander verbunden sind und/oder zwischen sich Versteifungsstege (20) einschließen, wobei die fadenartigen Gebilde insbesondere in radialer Richtung wellenförmige Erhebungen und Senken aufweisen. 35
16. Gehäuseteil nach Anspruch 10 bis 12, 40
dadurch gekennzeichnet, dass 45
die energieabsorbierenden Strukturen aus mindestens einer Kette oder einer flächigen oder mehrdimensionalen Kettenstruktur mit mehreren parallel zueinander verketteten Ketten mit einer Vielzahl ineinander eingreifender Kettenglieder gebildet ist. 50
17. Gehäuseteil nach Anspruch 10 bis 12, 55
dadurch gekennzeichnet, dass
die energieabsorbierenden Strukturen als Ziehharmonikastrukturen (13) ausgebildet sind, bei denen die Faltkanten in Umfangsrichtung verlaufen und in radialer Richtung hintereinander und abwechselnd axial versetzt zueinander angeordnet sind, so dass

sie für eine Faltung in radialer Richtung orientiert sind.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

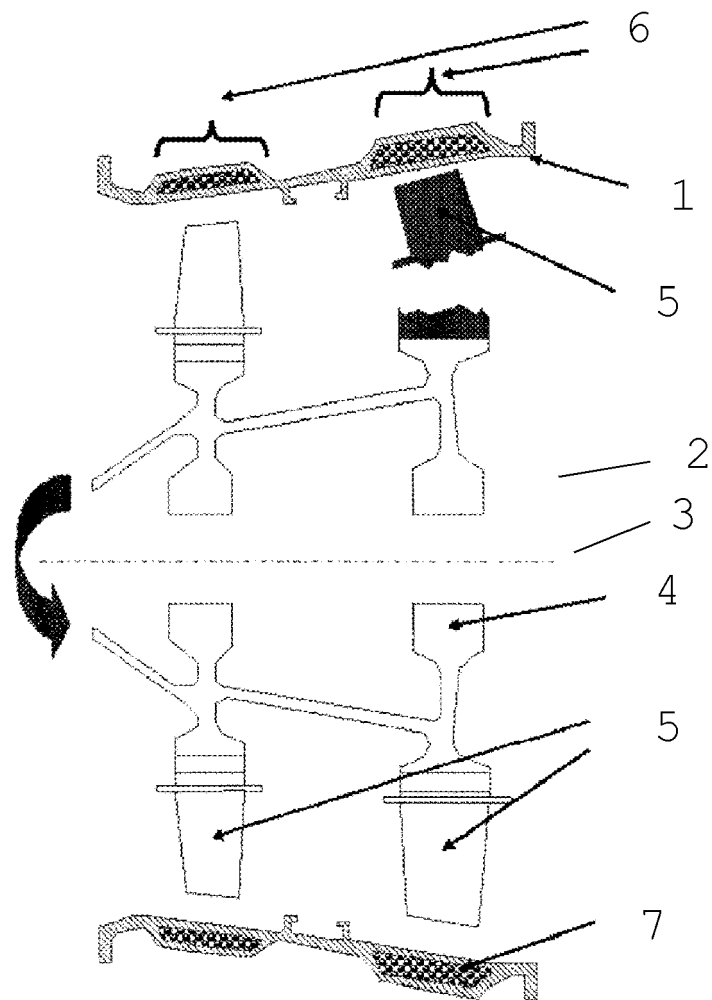


Fig. 1

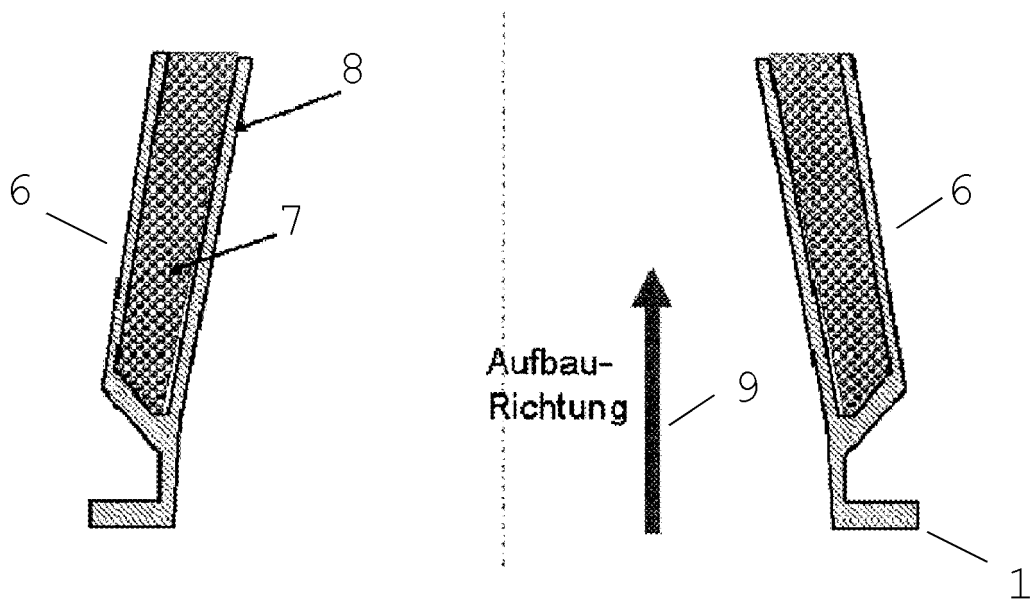


Fig. 2

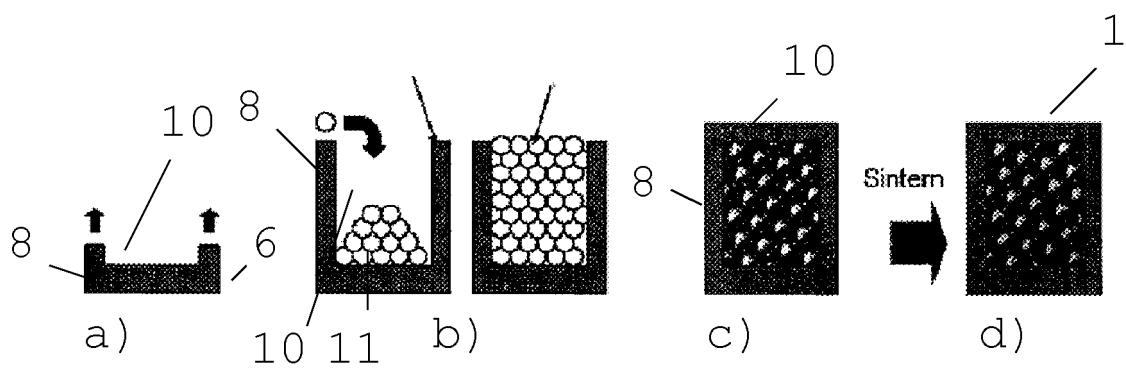


Fig. 3

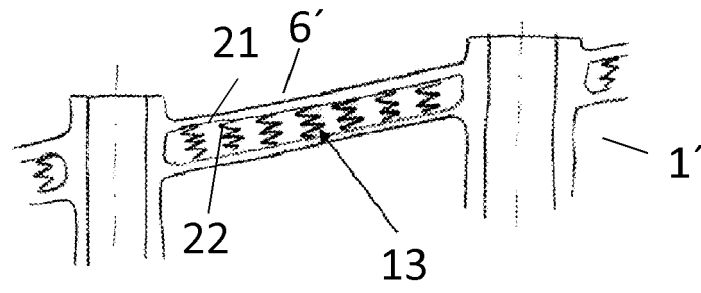


Fig. 4

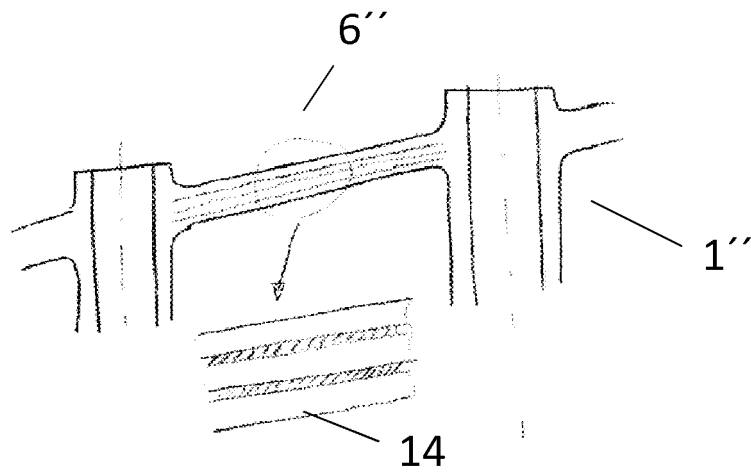


