



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) DE 601 22 819 T2 2007.10.11

(12)

## Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) EP 1 152 191 B1

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: F23R 3/00 (2006.01)

(21) Deutsches Aktenzeichen: 601 22 819.7

(96) Europäisches Aktenzeichen: 01 301 951.8

(96) Europäischer Anmeldetag: 05.03.2001

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: 07.11.2001

(97) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung beim EPA: 06.09.2006

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: 11.10.2007

(30) Unionspriorität:  
**567557** 05.05.2000 US

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**DE, FR, GB, IT**

(73) Patentinhaber:  
**General Electric Co., Schenectady, N.Y., US**

(72) Erfinder:  
**Edmondson, Wayne Garcia, Xenia, Ohio 45385,  
US; Steibel, James Dale, Hamilton, Ohio 45011,  
US; Hansel, Harold Ray, Mason, Ohio 45050, US**

(74) Vertreter:  
**Rüger und Kollegen, 73728 Esslingen**

(54) Bezeichnung: **Brennkammer mit Brennkammerwand aus Verbundwerkstoff mit keramischer Matrix**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelebt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft in Gasturbinentreibwerken verwendete Brennkammern und besonders Brennkammern mit Brennkammereinsätzen mit keramischer Matrix, die mit Triebwerksbauteilen aus unterschiedlichen Materialien mit einander unähnlichen thermischen Reaktionen gekoppelt sein können.

**[0002]** Verbesserungen der Herstellungstechnik und der Materialien sind die Schlüssel für eine gestiegerte Leistung und reduzierte Kosten bei vielen Gegenständen. Beispielsweise haben fortgesetzte und oft miteinander in Beziehung stehende Verbesserungen von Verfahren und Materialien zu wesentlichen Verbesserungen der Leistung von Luftfahrzeuggas-turbinentreibwerken geführt. Eine der anspruchsvollsten Anwendungen für Materialien wird bei den in Luftfahrzeugstrahltriebwerken verwendeten Bauteilen zu finden sein. Das Triebwerk kann effizienter gemacht werden, was in einem geringeren spezifischen Brennstoffverbrauch resultiert, während durch den Betrieb bei höheren Temperaturen geringere Emissionen ausgestoßen werden. Zu den gegenwärtig kritischen Einschränkungen der erreichbaren Betriebs-temperaturen des Triebwerks gehören die verwendeten Materialien in den heißesten Bereichen des Triebwerks, die den Brennkammerabschnitt des Triebwerks und die Abschnitte des Triebwerks hinter dem Brennkammerabschnitt, einschließlich des Turbinenabschnitts des Triebwerks, beinhalten. Die Temperaturen des Brennkammerabschnitts des Triebwerks können 1927°C (3500°F) erreichen, während die für die Bauteile der Brennkammer verwendeten Materialien Temperaturen im Bereich von 1204-1260°C (2.200-2.300°F) standhalten können. Daher können Verbesserungen in den Hochtemperaturbeständigkeiten der für die Verwendung in Luftfahrzeugtriebwerken entwickelten Materialien zu Verbesserungen der Betriebstauglichkeit des Triebwerks führen.

**[0003]** Einer der Abschnitte des Triebwerks, in dem höhere Betriebstemperaturen erwünscht sind, so dass die Gesamtbetriebstemperatur des Triebwerks erreicht werden kann, ist die Brennkammer. Hierin wird der Brennstoff mit Luft gemischt und entzündet, und die Verbrennungsprodukte werden verwendet, um den Antrieb mit Energie zu versorgen. Die Brennkammer enthält eine Zahl von kritischen Bauteilen, einschließlich, ohne darauf beschränkt zu sein, die Verwirbel-/Domanordnung, die Dichtungen und Einsätze. In der Vergangenheit wurden diese Bauteile aus Metallen mit ähnlichem thermischem Ausdehnungsverhalten hergestellt, und die Temperaturerhöhungen wurden durch die Verwendung von Beschichtungen, Kühltechniken und durch Kombinationen derselben bewältigt. Mit fortschreitender Erhöhung der Betriebstemperaturen wurde es jedoch wünschenswert, die Metalle gegen Materialien mit

höherer Temperaturbeständigkeit auszutauschen. Jedoch sind solche Substitutionen, obwohl wünschenswert, nicht immer machbar. Zum Beispiel arbeiten die Brennkammern, wie zuvor festgestellt, im gesamten Betriebsbereich des Triebwerks bei verschiedenen Temperaturen. Wenn also unterschiedliche Materialien in aneinander angrenzenden Bauteilen der Brennkammer verwendet werden oder sogar in den an die Brennkammer angrenzenden Bauteilen, so können weit auseinander liegende Wärmeausdehnungskoeffizienten in diesen Bauteilen, als Ergebnis von thermisch induzierten Belastungen, zur Verkürzung der Lebensdauer dieser Komponenten führen, besonders wenn schnelle Temperaturschwankungen auftreten, die auch zu einem thermischen Schock führen können.

**[0004]** Das US Patent 5,479,772 offenbart eine Filmbildungs-Struktur für die Brennkammer eines Gasturbinentreibwerks, die eine Vielzahl von umlaufend voneinander beabstandeten und sich axial erstreckenden Rippen beinhaltet, die auf einer radialen inneren Oberfläche des vorderen Abschnitts eines äußeren, an den Dom der Brennkammer angrenzenden Brennkammereinsatzes, gebildet sind.

**[0005]** Das Konzept nicht herkömmliche Hochtemperaturmaterialien, so wie Verbundwerkstoffe mit keramischer Matrix als strukturelle Komponenten in Gasturbinentreibwerken zu verwenden, ist nicht neu. Die US Patente US 5,488,017, offengelegt am 30. Januar 1996, und US 5,601,674, offengelegt am 11. Februar 1997, übertragen auf den Inhaber der vorliegenden Erfindung, legt ein Verfahren zur Herstellung von Triebwerksbauteilen mit keramischen Matrixkomponenten dar. Jedoch unterlässt es die Offenbarung, die Probleme anzusprechen, die mit zusammengefügten Teilen mit unterschiedlichen thermischen Ausdehnungseigenschaften zusammenhängen können.

**[0006]** Die US Patente US 5,291,732, offengelegt am 8. März 1994, US 5,291,733, offengelegt am 8. März 1994, und US 5,285,632, offengelegt am 15. Februar 1994, übertragen auf den Inhaber der vorliegenden Erfindung, sprechen das Problem der unterschiedlichen thermischen Ausdehnung zwischen Brennkammereinsätzen aus Verbundwerkstoffen mit keramischer Matrix und zusammengefügten Bauteilen an. Diese Anordnung nutzt eine Befestigungsvorrichtung mit einem Abstützungsflansch und einer Vielzahl von umlaufend beabstandeten Abstützungslöchern. Ein ringförmiger Einsatz, der auch eine Vielzahl von umlaufend angeordneten Befestigungslöchern aufweist, ist koaxial zu dem Flansch angeordnet. Der Einsatz ist durch Bolzen, die durch die Abstützungslöcher an dem Flansch und durch die Befestigungslöcher auf dem Einsatz gerichtet sind, am Flansch befestigt. Die Anordnung der Bolzen in den Befestigungslöchern erlaubt eine uneingeschränkte

thermische Differenzbewegung des Einsatzes relativ zum Flansch.

**[0007]** Die vorliegende Erfindung schafft eine alternative Anordnung zur Reduzierung oder zum Ausschluss von thermisch induzierten Belastungen in den Brennkammereinsätzen und den zusammengefügten Teilen, während sie eine uneingeschränkte thermische Differenzausdehnung und Kontraktion der Brennkammereinsätze zulässt.

**[0008]** Die vorliegende Erfindung schafft eine Brennkammer mit Einsätzen, die aus Verbundwerkstoffen mit keramischer Matrix (CMC's) bestehen und in der Lage sind, höheren Temperaturen standzuhalten als metallische Einsätze. Die Einsatzes aus Verbundwerkstoff mit keramischer Matrix werden in Verbindung mit zusammengefügten Bauteilen verwendet, die aus metallischen Materialien hergestellt sind. Um die Verwendung einer Brennkammer mit aus CMC-Materialien hergestellten Einsatzes in Verbindung mit metallischen Materialien, die für die mit den verbundenen Dichtungshaltern zusammengefügten vorderen Hauben und hinteren Dichtungen verwendet werden, über einen breiten Temperaturbereich der Brennkammer zu gestatten, wird die Brennkammer in einer Weise hergestellt, welche die unterschiedliche thermische Ausdehnung der unterschiedlichen Materialien an ihren Kopplungsstellen in einer Weise erlaubt, die keine Belastungen als Folge einer thermischen Ausdehnung in den Einsatz einbringt.

**[0009]** Ein wesentlicher Vorteil der vorliegenden Erfindung ist, dass die Bauart der Kopplungsstellen, die eine unterschiedliche thermische Ausdehnung der verschiedenen Materialien der Bauteile gestattet, die Verwendung von Verbundwerkstoffen mit keramischer Matrix für die Brennkammereinsätze durch die Eliminierung von thermischen Belastungen erlaubt, die typischerweise die Lebensdauer der Brennkammer infolge unterschiedlicher thermischer Ausdehnung der Teile verkürzen. Die Verwendung der CMC-Einsätze erlaubt den Brennkammern bei höheren Temperaturen mit weniger Kühlungsluft zu arbeiten, als sie für die herkömmlichen metallischen Einsatzes erforderlich sind. Die höhere Betriebstemperatur resultiert in der Reduktion der NOX-Emissionen durch die Reduzierung nicht verbrannten Gases aus der Brennkammer.

**[0010]** Ein zweiter Vorteil der Brennkammer der vorliegenden Erfindung ist, dass diese die Probleme anspricht, die mit der unterschiedlichen thermischen Ausdehnung von gekoppelten Teilen aus unterschiedlichen Materialien verbunden sind.

**[0011]** Noch ein weiterer Vorteil der vorliegenden Erfindung ist, dass die Kopplungsverbindungen zwischen den CMC-Einsätzen und den Domabstützungen der Einsatzes einen Teil des Flusses der Kühl-

lungsluft durch die Kopplungsfuge reguliert, und so eine Film-Kühlung des Einsatzes auslöst. Dadurch hängt der Fluss der Kühlungsluft über dem Brennkammereinsatz nicht nur von den Kühlungslöchern ab, so wie in den Brennkammern aus dem Stand der Technik, und die CMC-Herstellungstechnologie nach dem neusten Stand der Technik kann verwendet werden, um die Einsatzes herzustellen.

