(19) Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11) **EP 2 829 687 B1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
06.09.2017 Patentblatt 2017/36

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

(21) Anmeldenummer: **14177235.0**

(22) Anmeldetag: **16.07.2014**

(54) Verfahren zur Herstellung eines Gehäuseteil

Method of manufacturing of a housing containment

Procédé de fabrication d'un boîtier de confinement

(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: **23.07.2013 DE 102013214389**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
28.01.2015 Patentblatt 2015/05

(73) Patentinhaber: **MTU Aero Engines AG**
80995 München (DE)

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

(56) Entgegenhaltungen:

EP-A1- 1 589 195	**EP-A2- 1 726 787**
EP-A2- 2 305 985	**EP-B1- 0 286 815**
DE-A1-102011 108 957	**FR-A1- 2 581 400**
FR-A1- 2 663 412	**US-A- 4 547 122**
US-A1- 2006 165 519	**US-B1- 6 979 172**

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).

EP 2 829 687 B1

Beschreibung

HINTERGRUND DER ERFINDUNG

GEBIET DER ERFINDUNG

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung eines Gehäuseteils für eine Strömungsmaschine, wie beispielsweise eine stationäre Gasturbine oder ein Flugzeugtriebwerk, welches den Strömungskanal der Strömungsmaschine zumindest 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 gerichteten mechanischen Einwirkung in hohem Maße Energie aufnehmen.

STAND DER TECHNIK

[0002] Bei Strömungsmaschinen, wie stationären Gasturbinen oder Flugzeugtriebwerken, werden im Verdichter 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. Insbesondere 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 Passagierkabine, entstehen.

[0003] Deshalb ist es bekannt, ein sogenanntes Containment am Gehäuse (Gehäusecontainment) vorzusehen, welches energieabsorbierende Strukturen aufweist, um Bruchstücke am Verlassen des Gehäuses zu hindern, indem die kinetische Energie der Bruchstücke von den energieabsorbierenden Strukturen des Gehäusecontainments aufgenommen bzw. abgebaut wird. Beispiele 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 Strukturen, wie beispielsweise in metallische Gehäuse eingelagerte keramische Kacheln, die Anordnung von faserverstärkten Kunststoffen sowie das Vorsehen von Keilstrukturen oder Metallschäumen und die Anordnung von verschiedenen Materialkombinationen beschrieben. Allerdings sind die beschriebenen Gehäusecontainments entweder sehr komplex aufgebaut, um eine gute energieabsorbierende Wirkung zu erzielen, und damit schwer herzustellen, oder sie sind einfach aufgebaut und damit leicht herzustellen, leiden dann aber unter einer mangelhaften Energieabsorption. Entsprechend muss ein ausgewogener Kompromiss zwischen vorteilhaften energieabsorbierenden Strukturen und einer einfachen Herstellung gefunden werden.

[0005] Ein Verfahren nach dem Oberbegriff von Anspruch 1 ist aus der DE 10 2011 108957 A1 bekannt. Der Vollständigkeit halber sei ferner auf die Druckschriften FR 2 663 412 A1, FR 2 581 400 A1 und EP 2 305 985 A2 hingewiesen.

OFFENBARUNG DER ERFINDUNG

AUFGABE DER ERFINDUNG

[0006] Es ist deshalb Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren zur Herstellung eines Gehäuses mit einem Containment (Verstärkungsbereich) bereitzustellen, wobei das Gehäuse eine möglichst optimale Energieabsorption und somit sichere Zurückhaltung von Bruchstücken von Laufschaufeln im Gehäuse gewährleistet und andererseits einfach herstellbar sein soll.

TECHNISCHE LÖSUNG

[0007] Diese Aufgabe wird gelöst durch ein Verfahren zur Herstellung eines Gehäuseteils für eine Strömungsmaschine mit den Merkmalen des Anspruchs 1. Vorteilhafte Ausgestaltungen sind Gegenstand der abhängigen Ansprüche.