Fig. 5

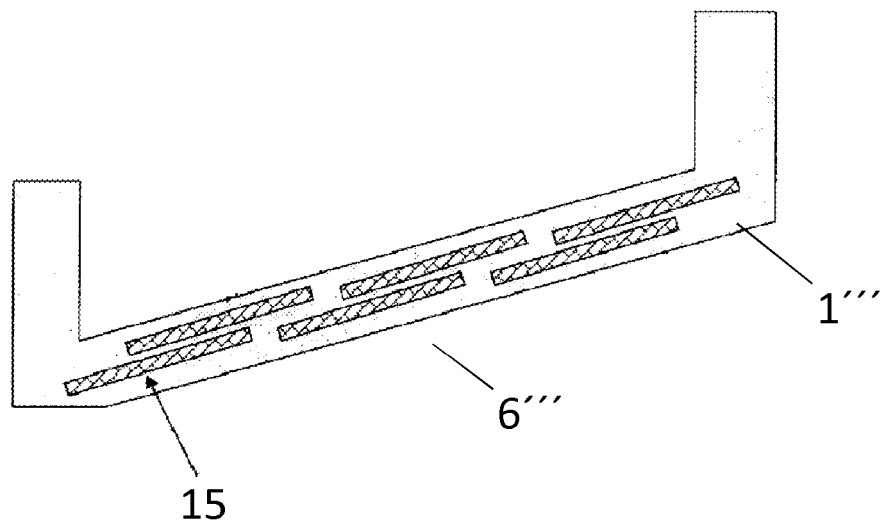


Fig. 6

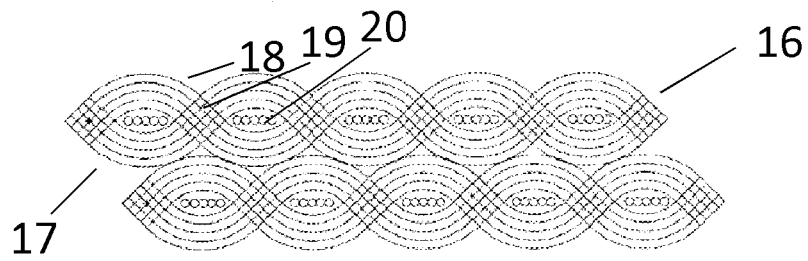


Fig. 7

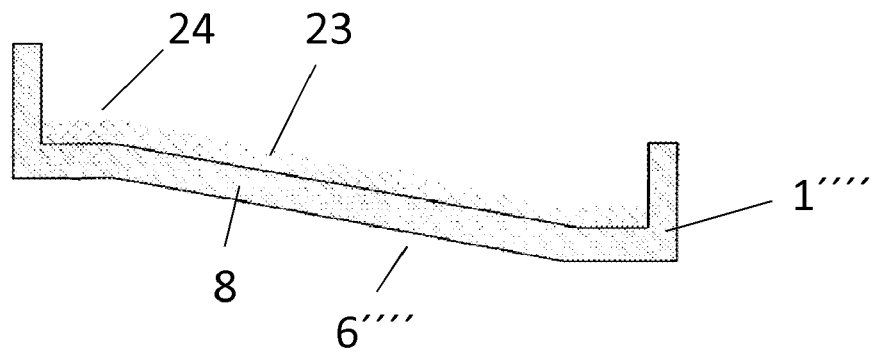


Fig. 8



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 14 17 7235

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X,D	US 6 979 172 B1 (MACKENZIE SPRAGUE BENJAMIN [US]) 27. Dezember 2005 (2005-12-27)	10-12	INV. F01D21/04
Y	* Abbildungen *	14-17	
A	* Spalte 8, Zeile 17 - Zeile 26 *	1-9,13	

X,D	US 4 547 122 A (LEECH JOHN W [US]) 15. Oktober 1985 (1985-10-15)	10,11	
Y	* Abbildungen *	14-17	
A	* Spalte 3, Absatz 1 *	1-9,12,13	