**[0012]** Andere Merkmale und Vorteile der vorliegenden Erfindung werden durch die nachfolgende detailliertere Beschreibung von bevorzugten Ausführungsformen deutlich, welche in Verbindung mit den beiliegenden Zeichnungen zu sehen sind, die durch Beispiele die Prinzipien der Erfindung veranschaulichen, und in welchen:

**[0013]** [Fig. 1](#) ist eine schematische Querschnittsansicht einer aus metallischen Materialien hergestellten Doppeldom-Brennkammer aus dem Stand der Technik;

**[0014]** [Fig. 2](#) ist eine schematische Querschnittsansicht von inneren und äußeren Einsatzes, die aus Verbundwerkstoffen mit keramischer Matrix bestehen und an einer herkömmlichen metallischen Doppeldom-Brennkammer befestigt sind;

**[0015]** [Fig. 3](#) ist eine schematische Querschnittsansicht von inneren und äußeren Einsatzes, die aus einem Verbundwerkstoff mit keramischer Matrix bestehen und an einer metallischen Einzeldom-Brennkammer befestigt sind;

**[0016]** [Fig. 4](#) ist eine schematische Ausschnittsansicht eines inneren Einsatzes aus einem Verbundwerkstoff mit keramischer Matrix von [Fig. 2](#) oder [Fig. 3](#), zusammengesetzt aus gekoppelten metallischen Teilen, während der Antrieb heiß ist;

**[0017]** [Fig. 5](#) ist ein schematischer Ausschnitt eines äußeren Einsatzes aus einem Verbundwerkstoff mit keramischer Matrix aus [Fig. 2](#) oder [Fig. 3](#), zusammengesetzt aus gekoppelten metallischen Teilen, während der Antrieb kalt ist;

**[0018]** [Fig. 6](#) ist ein schematischer Ausschnitt eines inneren Einsatzes aus einem Verbundwerkstoff mit keramischer Matrix aus [Fig. 2](#) oder [Fig. 3](#), zusammengesetzt aus gekoppelten metallischen Teilen mit dem Antrieb in einem kalten Zustand;

**[0019]** [Fig. 7](#) ist ein schematischer Ausschnitt eines äußeren Einsatzes aus einem Verbundwerkstoff mit keramischer Matrix aus [Fig. 2](#) oder [Fig. 3](#), der zusammengesetzt ist aus gekoppelten metallischen Teilen, wobei der Antrieb in einem heißen Betriebszustand ist;

**[0020]** [Fig. 8](#) ist ein schematischer Ausschnitt von

der Befestigung eines inneren Einsatzes aus einem Verbundwerkstoff mit keramischer Matrix an der metallischen Abstützung, der den Luftfluss durch und um den Dom und um die Haube herum im heißen Zustand veranschaulichend darstellt;

[0021] [Fig. 9](#) ist ein schematischer Ausschnitt von der Befestigung eines inneren Einsatzes aus einem Verbundwerkstoff mit keramischer Matrix an der metallischen Abstützung, der den Luftfluss durch und um den Dom und um die Haube herum im kalten Zustand veranschaulichend darstellt;

[0022] [Fig. 10](#) ist ein schematischer Ausschnitt von der Befestigung eines äußeren Einsatzes aus einem Verbundwerkstoff mit keramischer Matrix an der metallischen Abstützung, der den Luftfluss durch und um den Dom und um die Haube herum im kalten Zustand und im Startzustand des Triebwerks veranschaulichend darstellt;

[0023] [Fig. 11](#) ist ein schematischer Ausschnitt von der Befestigung eines äußeren Einsatzes aus einem Verbundwerkstoff mit keramischer Matrix an der metallischen Abstützung, der den Luftfluss durch und um den Dom und um die Haube herum im heißen Betriebszustand veranschaulichend darstellt;

[0024] [Fig. 12](#) ist ein schematischer Ausschnitt eines Befestigungselements für einen inneren CMC-Einsatz an der hinteren metallischen Dichtung im kalten Zustand und im Startzustand des Triebwerks;

[0025] [Fig. 13](#) ist ein schematischer Ausschnitt eines Befestigungselements für einen inneren CMC-Einsatz an der hinteren metallischen Dichtung im heißen Betriebszustand;

[0026] [Fig. 14](#) ist ein schematischer Ausschnitt eines Befestigungselements für einen äußeren CMC-Einsatz an der hinteren metallischen Dichtung im kalten Zustand und im Startzustand des Triebwerks;

[0027] [Fig. 15](#) ist ein schematischer Ausschnitt eines Befestigungselements für einen äußeren CMC-Einsatz an der hinteren metallischen Dichtung im heißen Betriebszustand;

[0028] [Fig. 16](#) ist eine 360°-Querschnittsansicht, von hinten nach vorne gesehen, die den hinteren Flansch des CMC-Inneneinsatzes mit radialen Nutten, individuellen Dichtungshaltern und einem Abschnitt der hinteren Dichtung zeigt; und

[0029] [Fig. 17](#) ist eine vergrößerte Ansicht eines Abschnitts des in [Fig. 16](#) gezeigten Bereichs, der den hinteren Flansch des aus einem Verbundwerkstoff mit keramischer Matrix bestehenden inneren Einsat-

zes mit radialen Nutten, einzelnen Dichtungshaltern und einem Abschnitt der hinteren Dichtung zeigt.

[0030] Wann immer möglich, werden dieselben Bezugsnummern in allen Figuren verwendet, um auf dieselben Teile Bezug zu nehmen.

[0031] Die vorliegende Erfindung stellt eine Brennkammer bereit, die Einsatzes aus einem Verbundwerkstoff mit keramischer Matrix (CMC) beinhaltet, die bei höheren Temperaturen betrieben werden können als herkömmliche Brennkammern, die jedoch unterschiedliche thermische Ausdehnung der aus unterschiedlichen Materialien bestehenden gekoppelten Teile zulässt.

[0032] [Fig. 1](#) ist eine schematische Querschnittsansicht einer Doppeldom-Brennkammer **10** aus dem Stand der Technik, die aus herkömmlichen metallischen Materialien besteht. In dieser Bauart erstreckt sich der innere Einsatz **12** und der äußere Einsatz **14** von den vorderen Hauben **16** bis zu den hinteren Dichtungshaltern **18**. Weil die Doppeldom-Brennkammer aus metallischen Materialien mit hoher Temperaturtauglichkeit und mit identischen oder ähnlichen Wärmeausdehnungskoeffizienten, besteht, muss der Aufbau die unterschiedliche thermische Ausdehnung nicht erlauben, da die Bauteile der Brennkammer sich im Wesentlichen im gleichen Ausmaß ausdehnen oder zusammenziehen. Weil die Bauart die unterschiedliche Ausdehnung der die Brennkammer bildenden Komponenten nicht erlaubt, ist es nicht möglich, die bestehenden metallischen Brennkammereinsätze **12, 14** einfach gegen einen aus einem CMC-Material hergestellten Brennkammereinsatz zu ersetzen, da die unterschiedliche thermische Ausdehnung zwischen den Teilen schwere thermische Belastungen einbringen wird, welche die Lebensdauer der Brennkammer verkürzen werden.

[0033] [Fig. 2](#) ist eine schematische Querschnittsansicht einer Doppeldom-Brennkammer **30** der vorliegenden Erfindung mit einem inneren Einsatz **32** und einem äußeren Einsatz **34**, die aus CMC-Material bestehen. Die Bauart weist zwei metallische vordere Hauben am vorderen Ende der Brennkammer auf, die an den Domabstützungen **40** der Einsatzes befestigt sind. Die inneren und äußeren Einsatzes **32, 34** erstrecken sich zwischen den Domabstützungen der Einsatzes **40** und den hinteren Dichtungen **42**. Die Einsatzes sind an der hinteren Dichtung **42** mit Dichtungshaltern **44** und Befestigungselementen **46** befestigt. Die Brennkammer **30** aus [Fig. 2](#) beinhaltet ein Paar Brennstoffdüsenverwirbler **48**.

[0034] [Fig. 3](#) ist eine schematische Querschnittsansicht einer Einzeldom-Brennkammer **130** der vorliegenden Erfindung mit einem inneren Einsatz **132** und einem äußeren Einsatz **134**, bestehend aus CMC-Materialien. Die Bauart weist zwei metallische

vordere Hauben **136** am vorderen Ende der Brennkammer auf, die an den vorderen Domabstützungen **140** der Brennkammer befestigt sind. Die inneren und äußeren Einsätze **132, 134** erstrecken sich zwischen der äußeren Domabstützung **140** und der hinteren Dichtung **142** und einer inneren Domabstützung **141** und einer hinteren Dichtung **142**. Die Einsätze sind an der hinteren Dichtung **142** durch Dichtungshalter **138** und Befestigungselemente **146** befestigt. Die Brennkammer **130** aus [Fig. 2](#) beinhaltet einen einzelnen Brennstoffdüsenverwirbler **148**.

**[0035]** Der Betrieb sowohl der Doppeldom-Brennkammer **30** als auch der Einzeldom-Brennkammer **130** ist im Prinzip ähnlich. Zur Vereinfachung wird auf [Fig. 3](#) und auf die Einzeldom-Brennkammer **130** Bezug genommen. Die vorderen Hauben **136** schaffen einen Raum, um Luft in die Brennkammer des Verdichtungsabschnitts des Triebwerks (nicht gezeigt) einströmen zu lassen. Die Domabstützungen **140** sorgen für die vordere Abstützung der Brennkammer und für Befestigungsflächen für die Brennstoffdüsenverwirbler **148**. Die Domabstützungen dienen auch als ein Befestigungspunkt für ein Ende des inneren bzw. äußeren Einsatzes **132, 134**. Die Domabstützung stellt auch Kühlungsöffnungen für die Film-Kühlung des Einsatzes bereit. Die inneren und äußeren Einsatzes **132, 134** sind die inneren und äußeren Wände der Brennkammer. Die Flamme wird hinter dem Brennstoffdüsenverwirbler **148** gebildet und erstreckt sich rückwärts in die Richtung der hinteren Dichtung **142**. Die hintere Dichtung **142** bildet am Ausgang der Brennkammer eine abdichtende Oberfläche, um das Entweichen von Luft mit hohen Temperaturen und hohem Druck in die Hochdruckturbine-Nasen (nicht gezeigt) durch die Verbindung zwischen den Einsatzten **132, 134** und den hinteren Dichtungen zu vermeiden. Die Einsatzte werden an der hinteren Dichtung mit Befestigungselementen **146** befestigt.

**[0036]** [Fig. 9](#) und [Fig. 10](#) sind vergrößerte schematische Darstellungen der [Fig. 3](#) von der Befestigung eines inneren Einsatzbefestigung und eines äußeren Einsatzes aus einem Verbundwerkstoff mit keramischer Matrix an deren entsprechenden metallischen Abstützungen, welche den Luftfluss durch und um den Dom und die Haube herum im kalten Zustand und im Startzustand des Triebwerks anschaulich darstellen. Die Pfeile veranschaulichen die Richtung und den Pfad des Luftflusses. Bezug nehmend auf [Fig. 9](#) wird der innere Einsatz **132** mit Befestigungsbolzen **150** am inneren Einsatzhalter **152** montiert. Die Befestigungsbolzen **150** sorgen für die axiale Positionierung des Einsatzes **132**. Zusätzlich erlauben die Befestigungsbolzen **150** den Ausgleich der unterschiedlichen thermischen Ausdehnung zwischen dem Einsatz **132**, der aus CMC besteht, und der metallischen Befestigung der inneren Domabstützung **141**.

**[0037]** Etwas Luft aus dem Verdichter fließt außen um die Haube **136** herum und entlang der Außenseite des inneren Einsatzes **132**. Etwas Luft fließt durch eine Öffnung oder einen Spalt **154** zwischen dem inneren Einsatz **132** und dem inneren Einsatzhalter **152** und entlang der innenseitigen Oberfläche **156** des Einsatzes **132**, um für Kühlung zu sorgen. Zusätzliche Luft wird in die Haube **136** geleitet. Etwas von der Luft fließt in den Luftverteiler **158** und in den Brennstoffdüsenverwirbler, um die Verbrennung des in den Brennstoffdüsenverwirbler eindosierten Brennstoffs zu unterstützen. Zusätzliche Luft fließt durch die Öffnung **160** in den Kanal **164** zur Kühlung der Haube und der Brennstoffdüsenverwirbler, wo sie entlang der inneren Oberfläche **156** des Einsatzes **132** geleitet wird. Die Anordnung von [Fig. 10](#) ist im Wesentlichen ein Spiegelbild von [Fig. 8](#), mit der Ausnahme, dass diese den äußeren Einsatz mit **134** und die äußere Einsatzhalter mit **153** bezeichnen. Die Menge und das Verhältnis der Kühlungsluft, die im Zustand des kalten Triebwerks durch den Spalt **154** und den Kanal **164** fließt, ist nicht so kritisch wie im heißen Zustand des Triebwerks.