[0008] 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 werden können. Durch generative Herstellverfahren lassen sich somit sehr komplexe energieabsorbierende Strukturen auf einfache Weise herstellen, so dass sich der Zielkonflikt mit einerseits optimalen energieabsorbierenden Strukturen, die eine gewisse Komplexität aufweisen, und andererseits einfachen Herstellungsverfahren lösen lässt.

[0009] Als generative Herstellungsverfahren können verschiedene Verfahren eingesetzt werden, bei denen ein schichtweiser Aufbau eines Bauteils aus Pulverwerkstoffen möglich ist, wie beispielsweise selektives Laserschweißen oder selektives Elektronenstrahlschweißen, bei welchen durch Laserstrahlen oder Elektronenstrahlen pulverförmige Materialpartikel in den Bereichen von Pulverschichten, in denen das entsprechende Bauteil entstehen soll, miteinander verschweißt werden. In gleicher Weise können durch Laserstrahlen oder Elektronenstrahlen 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 Gehäuseteile eingesetzt werden. Darüber hinaus können auch weitere generative Herstellverfahren, bei denen Pulverpartikel schichtweise miteinander verbunden werden, eingesetzt werden.

[0010] 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.

[0011] Die geometrischen Strukturen können Hohlraumstrukturen, Hohlkugelstrukturen, Wabenstrukturen, Schichtstrukturen, Faserstrukturen, Gewebestrukturen, Gitterstrukturen, Kettenstrukturen, Netzstrukturen, radial sich erstreckende Strukturen und sonstige Verformungsstrukturen umfassen.

[0012] 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. Erfindungsgemäß umfasst die Hohlraumstruktur eine Anordnung von Hohlkugeln, die fest miteinander verbunden sind. 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.

[0013] 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.

[0014] 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 übereinader 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.

[0015] 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.

[0016] Bei derartigen Gewebestrukturen, die ein- oder mehrlagig entlang der Umfangsfläche um den Strömungskanal angeordnet sein können, führten 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.

[0017] 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.

[0018] Sowohl die Kettenstrukturen als auch die Netzstrukturen und/oder die Gewebestrukturen können in einer oder mehreren Lagen, insbesondere in radialer Richtung übereinander angeordnet sein.

[0019] 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 ge-

bildet 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 Zusammenfalten 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.

[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. Erfindungsgemäß werden Gehäuseteile mit Verstärkungsbereichen (Containment) hergestellt, 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. Dabei wird die metallische Doppelwandstruktur durch ein generatives Herstellverfahren erzeugt, 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 nicht erfindungsgemäße Ausführungsform eines Gehäuseteils;

Fig. 5 eine Schnittansicht durch eine weitere nicht erfindungsgemäße Ausführungsform eines Gehäuseteils;

Fig. 6 eine weitere Schnittansicht eines nicht erfindungsgemäßen Gehäuseteils;

Fig. 7 eine Darstellung einer Gewebestruktur einer energieabsorbierenden Struktur; und in

Fig. 8 eine Schnittansicht eines weiteren nicht erfindungsgemäßen Ausführungsbeispiels eines 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 nicht erfindungsgemäßes 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 größter 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 Plattenbereich 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 nicht erfindungsgemäße Ausführungsform eines 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 nicht erfindungsgemäße Ausführungsform eines 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 ausgebildet.

[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 auftreffendes 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 nicht erfmdungsgemäße Ausführungsform eines 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 beigefügten Ansprüche nicht verlassen wird.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung eines Gehäuseteils für den 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, wobei das Gehäuseteil (1) zumindest teilweise mit einem generativen Herstellungsverfahren schichtweise aufgebaut wird,
dadurch gekennzeichnet, dass
das Gehäuseteil (1) 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,
wobei mit den keramischen Hohlkugeln ein Bindemittel in den Gehäusehohlraum eingefüllt wird und die keramischen Hohlkugeln (11) durch Sintern miteinander stoffschlüssig verbunden werden.