X,D	EP 0 286 815 B1 (MTU MUENCHEN GMBH [DE]) 29. Mai 1991 (1991-05-29)	10-12	
Y	* Abbildungen *	14-17	
A	* Spalte 1, Zeile 30 - Zeile 36 *	1-9,13	

X,D	EP 1 726 787 A2 (ROLLS ROYCE PLC [GB]) 29. November 2006 (2006-11-29)	10,11	
Y	* Abbildungen 1-3 *	14-17	
A		1-9,12,13	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
	-----		F01D
X,D	US 2006/165519 A1 (MCMILLAN ALISON J [GB] ET AL) 27. Juli 2006 (2006-07-27)	10-12	
Y	* Abbildungen *	6-8,14-17	
A	* Absätze [0021], [0024] *	1-5,9,13	

X,D	EP 1 589 195 A1 (ROLLS ROYCE PLC [GB]) 26. Oktober 2005 (2005-10-26)	10-12	
Y	* Abbildungen *	14-17	
A	* Absätze [0027], [0029] *	1-9,13	

	-/--		
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
3	Recherchenort München	Abschlußdatum der Recherche 7. Oktober 2014	Prüfer Georgi, Jan
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	
X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur			

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung
EP 14 17 7235

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	DE 10 2011 108957 A1 (MTU AERO ENGINES GMBH [DE]) 31. Januar 2013 (2013-01-31)	1-5,9-12	
Y	* Abbildungen *	6-8,	
A	* Absätze [0005], [0006], [0030], [0033], [0034], [0038], [0043], [0049], [0052], [0059], [0060] *	14-17 13	
Y	FR 2 663 412 A1 (GEN ELECTRIC [US]) 20. Dezember 1991 (1991-12-20)	14,15	
A	* Abbildungen *	1-13,16, 17	
Y	FR 2 581 400 A1 (SNECMA [FR]) 7. November 1986 (1986-11-07)	16	
A	* Seite 1, Absätze 1, 4 * * Seite 3, letzter Absatz *	1-15,17	
Y	EP 2 305 985 A2 (ROLLS ROYCE PLC [GB]) 6. April 2011 (2011-04-06)	17	
A	* Abbildungen 2-4 *	1-16	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 7. Oktober 2014	Prüfer Georgi, Jan
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentedokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
 ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 14 17 7235

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentedokumente angegeben.

Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
 Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

07-10-2014

Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 6979172 B1	27-12-2005	KEINE	
US 4547122 A	15-10-1985	KEINE	
EP 0286815 B1	29-05-1991	EP 0286815 A1	19-10-1988
		US 4818176 A	04-04-1989
EP 1726787 A2	29-11-2006	EP 1726787 A2	29-11-2006
		JP 2006329199 A	07-12-2006
		US 2007031246 A1	08-02-2007
US 2006165519 A1	27-07-2006	GB 2422407 A	26-07-2006
		US 2006165519 A1	27-07-2006
EP 1589195 A1	26-10-2005	DE 602005004193 T2	30-04-2008
		EP 1589195 A1	26-10-2005
		US 2005271503 A1	08-12-2005
DE 102011108957 A1	31-01-2013	DE 102011108957 A1	31-01-2013
		EP 2737178 A1	04-06-2014
		US 2014161601 A1	12-06-2014
		WO 2013017118 A1	07-02-2013
FR 2663412 A1	20-12-1991	CA 2042198 A1	19-12-1991
		CN 1057507 A	01-01-1992
		DE 4119858 A1	19-12-1991
		FR 2663412 A1	20-12-1991
		GB 2246818 A	12-02-1992
		IT 1248610 B	19-01-1995
		JP H04231625 A	20-08-1992
		SE 9101844 A	19-12-1991
		US 5437538 A	01-08-1995
FR 2581400 A1	07-11-1986	KEINE	
EP 2305985 A2	06-04-2011	EP 2305985 A2	06-04-2011
		US 2011076132 A1	31-03-2011

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82

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

- US 6979172 B1 [0003]
- US 5403148 A [0003]
- US 4547122 A [0003]
- EP 0286815 B1 [0003]
- DE 102007042767 A1 [0003]
- DE 19956444 B4 [0003]
- EP 1726787 A2 [0003]
- US 20060165519 A1 [0003]
- EP 1589195 A1 [0003]