**[0038]** [Fig. 8](#) und [Fig. 11](#) sind vergrößerte ausschnittsartige schematische Darstellungen, welche den [Fig. 9](#) und [Fig. 10](#) von einer inneren Einsatzbefestigung und einer äußeren Einsatzbefestigung und von einem äußeren Einsatz aus einem Verbundwerkstoff mit keramischer Matrix entsprechen, die an ihren entsprechenden metallischen Abstützungen befestigt sind, und die den Luftfluss durch und um den Dom und die Haube herum im Zustand des heißen Triebwerks veranschaulichend darstellen. Die Pfeile stellen die Richtung und den Pfad des Luftflusses dar. Bezug nehmend auf [Fig. 8](#) für den inneren Einsatz, wird der Spalt **154** infolge der unterschiedlichen thermischen Ausdehnung kleiner, wenn der Einsatz **132** sich bezüglich des inneren Einsatzhalters **152** axial nach außen bewegt, und die Menge der Kühlungsluft, die sich durch den Spalt **154** bewegt, wird reduziert, wenn sich der Einsatz **132** und der innere Einsatzhalter **152** in unterschiedlichem Ausmaß ausdehnen. Aber der Spalt **154** ist so bemessen, um diese unterschiedliche Expansion zu erlauben und um zu verhindern, dass schwere Belastungen in den Einsatz **132** eingebracht werden. So wie es sichtbar ist und wie es zuvor festgestellt wurde, erlauben die Befestigungsbolzen **150**, die für die axiale Positionierung der Einsatzes **132** sorgen, zusätzlich den Ausgleich der unterschiedlichen thermischen Ausdehnung zwischen dem aus CMC bestehenden Einsatz **132** und den metallischen Befestigungen der inneren Domabstützung **141**. Etwas Luft vom Verdichter fließt außenseitig um die Haube **136** und entlang der Außenseite des inneren Einsatzes **132**. Die zusätzliche Luft durch die Öffnung **160** in und durch den Kanal **164** auf die innenseitige Oberfläche **156** des Einsatzes fließende Luft wird ebenfalls reduziert infolge der unterschiedlichen thermischen Ausdehnung der

CMC-Einsätze **132** nach außen in Bezug auf den inneren Einsatzhalter **152**. Diese erhöhte Kühlung gleicht die durch den Spalt **154** verlorene Kühlung aus. Die Anordnung aus [Fig. 11](#) für den äußeren Einsatz ist im Wesentlichen ein Spiegelbild von [Fig. 9](#) des inneren Einsatzes, mit der Ausnahme, dass der äußere Einsatz **134** und der äußere Einsatzhalter **153** durch den inneren Einsatz **132** und den inneren Einsatzhalter ersetzt werden. Hier jedoch erfolgt die Bewegung des äußeren Einsatzes bezüglich des äußeren Einsatzhalters in die entgegengesetzte Richtung und die zusätzliche, durch den Spalt **154** fließende Luft gleicht die durch den Kanal **164** verloren gegangene Luft aus.

**[0039]** Die unterschiedliche thermische Ausdehnung zwischen den CMC-Einsätzen **132**, **134** und der hinteren Dichtung **142** der Brennkammer wird auch durch die Anordnung der vorliegenden Erfindung bereitgestellt. Nun wird Bezug genommen auf [Fig. 12](#) und [Fig. 14](#), die ausschnittsartige schematische Darstellungen der CMC, der inneren Einsatzbefestigung und der äußeren Einsatzbefestigung an der metallischen hinteren Dichtung im kalten Zustand bzw. im Startzustand des Triebwerks. Die Anordnungen der inneren Einsatzbefestigung und der äußeren Einsatzbefestigungen in [Fig. 12](#) und [Fig. 14](#) sind im Wesentlichen identisch mit Ausnahme der Nummerierung der Bauteile des inneren und äußeren Einsatzes. Zur Vereinfachung erfolgt die Bezugnahme auf [Fig. 12](#) und die Bauteile des inneren Einsatzes, wobei klar ist, dass die Anordnung der äußeren Einsatzbauteile im Wesentlichen ähnlich ist. Der innere aus einem CMC bestehende Einsatz **132** ist zwischen dem metallischen Dichtungshalter **138** und der metallischen hinteren Dichtung **142** positioniert. Der innere Einsatz **132** ist zwischen dem metallischen Dichtungshalter **138** und der hinteren Dichtung **142** durch ein Befestigungselement **146**, vorzugsweise durch eine Niete, befestigt. Kleine Nuten **170** (Freiräume) und Halterungsspalten **172** sind in der Verbindung zwischen dem Einsatz **132**, dem Halter **138** und der Dichtung **142** vorgesehen, um die unterschiedliche Ausdehnung zu erlauben. Die Freiräume **170** sind zwischen dem Einsatz **132** und dem Dichtungshalter **138** vorgesehen, um der Ausdehnung der hinteren Dichtung **142** und der entsprechenden Bewegung des Befestigungsmittels **146**, vorzugsweise metallische Nieten, Rechnung zu tragen, während die Spalten der Halterung **172** zwischen dem Halter **138** und der Dichtung **142** vorgesehen sind, um die Bewegung zwischen der hinteren Dichtung **142**, dem Halter **138** und dem Einsatz **132** zu erlauben. [Fig. 13](#) und [Fig. 15](#) veranschaulichen die Auswirkung der unterschiedlichen thermischen Ausdehnung des inneren und äußeren Einsatzes bzw. der Dichtung und des Dichtungshalters.

**[0040]** [Fig. 16](#) ist eine 360°-Querschnittsansicht, von hinten nach vorne gesehen, welche den hinteren

CMC-Flansch des inneren Einsatzes mit radialen Nuten, einzelne Dichtungshalter und einen Ausschnitt der hinteren Dichtung zeigt, während [Fig. 17](#) eine vergrößerte Ansicht eines Abschnitts des in [Fig. 16](#) gezeigten Bereichs ist, welcher den aus einem Verbundwerkstoff mit keramischer Matrix bestehenden inneren Einsatz des hinteren Flansch mit radialen Nuten, einzelnen Dichtungshaltern und einem Bereich der hinteren Dichtung zeigt. Weil die Nuten **170** und die Spalten **172** so bemessen sind, um der unterschiedlichen thermischen Ausdehnung der verschiedenen Materialien der Teile Rechnung zu tragen, sind die Nuten **170** und Spalten **172** wesentlich kleiner, wenn der Antrieb im heißen Zustand ist; jedoch werden Belastungen im Einsatz, die sonst aus der unterschiedlichen thermischen Ausdehnung der Materialien folgen würden, eliminiert.

**[0041]** Die typischerweise sowohl für den vorderen Haubenabschnitt der Brennkammer und die hintere Dichtung und die Dichtungshalter verwendeten Materialien sind Superlegierungsmaterialien, die in der Lage sind, erhöhte Temperaturen und der korrosiven und oxidativen Atmosphäre der heißen Verbrennungsgase, die sie in der heißen Brennkammeratmosphäre erfahren, standzuhalten. Diese Superlegierungsmaterialien sind typischerweise nickelbasierte Superlegierungen, die speziell entwickelt wurden, um in solch einer Atmosphäre eine verlängerte Lebensdauer zu haben, mit einem thermischen Wärmeausdehnungskoeffizienten von etwa  $15,8\text{--}16,2 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$  ( $8,8\text{--}9,0 \times 10^{-6} \text{ in/in}^\circ\text{F}$ ) oder kobalt-basierte Superlegierungen mit einem Wärmeausdehnungskoeffizienten von etwa  $16,6\text{--}16,9 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$  ( $9,2\text{--}9,4 \times 10^{-6} \text{ in/in}^\circ\text{F}$ ). Die in den Brennkammereinsätzen verwendeten CMC-Verbundwerkstoffe sind typischerweise Silikon-Carbid-, Siliziumdioxid- oder Aluminiumoxid-Matrixmaterialien und Kombinationen derselben. Das Verfahren zur Herstellung des CMC-Materials involviert typischerweise den Schmelzfiltrations-Prozess. Zum Beispiel wird Silikon-Metall schmelzgefilitert in eine Vorform, die ein vorgefertigtes Fasergewebe enthält. Der Schmelzfiltrations-Prozess führt in Anwesenheit von nicht umgewandeltem Rest-Silikat typischerweise zu einer SiC-Matrix. Eingebetet in die Matrix sind keramische Fasern, so wie die oxidationsstabilen Verstärkungsfasern einschließlich Mono-Filamenten, wie Saphir und Silikon-Carbid, so wie Textron's SCS-6, genauso wie Vorgarn und Garn einschließlich Silikon-Carbid, so wie Nippon Carbon's NICALON®, im Besonderen HI-NICALON® und HI-NICALONS®, Ube Industries TYRANNO®, im Besonderen TYRANNO® ZMI und TYRANNO® SA und Dow Corning's SYLRAMIC® und Aluminiumoxid-Silikate, so wie Nextel's 440 und 480 und zerhackte Faserkristalle und Fasern, so wie Nextel's 440 und SAFFIL® und optional keramische Partikel so wie die Oxide von Si, Al, Zr, Y und Kombinationen daraus und anorganische Füllstoffe, so wie Pyrophyllit, Wollastonit, Glimmer, Kreide, Talk, Kyanit und Montmorillonit. Ein

Beispiel eines typischen CMC-Materialien und Verfahren zur Herstellung solcher Verbundwerkstoffe ist in der US Patentschrift 5,601,674, eingetragen für Millard et. al., und offengelegt am 11. Februar 1997, und übertragen auf den Inhaber der vorliegenden Erfindung, die hiermit durch Bezugnahme einbezogen. CMC-Materialien haben typischerweise Wärmeausdehnungskoeffizienten im Bereich von etwa  $2,3 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$  ( $1,3 \times 10^{-6} \text{ in/in}/^{\circ}\text{F}$ ) bis etwa  $5,0 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$  ( $2,8 \times 10^{-6} \text{ in/in}/^{\circ}\text{F}$ ). In einer bevorzugten Ausführungsform weisen die Einsätze Silikon-Carbid-Fasern auf, die in eine schmelzinfiltierte Silikon-Carbid-Matrix eingebettet sind.

[0042] [Fig. 5](#) und [Fig. 6](#) sind ausschnittsweise schematische Darstellungen des äußeren bzw. inneren Einsatzes aus einem Verbundwerkstoff mit keramischer Matrix aus [Fig. 2](#) oder [Fig. 3](#) so zusammengesetzt, dass diese die metallischen Teile koppeln, während der Antrieb kalt ist. Die Spalten zwischen den CMC-Einsätzen in dem Bereich der Befestigung der Einsatzteile an den hinteren Dichtungen können nun unter Bezugnahme auf die [Fig. 12](#) und [Fig. 14](#) und in dem Bereich der Befestigung der Einsatzstützdome unter Bezugnahme auf die [Fig. 9](#) und [Fig. 10](#) besser verstanden werden. Diese Spalten können den Spalten in [Fig. 4](#) und [Fig. 7](#) gegenübergestellt werden, die schematische Ausschnittsdarstellungen von einem äußeren und inneren Einsatz aus einem Verbundwerkstoff mit keramischer Matrix sind und so zusammengesetzt sind, dass sie die metallischen Teile des Triebwerks im heißen Betriebszustand koppeln. Eine detailliertere Bezugnahme kann auch auf die [Fig. 8](#), [Fig. 11](#), [Fig. 13](#) und [Fig. 15](#) für die heißen Betriebsbedingungen der Brennkammer der vorliegenden Erfindung gemacht werden.