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 aus unterschiedlichen metallischen Werkstoffen und/oder unterschiedlichen keramischen Werkstoffen und/oder unterschiedlichen Polymerwerkstoffen und/oder Kombinationen daraus umfassen.

4. Verfahren nach dem vorhergehenden Anspruch,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Bauteilgeometrien zusätzlich mindestens ein Element aus der Gruppe umfassen, die 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 Ansprüche 1 bis 4,
dadurch gekennzeichnet, dass
als Bindemittel ein metallorganischer Binder oder ein keramisches Nanopulver in den Gehäusehohlraum eingefüllt wird.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet, dass
die energieabsorbierenden Strukturen zumindest eine weitere energieabsorbierende Struktur umfassen, die aus der Gruppe ausgewählt ist, die Gewebestrukturen, Gitterstrukturen, Kettenstrukturen, Netzstrukturen, Faltstrukturen (13), Verformungsstrukturen und Strukturen mit radial sich erstreckender Längserstreckung aufweist.

7. Verfahren nach Anspruch 6,
dadurch gekennzeichnet, dass
die weiteren energieabsorbierenden Strukturen aus einem Gewebe (16) mit mindestens zwei quer zueinander angeordneten und sich kreuzenden fadenartigen Gebilden (17,18) gebildet werden, die sich an ihren Kreuzungspunkten relativ zueinander bewegen können, wobei 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.

8. Verfahren nach Anspruch 6,
dadurch gekennzeichnet, dass
die weiteren 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 werden.

9. Verfahren nach Anspruch 6,
dadurch gekennzeichnet, dass
die weiteren energieabsorbierenden Strukturen als Ziehharmonikastrukturen (13) ausgebildet werden, 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.

Claims

1. A method for producing a housing part for the region of rotor blades of a turbomachine, wherein the housing part surrounds a flow channel of a turbomachine at least partially in the circumferential direction and comprises a wall (8) running in the circumferential direction at the radially outer side of which energy-absorbing structures are configured, the energy-absorbing structures absorbing a high deformation energy when there is a mechanical action that is directed radially outward, wherein the housing part (1) is constructed at least partially in layers with a generative production method,
characterized in that
the housing part (1) is constructed generatively in the axial direction as a metallic hollow cylinder having at least in some parts a double-wall structure that defines therebetween a housing cavity (10), wherein the housing cavity is filled with ceramic hollow balls (11) in the housing cavity continuously or stepwise after completion of at least parts of the housing cavity,
wherein, together with the ceramic hollow balls, the housing cavity is filled with a binding agent, and the ceramic hollow balls (11) are integrally bonded to one another through sintering.

2. The method according to claim 1,
characterized in that
the generative production method is selected from selective laser welding, selective electron beam welding, selective laser beam sintering, selective electron beam sintering, and cold spray.

3. The method according to any of the preceding claims,
characterized in that
the energy-absorbing structures comprise complex component geometries and/or material composites made of different metallic materials and/or different ceramic materials and/or different polymer materials and/or combinations thereof.

4. The method according to the preceding claim,
characterized in that
the component geometries additionally comprise at least one element from the group consisting of honeycomb structures, layer structures (14) having layers laminated in the radial direction, fiber structures, fabric structures, lattice structures, chain structure, network structures, folding structures (13), deformation structures, and radially extending structures.

5. The method according to any of claims 1 to 4,
characterized in that
the housing cavity is filled with an organometallic binder or a ceramic nanopowder as the binding agent.

6. The method according to any of the preceding claims,
characterized in that
the energy-absorbing structures comprise at least one additional energy-absorbing structure selected from the group consisting of fabric structures, lattice structures, chain structures, network structures, folding structures (13), deformation structures, and structures having a radially-extending longitudinal extension.

7. The method according to claim 6,
characterized in that

the additional energy-absorbing structures are formed of a fabric (16) having at least two intersecting filamentous formations (17, 18) that are arranged transversely to one another and can move relative to one another at the intersection points thereof, wherein the filamentous formations are tightly interconnected at the ends and/or include reinforcement bars (20) therebetween, wherein the filamentous formations have undulating peaks and troughs, in particular, in the radial direction.

8. The method according to claim 6,
characterized in that
the additional energy-absorbing structures are formed of at least one chain or one flat or multidimensional chain structure having a plurality of chains that are concatenated in parallel to one another with a large number of interlocking chain links.

9. The method according to claim 6,
characterized in that
the additional energy-absorbing structures are constructed as according structures (13) with which the pleated edges run in the circumferential direction and are arranged successively and alternately in the radial direction with an axial offset to one another, so as to be oriented in the radial direction for folding.

Revendications

1. Procédé de fabrication d'une partie de boîtier pour la zone de pales d'une turbomachine, dans lequel la partie de boîtier entoure un canal d'écoulement d'une turbomachine au moins en partie dans la direction circonférentielle et comprend une paroi (8) s'étendant dans la direction circonférentielle, sur la face radialement externe de laquelle des structures absorbant de l'énergie sont formées, qui reçoivent, par un effet mécanique dirigé radialement vers l'extérieur, une énergie élevée de déformation, dans lequel la partie de boîtier (1) est structurée par couches au moins en partie avec un procédé de fabrication génératif,
caractérisé en ce que :

la partie de boîtier (1) est conçue de manière générative dans la direction axiale sous la forme d'un cylindre métallique creux avec au moins en partie une structure à deux parois, qui définit entre elles un espace creux de boîtier (10), dans lequel on a introduit des sphères céramiques creuses (11) dans l'espace creux du boîtier en continu ou par paliers après l'achèvement au moins de parties de l'espace creux du boîtier dans l'espace creux du boîtier,
dans lequel un agent liant est introduit avec les sphères céramiques creuses dans l'espace creux du boîtier et les sphères céramiques creuses (11) sont liées d'un seul tenant les unes aux autres par frittage.

2. Procédé selon la revendication 1,
caractérisé en ce que :

le procédé de fabrication génératif est sélectionné parmi un soudage sélectif au laser, un soudage sélectif par faisceau électronique, un frittage sélectif par faisceau laser, un frittage sélectif par faisceau électronique et une injection de gaz à froid.

3. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que :**

les structures absorbant l'énergie comprennent des géométries de pièces complexes et/ou des composites de matériaux formés de différents matériaux métalliques et/ou de différents matériaux céramiques et/ou de différents matériaux polymères et/ou de combinaisons de ceux-ci.

4. Procédé selon la revendication précédente,
caractérisé en ce que :

les géométries de pièces comprennent en outre au moins un élément du groupe qui présente des structures alvéolaires, des structures stratifiées (14) avec des couches stratifiées dans la direction radiale,
des structures fibreuses, des structures tissulaires, des structures réticulaires, des structures en chaînes, des structures réticulées, des structures pliables (13), des structures déformables et des structures s'étendant radialement.

5. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 4,
caractérisé en ce que :

on introduit dans l'espace creux de boîtier comme agent liant un liant organométallique ou une nanopoudre céramique.

6. Procédé selon l'une quelconque des revendication précédentes,
caractérisé en ce que :

les structures absorbant l'énergie comprennent au moins une autre structure absorbant l'énergie qui est sélectionnée dans le groupe qui présente des structures tissulaires, des structures réticulaires, des structures en chaînes, des structures réticulées, des structures pliables (13), des structures déformables et des structures ayant une extension longitudinale s'éten-

dant radialement.

7. Procédé selon la revendication 6, **caractérisé en ce que :**

les autres structures absorbant l'énergie sont formées d'un tissu (16) avec au moins deux articles filaires (17,18) agencés transversalement l'un à l'autre et s'entrecroisant, qui peuvent se déplacer l'un par rapport à l'autre à leurs points de croisement, dans lequel les articles filaires sont solidement reliés l'un à l'autre à leurs extrémités et/ou enserrent des raidisseurs (20) entre eux, dans lequel les articles filaires présentent en particulier dans la direction radiale des protubérances et des creux ondulés.