### Patentansprüche

1. Brennkammer (30, 130) zur Verwendung in einem Gasturbinenantrieb, bestehend aus:  
einer vorderen Haube (36), hergestellt aus einem metallischen Material, das in der Lage ist, erhöhten Verbrennungstemperaturen in einer oxidativen und korrosiven Atmosphäre zu widerstehen, mit einem ersten Wärmeausdehnungskoeffizienten; und  
einer an einem Dichtungshalter (44) befestigten hinteren Dichtung (42), wobei die hintere Dichtung (42) einen zweiten Wärmeausdehnungskoeffizienten und der Dichtungshalter einen dritten Wärmeausdehnungskoeffizienten aufweist, wobei beide aus einem metallischen Material bestehen, das in der Lage ist, erhöhten Verbrennungstemperaturen in einer oxidativen und korrosiven Atmosphäre zu widerstehen, wobei:  
ein Brennkammereinsatz (32, 34, 132, 134) aus einem Verbundwerkstoff mit keramischer Matrix besteht, der in der Lage ist, erhöhten Verbrennungstemperaturen in einer oxidativen und korrosiven Atmosphäre zu widerstehen, mit einem vierten Wärmeaus-

dehnungskoeffizienten, der kleiner als der erste Wärmeausdehnungskoeffizient der vorderen Haube (36) und kleiner als der zweite Wärmeausdehnungskoeffizient der hinteren Dichtung (42) und kleiner als der dritte Wärmeausdehnungskoeffizient des Dichtungshalters (44) ist, und der Brennkammereinsatz (32, 34, 132, 134) zwischen der vorderen Haube (36) und hinteren Dichtung (42) mit befestigtem Dichtungshalter (44) in einer Weise positioniert ist, dass eine unterschiedliche Wärmeausdehnung des keramischen Brennkammereinsatzes (32, 34), der vorderen Haube (36) und der hinteren Dichtung (42) mit dem befestigten Dichtungshalter zugelassen wird, ohne Spannungen in dem Einsatz (32, 34, 132, 134) zu induzieren, die ausreichen, den Einsatz als Folge unterschiedlicher Wärmeausdehnung bei erhöhten Temperaturen zu brechen.

2. Brennkammer (30, 130) nach Anspruch 1, wobei die Brennkammer einen inneren Brennkammereinsatz (32, 132) und einen äußeren Brennkammereinsatz (34, 134) enthält.

3. Brennkammer (30, 130) nach Anspruch 1, wobei der Brennkammereinsatz (32, 34, 132, 134) ein CMC-Material mit einer Siliziumoxidmatrix ist.

4. Brennkammer (30, 130) nach Anspruch 1, wobei der Brennkammereinsatz (32, 34, 132, 134) ein CMC-Material mit einer Aluminiumoxidmatrix ist.

5. Brennkammer (30, 130) nach Anspruch 1, ferner aufweisend:  
eine metallische innere Domabstützung (141) mit einem an der vorderen Haube (136) befestigten inneren Einsatzhalter (152), wobei der innere Einsatzhalter (152) eine Ausdehnungsöffnung (151) enthält;  
eine metallische äußere Domabstützung (140) mit einem an der vorderen Haube (136) befestigten äußeren Einsatzhalter (153), wobei der äußere Einsatzhalter (153) eine Ausdehnungsöffnung (154) enthält; wenigstens einen an den Domabstützungen befestigten Brennstoffdüsenverwirbler (148) zum Mischen von Brennstoff und Luft, um die Verbrennung des Brennstoffs zu starten und heiße Verbrennungsgase in eine Brennkammer und dann in einem Turbinenabschnitt des Gasturbinen-Triebwerks zu leiten; wenigstens einen metallischen hinteren Dichtungshalter (138), der so an der hinteren Dichtung (42, 142) befestigt ist, das ein Spalt (172) zwischen der hinteren Dichtung (42, 142) und dem wenigstens einen hinteren Dichtungshalter (138) erzeugt wird; wobei der keramische innere Brennkammereinsatz (32, 132) die innere Wand der Brennkammer bildet und eine vordere Befestigungselement und ein hintere Befestigungselement in der Form eines sich von einer Mittellinie der Brennkammer weg erstreckenden Flansches aufweist, der Einsatz sich zwischen der inneren Domabstützung und der wenigstens einen hinteren Dichtung erstreckt, das vordere Befesti-

gungselement des Brennkammereinsatzes (**132**) in die Ausdehnungsöffnung (**154**) in den inneren Einsatzhalter (**152**) eingebaut ist, und das hintere Befestigungselement in dem Spalt (**172**) zwischen der hinteren Dichtung und dem wenigstens einen hinteren Dichtungshalter (**138**) sitzt;

wobei der keramische äußere Brennkammereinsatz (**134**) eine äußere Wand der Brennkammer bildet und eine vorderes Befestigungselement und ein hintere Befestigungselement in der Form eines sich von einer Mittellinie der Brennkammer weg erstreckenden Flansches aufweist, der Einsatz sich zwischen der äußeren Domabstützung und der wenigstens einen hinteren Dichtung erstreckt, das vordere Befestigungselement des Brennkammereinsatzes (**134**) in die Ausdehnungsöffnung (**154**) des inneren Einsatzhalters (**154**) eingebaut ist, und das hintere Befestigungselement in dem Spalt (**172**) zwischen der hinteren Dichtung (**142**) und dem wenigstens einen hinteren Dichtungshalter (**138**) sitzt; und  
eine Einrichtung zum Befestigen der Brennkammer-einsätze an den Brennkammerabstützungen.

6. Brennkammer (**130**) nach Anspruch 5, wobei die Einrichtung zum Befestigen der Brennkammer-einsätze an dem Einsatzhalter Befestigungselemente (**150**) umfasst, die sich durch eine Öffnung in den Brennkammereinsätzen hindurch erstrecken, die eine Bewegung der Einsätze in der axialen Richtung der Befestigungselemente zulassen, um die unterschiedliche Wärmeausdehnung zwischen den Einsatzhalterdomen und den Einsätzen auf Grund von Temperaturänderungen zu kompensieren.

7. Brennkammer (**130**) nach Anspruch 5, wobei Luft in den Ausdehnungsspalt (**154**) in den Einsatz-haltern eingeführt wird, um eine Filmkühlung an einer inneren Oberfläche der Keramikeinsätze zu erzeu-gen.

8. Brennkammer (**130**) nach Anspruch 5, wobei der Flansch des inneren Einsatzes (**132**) mehrere radiale Schlitze (**170**) enthält, um den inneren Einsatz zwischen der hinteren Dichtung (**142**) und dem hinteren Dichtungshalter (**138**) zu positionieren, und um eine Bewegung der hinteren Dichtung (**142**) und des hinteren Dichtungshalters (**138**) in Bezug auf den Einsatz zuzulassen, um eine unterschiedliche Wärmeausdehnung zwischen der hinteren Dichtung (**142**), dem hinteren Dichtungshalter (**138**) und dem Einsatz (**132**) auf Grund von Temperaturänderungen zu kompensieren.

9. Brennkammer (**130**) nach Anspruch 5, wobei der Flansch des äußeren Einsatzes (**134**) mehrere radiale Schlitze (**170**) enthält, um den äußeren Einsatz (**134**) zwischen der hinteren Dichtung (**142**) und dem hinteren Dichtungshalter (**138**) zu positionieren, und um eine Bewegung der hinteren Dichtung (**142**) und des hinteren Dichtungshalters (**138**) in Bezug auf

den Einsatz zuzulassen, um eine unterschiedliche - Wärmeausdehnung zwischen der hinteren Dichtung (**142**), dem hinteren Dichtungshalter (**138**) und dem Einsatz (**134**) auf Grund von Temperaturänderungen zu kompensieren.

10. Brennkammer (**130**) nach Anspruch 5, wobei der keramische innere (**132**) und äußere (**134**) Ein-satz aus einem Verbundwerkstoff mit keramischer Matrix bestehen.

Es folgen 15 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

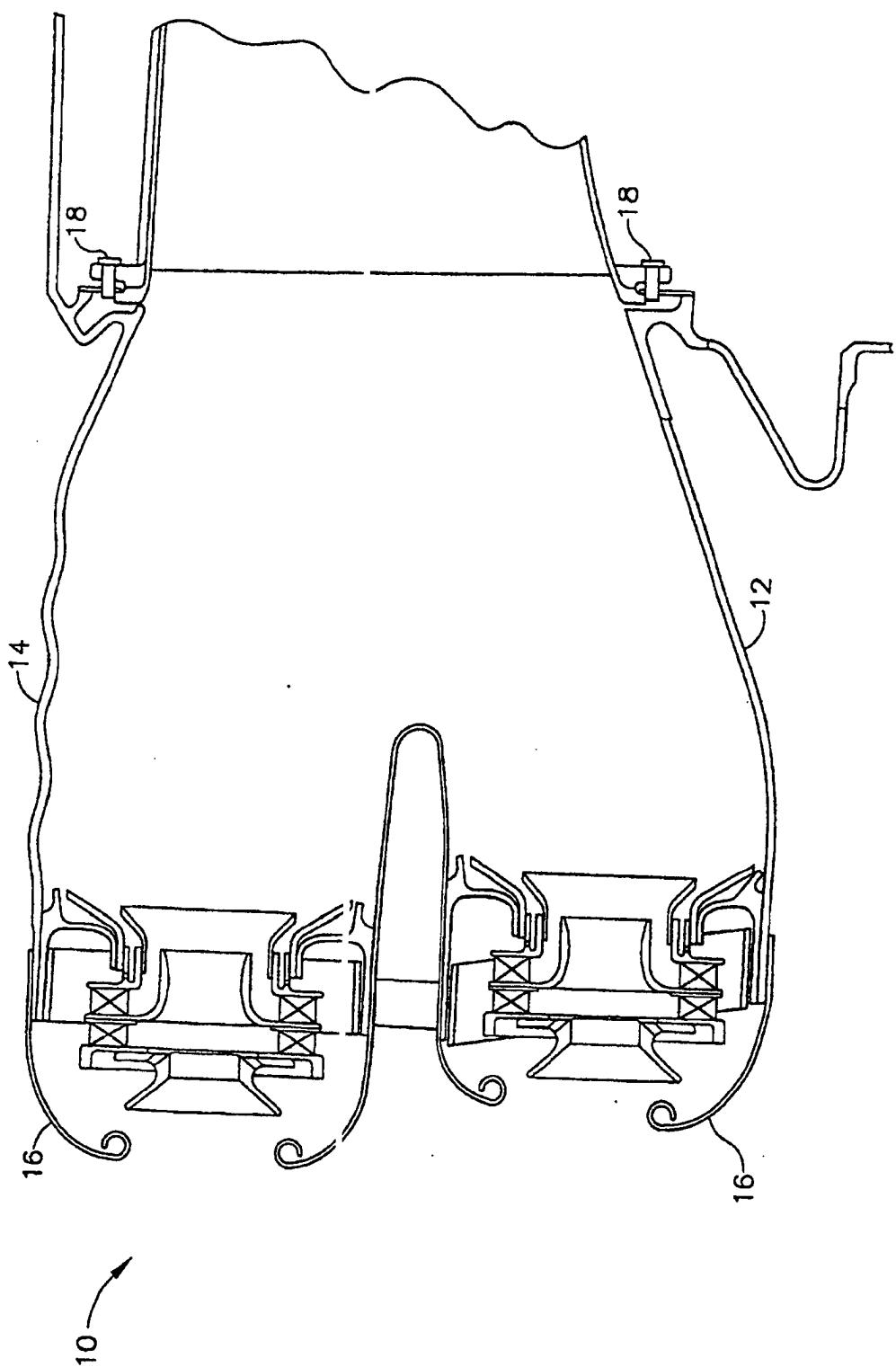


FIG. 1 (Stand der Technik)