8. Procédé selon la revendication 6, **caractérisé en ce que :**

les autres structures absorbant l'énergie sont formées d'au moins une chaîne ou d'une structure de chaînes plates ou pluridimensionnelles avec plusieurs chaînes raccordées parallèlement l'une à l'autre avec une pluralité de maillons de chaîne s'engageant l'un l'autre.

9. Procédé selon la revendication 6, **caractérisé en ce que :**

les autres structures absorbant l'énergie sont conçues sous la forme de structures en accordéon étirables (13), dans lesquelles les arêtes de pliage s'étendent dans la direction circonférentielle et sont agencées l'une derrière l'autre dans la direction radiale et décalées axialement l'une de l'autre en alternance de sorte qu'elles soient orientées pour un pliage dans la direction radiale.

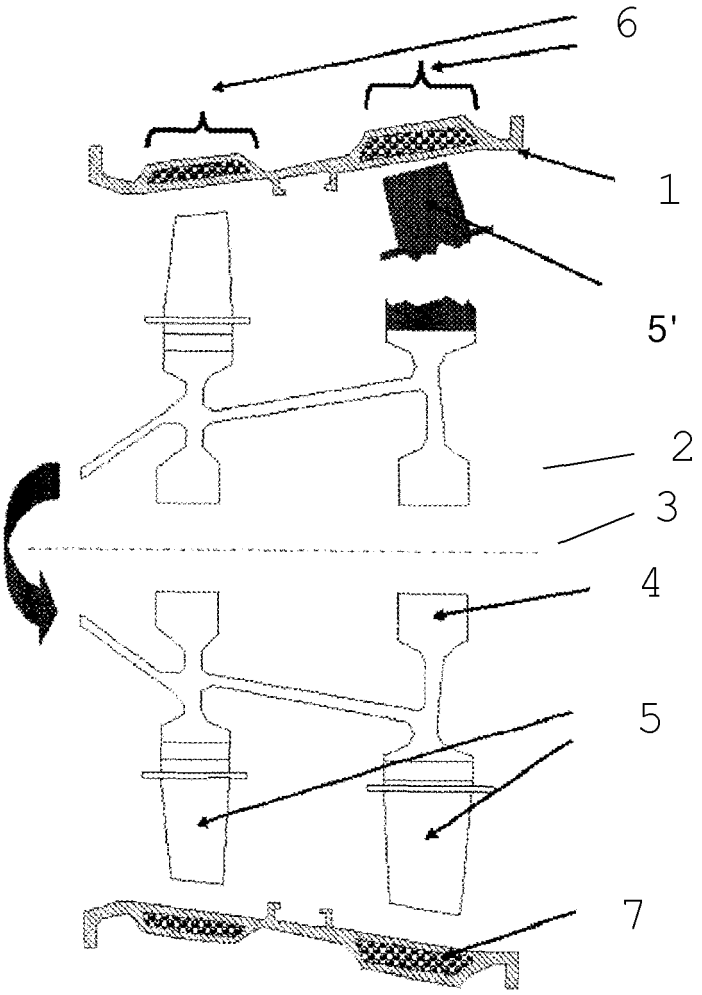


Fig. 1

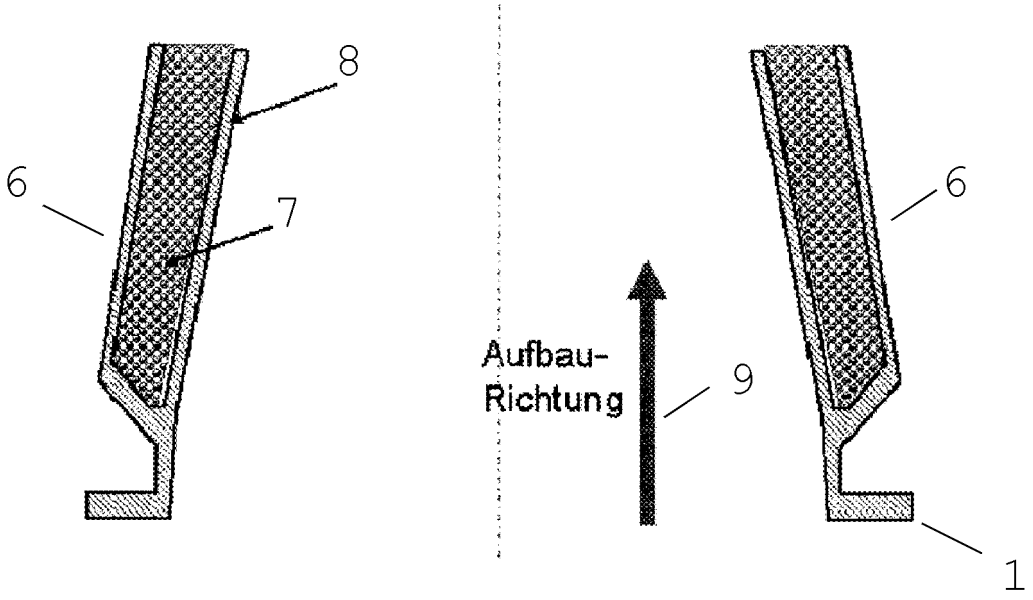


Fig. 2