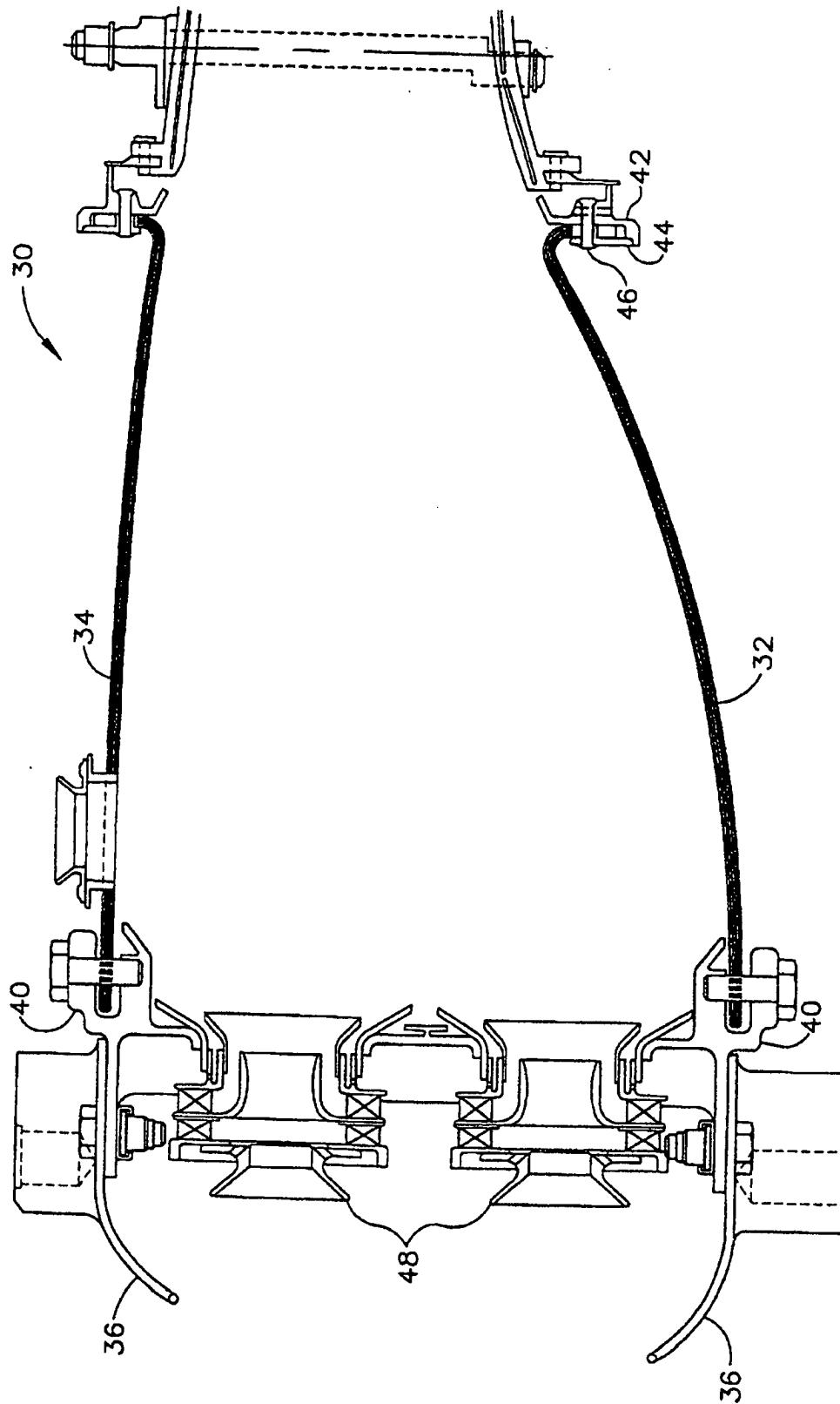


FIG. 2

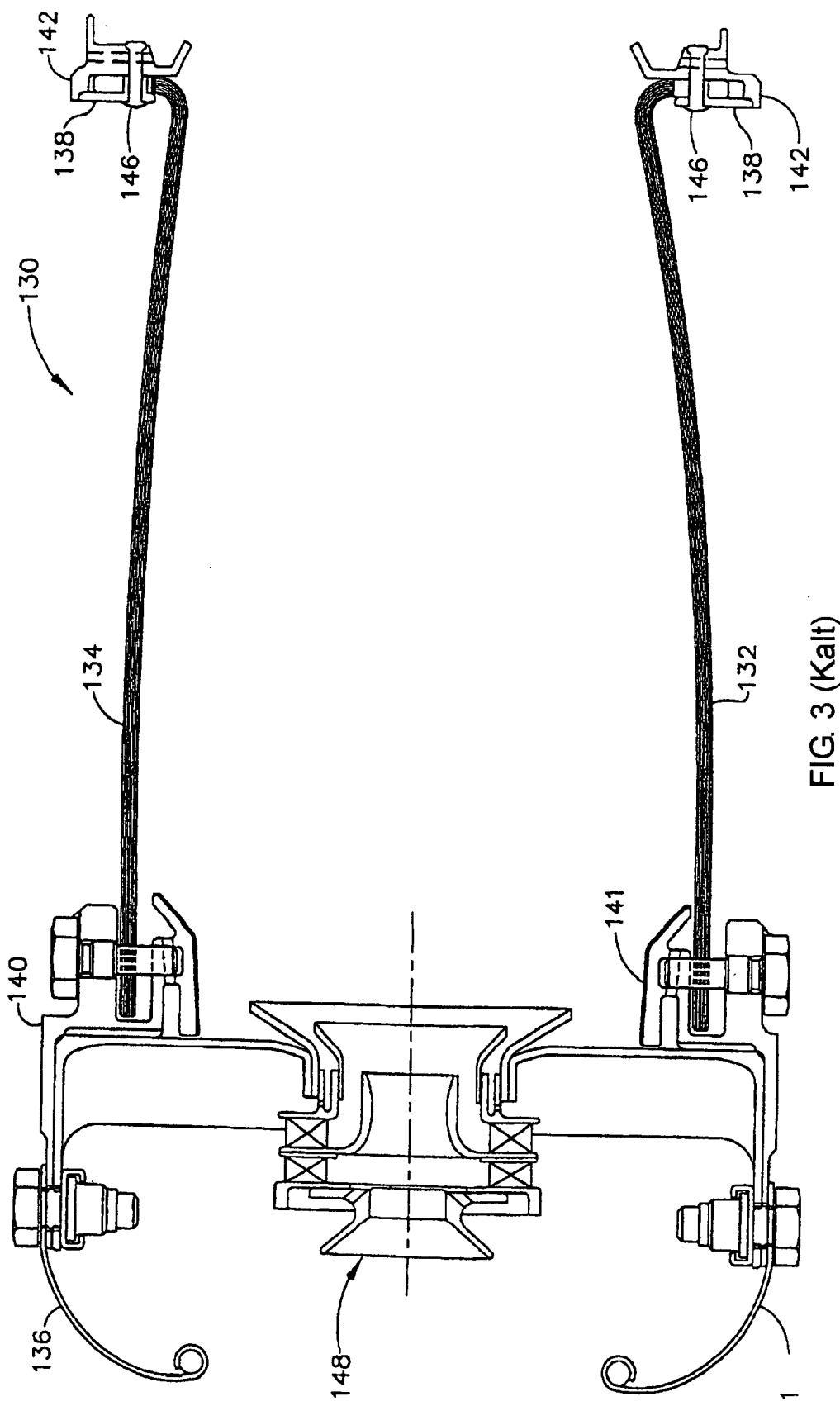


FIG 3 (Kalt)

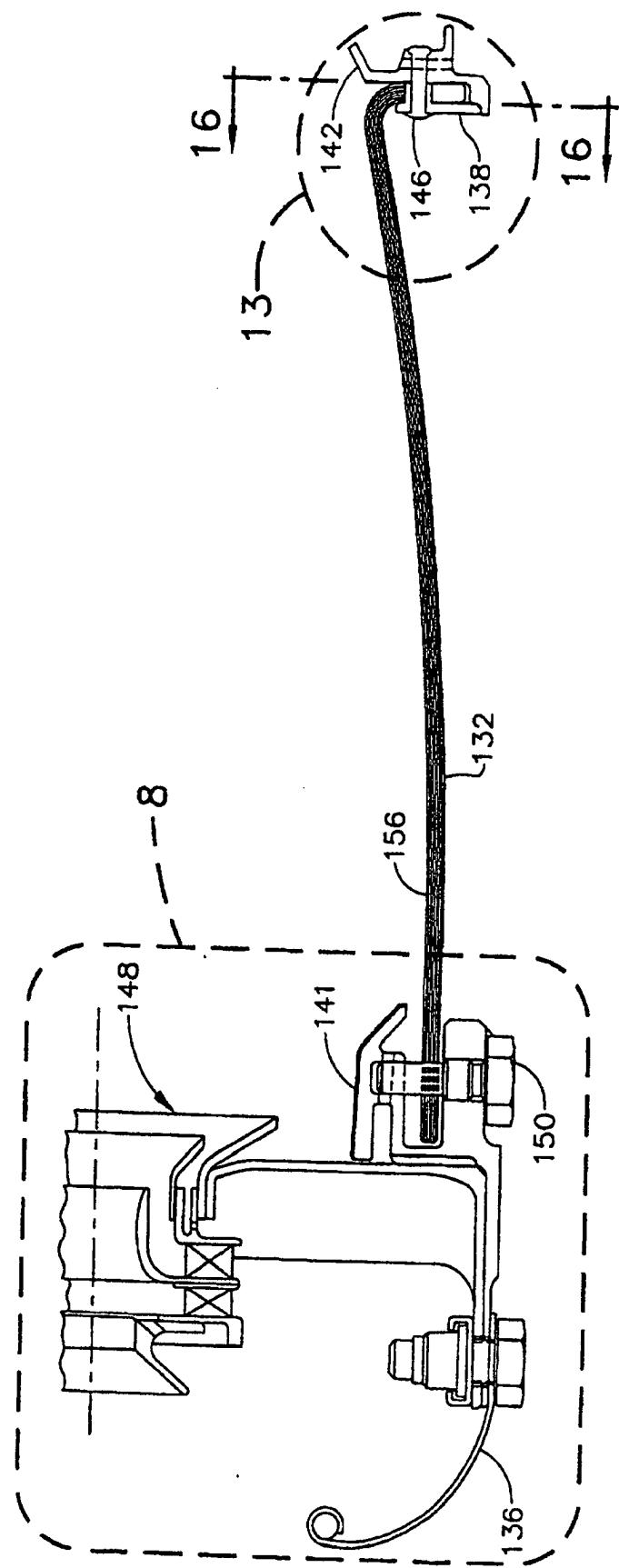


FIG. 4 (Heiß)