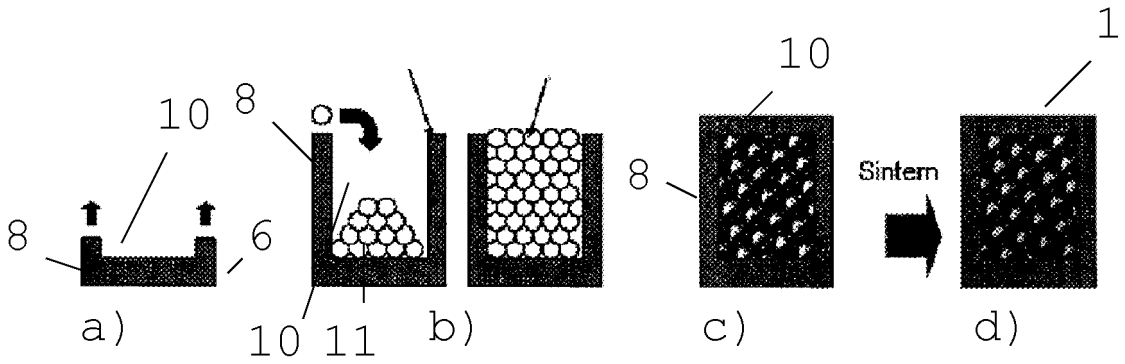


Fig. 3

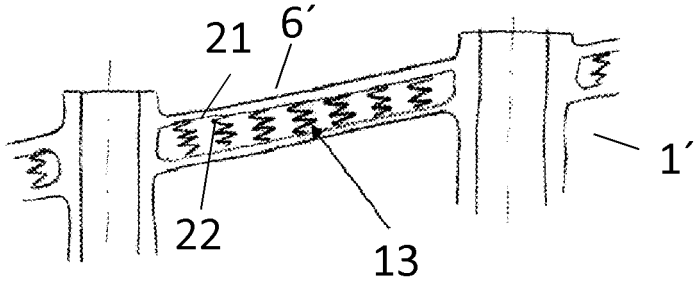


Fig. 4

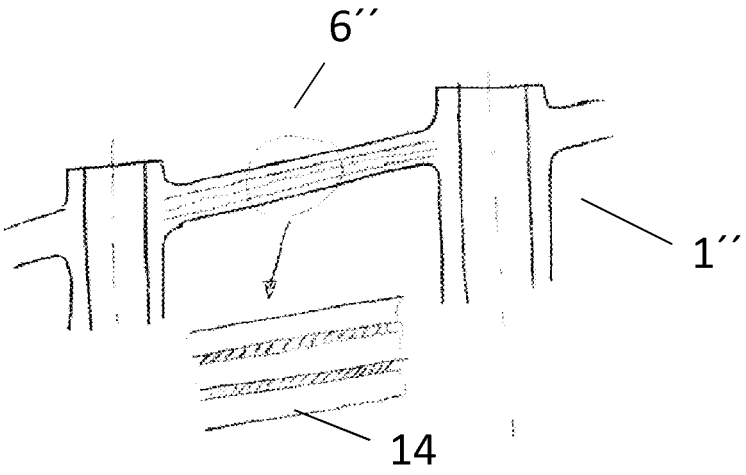


Fig. 5

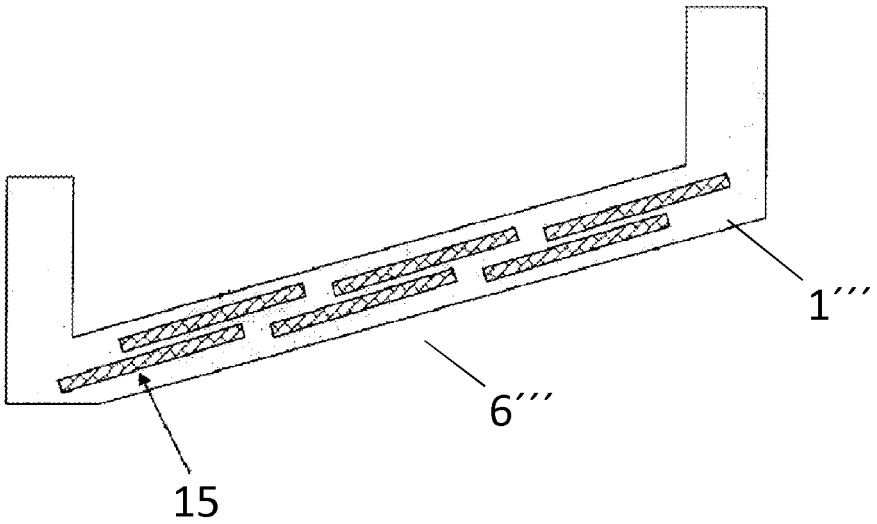


Fig. 6

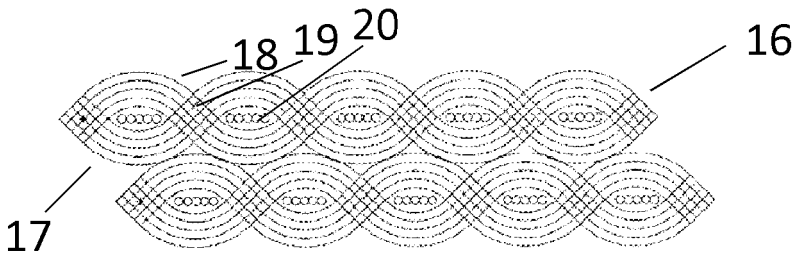


Fig. 7

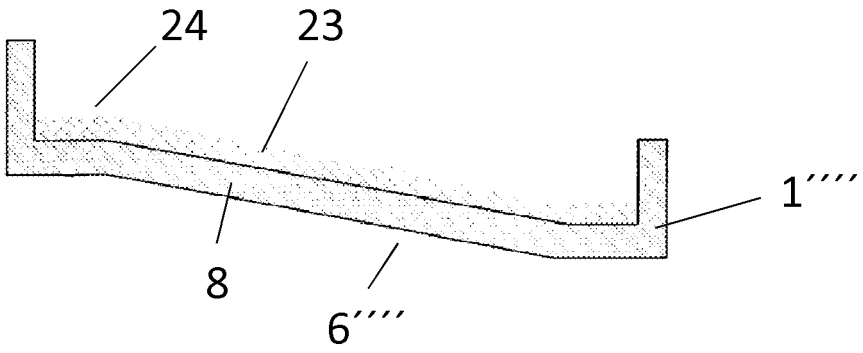


Fig. 8

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]**
- DE 102011108957 A1 **[0005]**
- FR 2663412 A1 **[0005]**
- FR 2581400 A1 **[0005]**
- EP 2305985 A2 **[0005]**