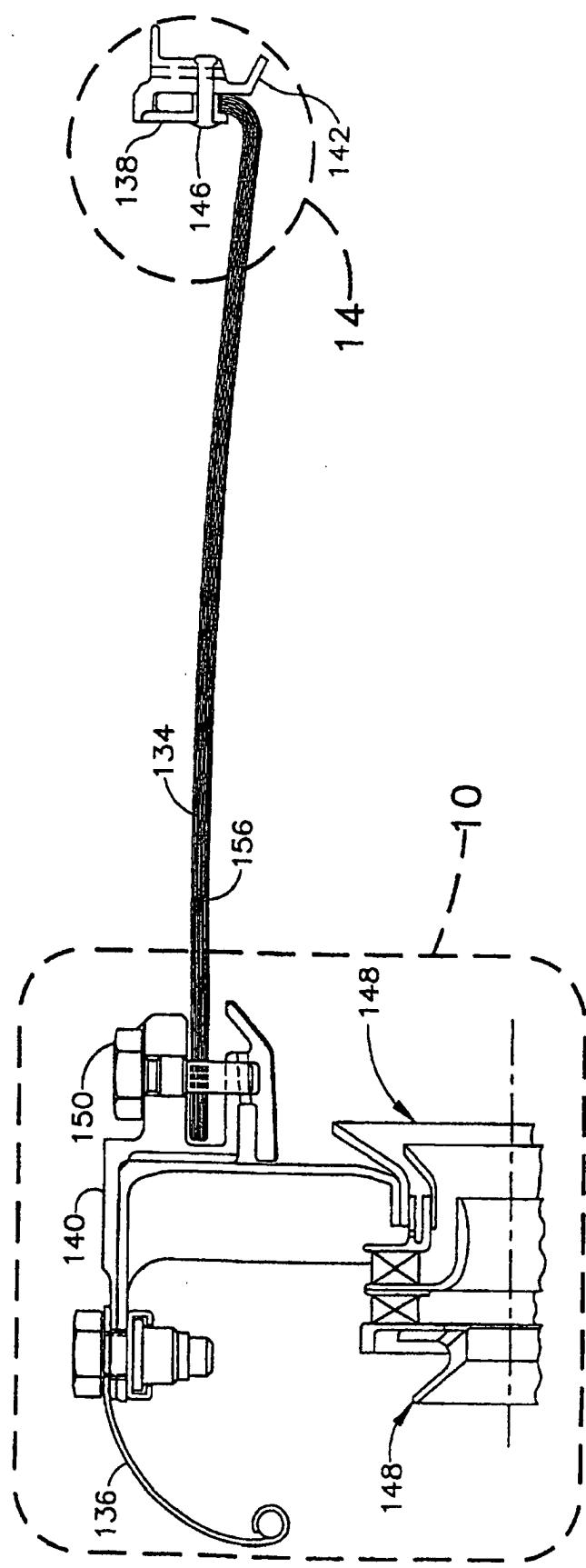


FIG. 5 (Kalt)

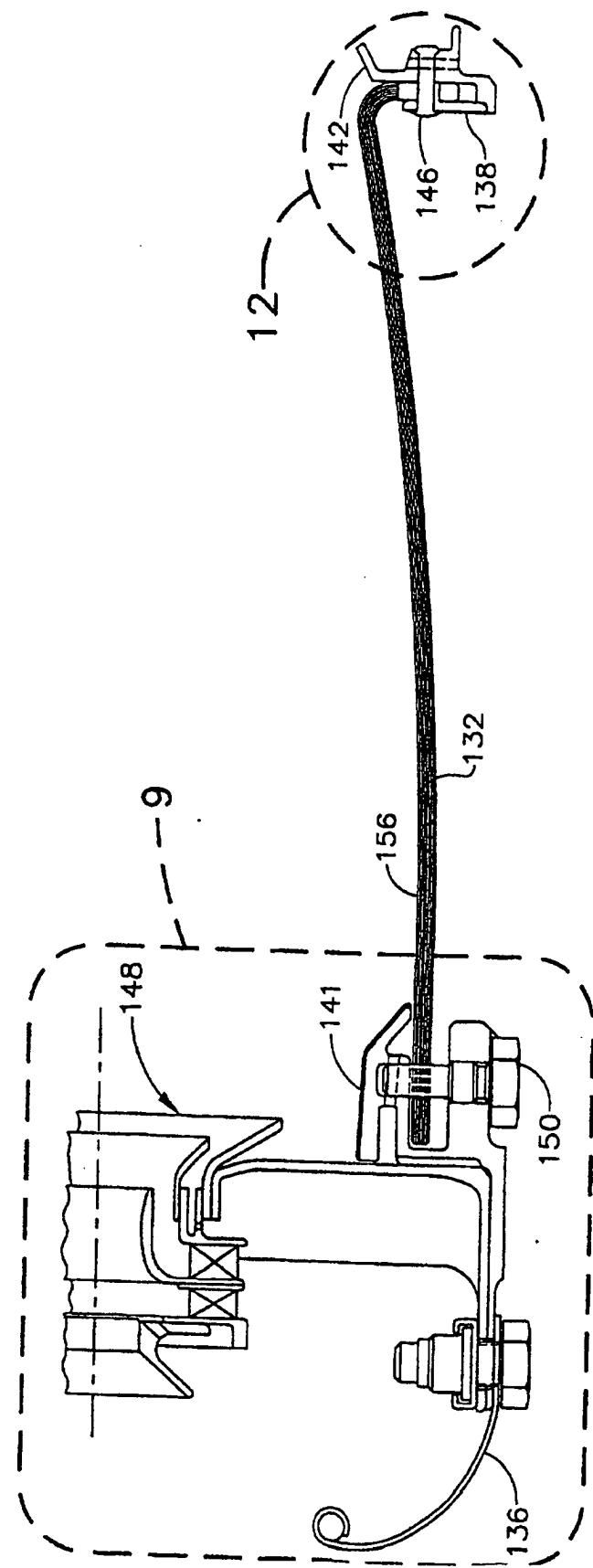


FIG. 6 (Kalt)

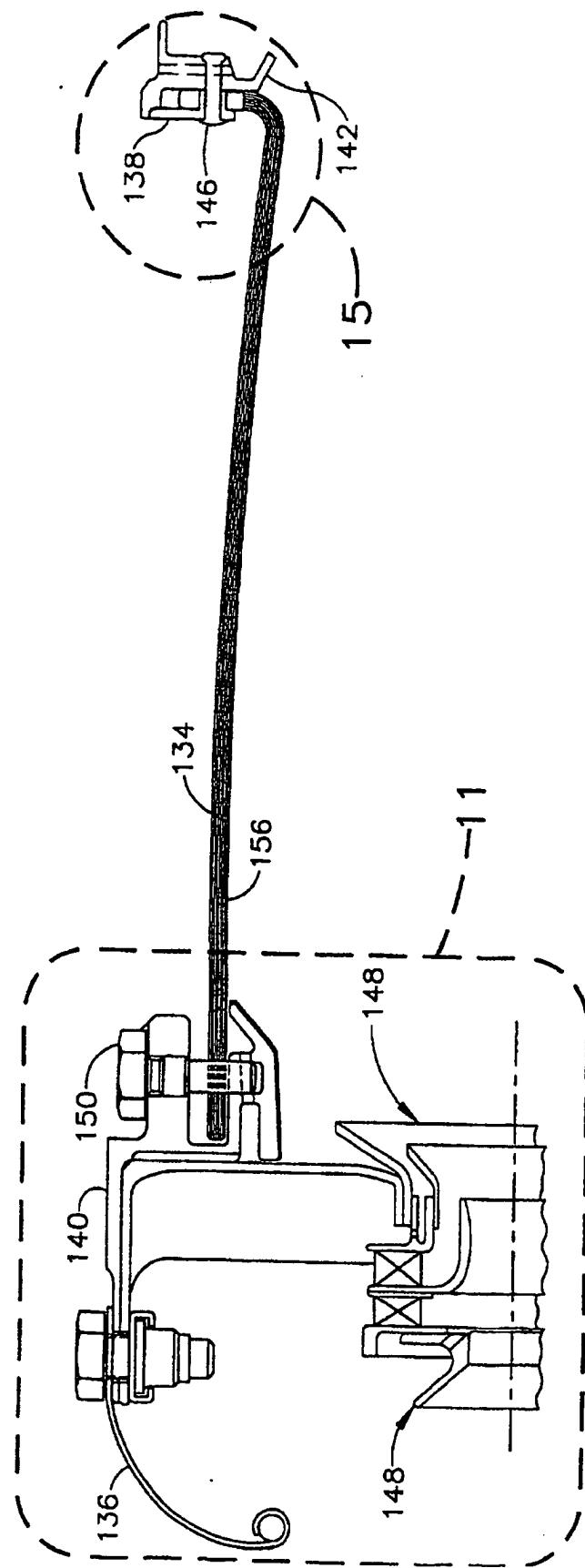


FIG. 7 (Heiß)

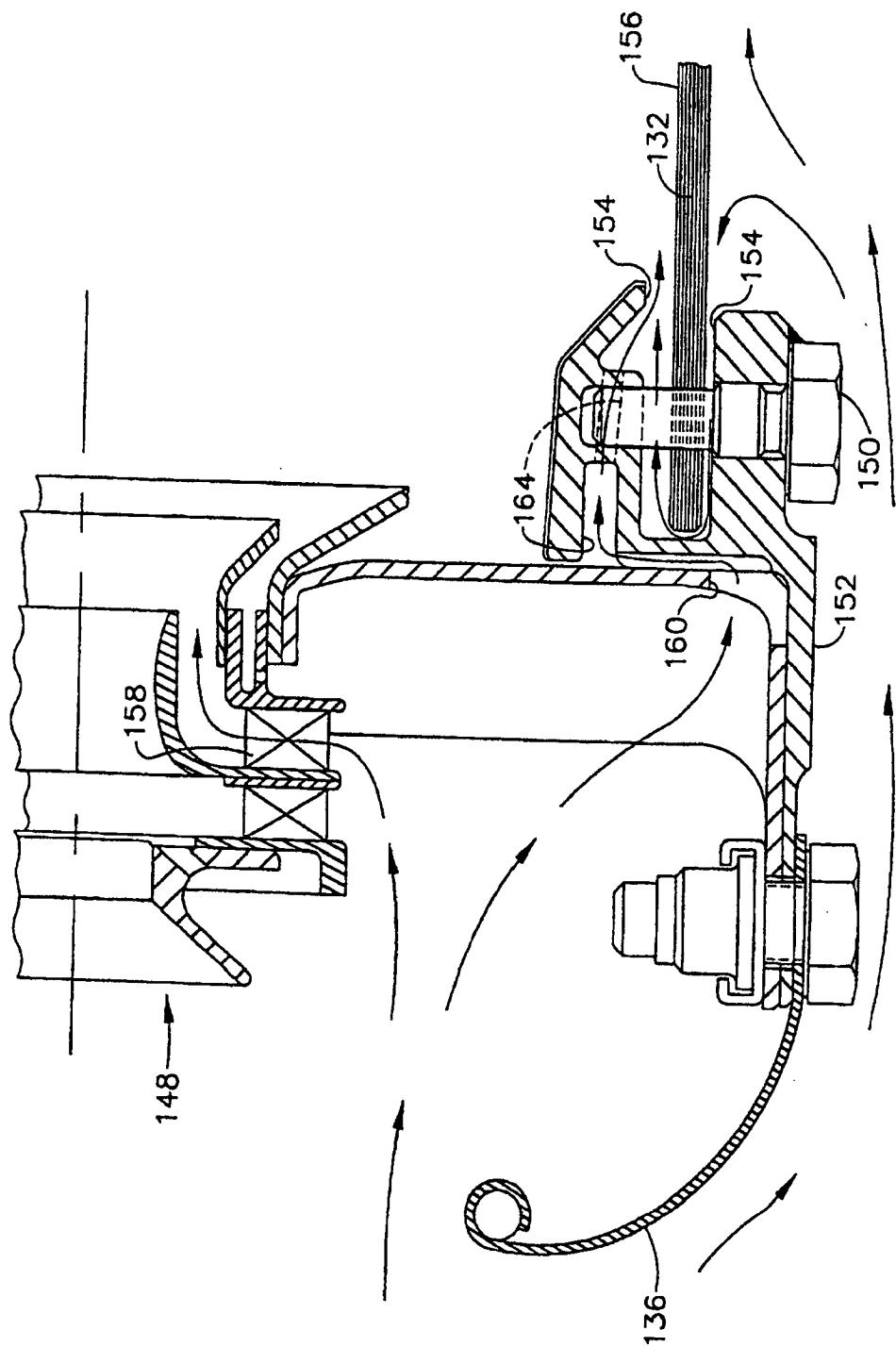


FIG. 8 (Heiß)

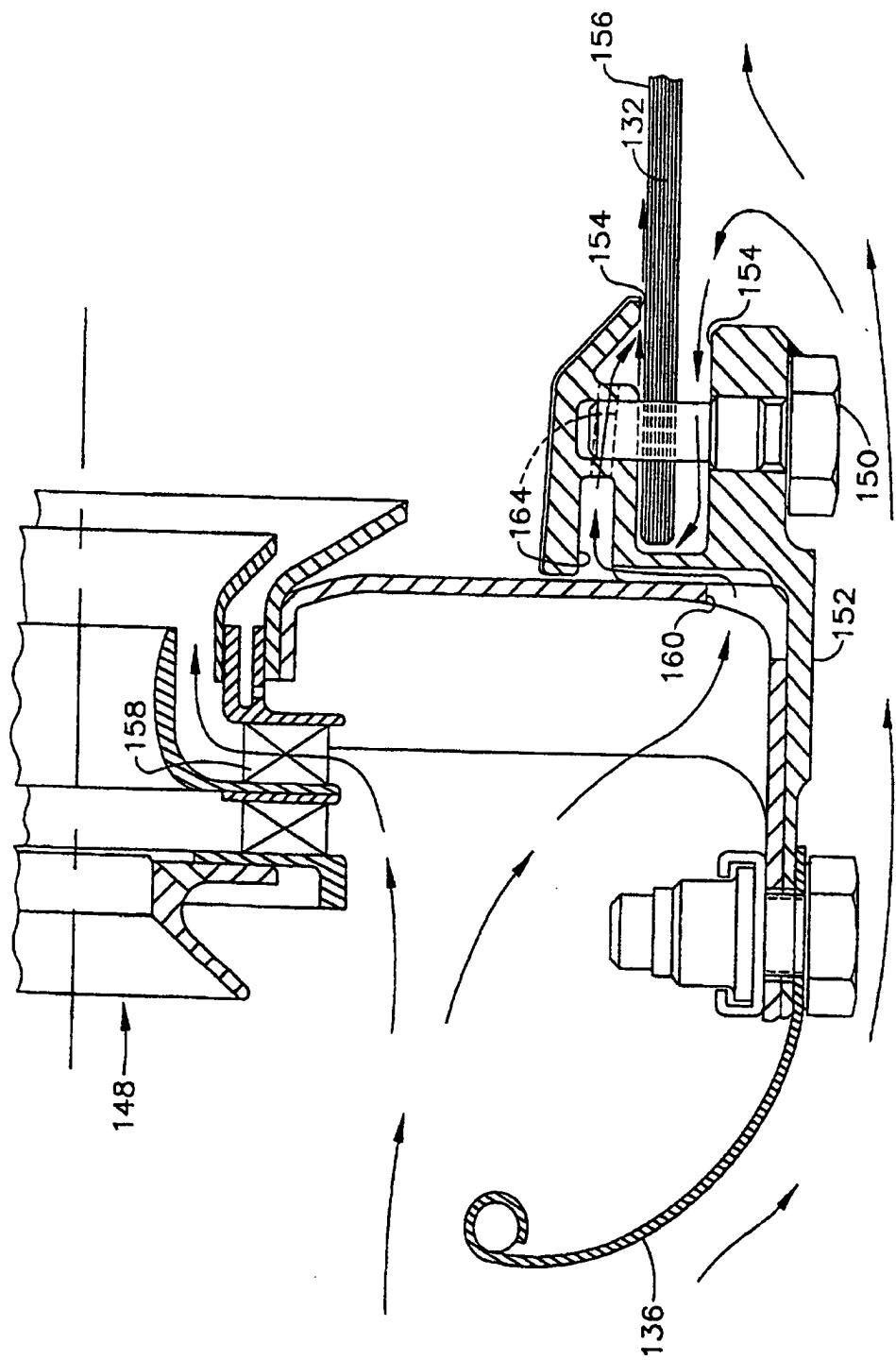


FIG. 9 (Kalt)

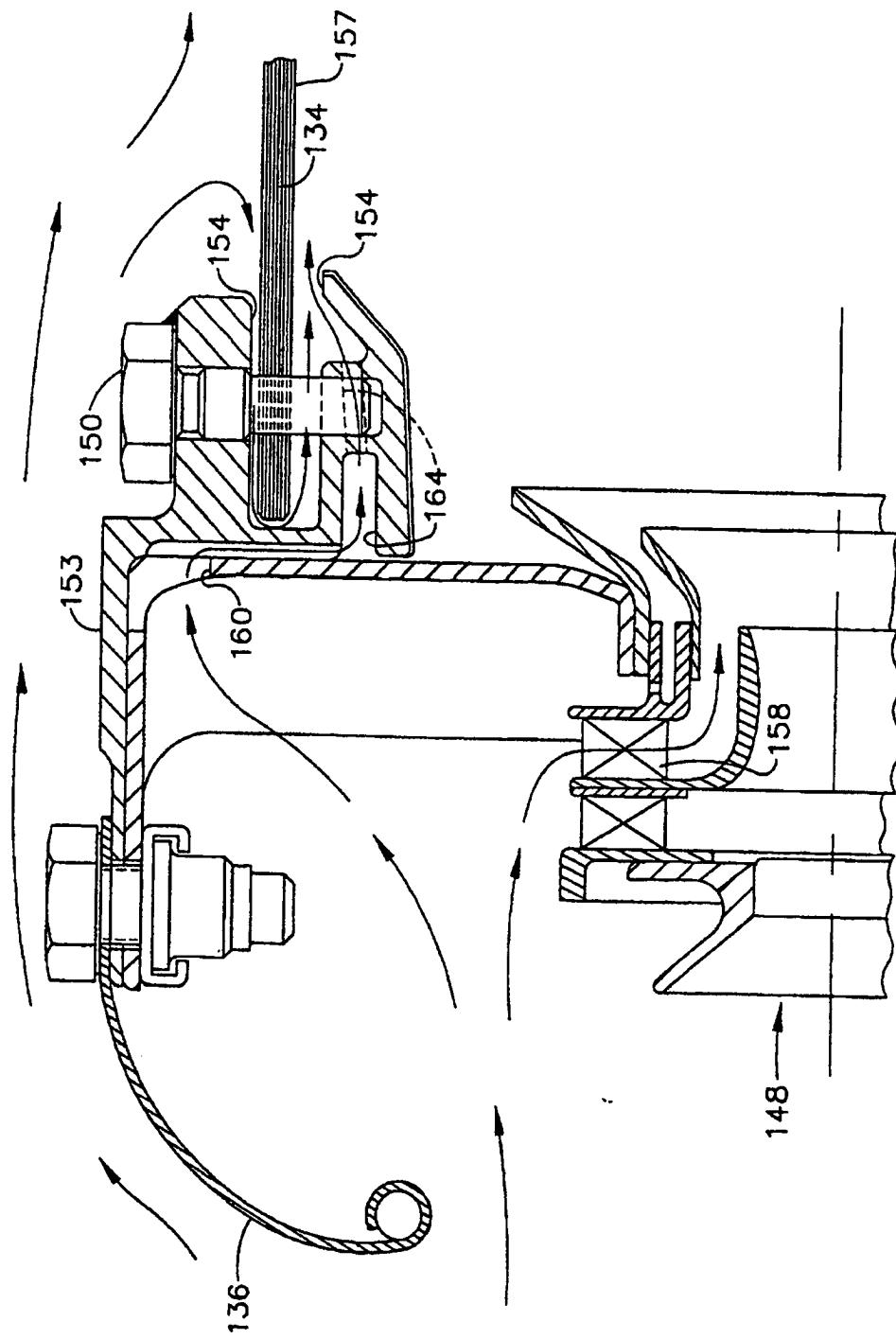


FIG. 10 (Kalt)

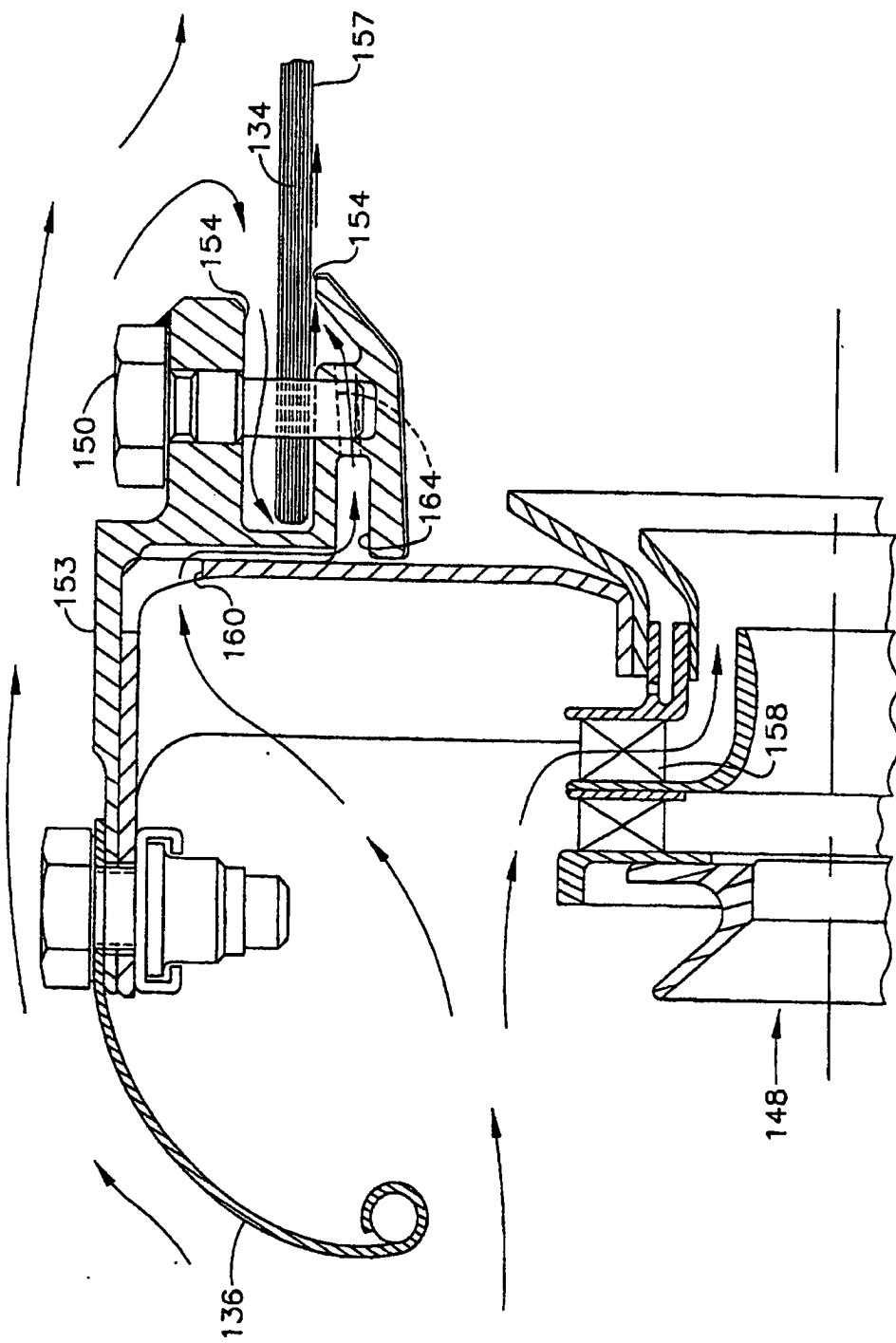


FIG. 11 (Heiß)

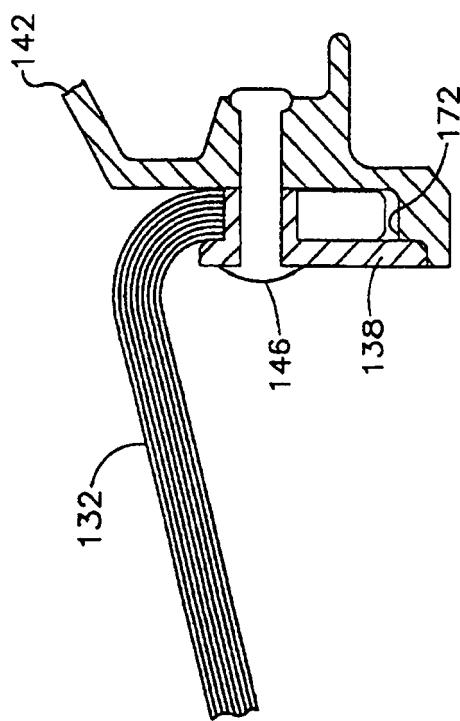


FIG. 13 (Heiß)

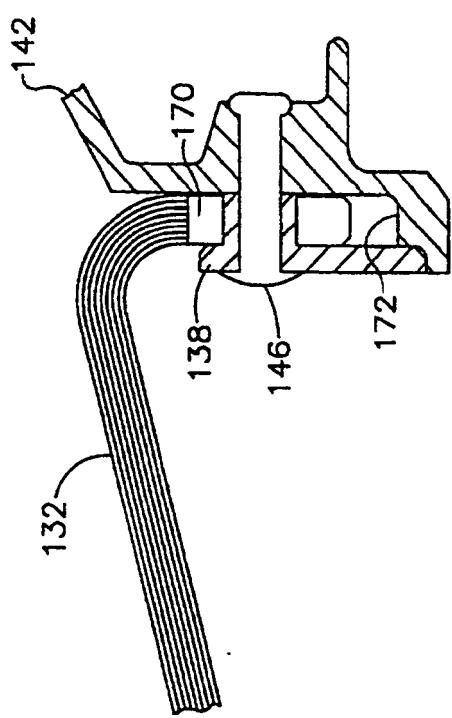


FIG. 12 (Kalt)

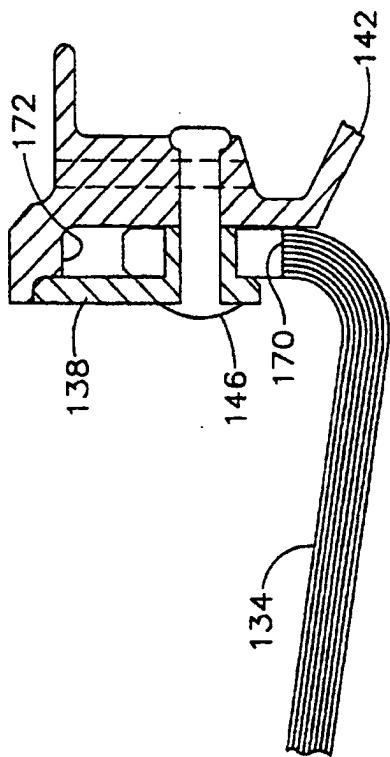


FIG. 15 (Heiß)

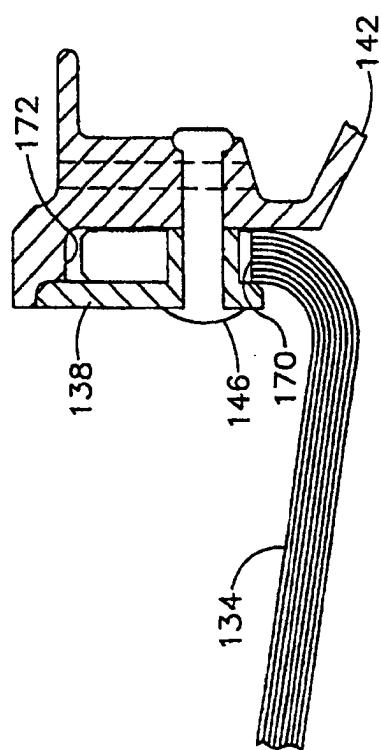


FIG. 14 (Kalt)

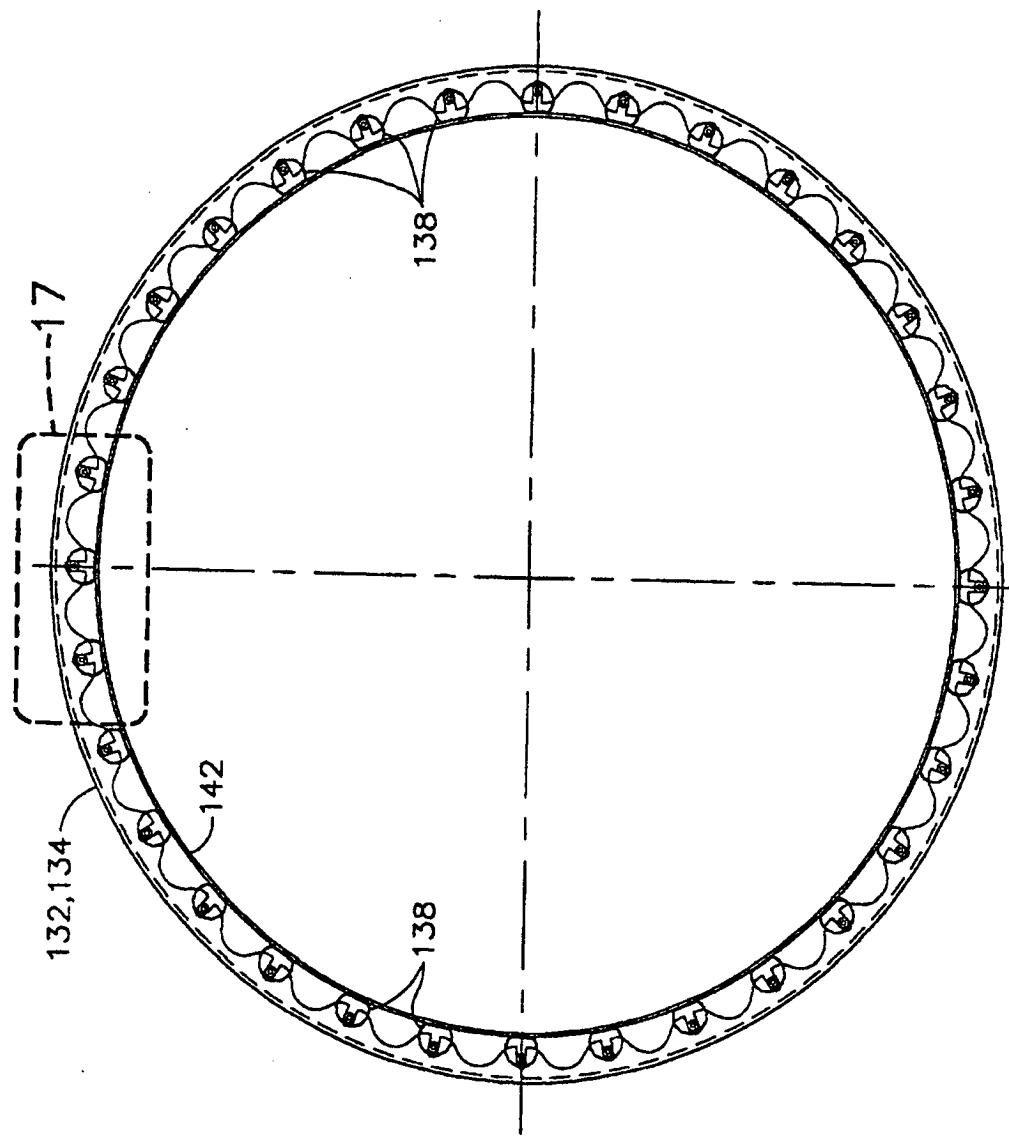


FIG. 16

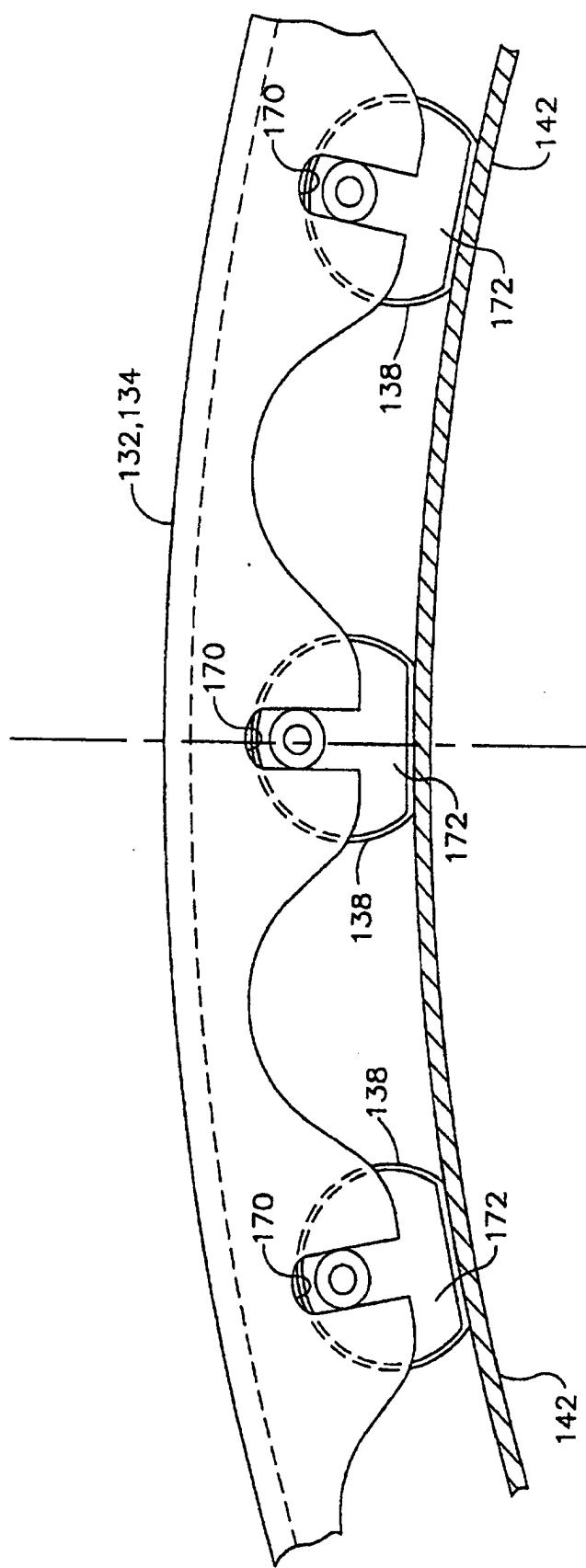


FIG. 17