



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 600 18 526 T2** 2006.04.13

(12)

## Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 1 101 902 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **600 18 526.5**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **00 310 378.5**

(96) Europäischer Anmeldetag: **22.11.2000**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **23.05.2001**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **09.03.2005**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **13.04.2006**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **F01D 17/16** (2006.01)  
**F04D 29/56** (2006.01)

(30) Unionspriorität:

**444623                      22.11.1999                      US**

(73) Patentinhaber:

**General Electric Co., Schenectady, N.Y., US**

(74) Vertreter:

**Rüger und Kollegen, 73728 Esslingen**

(84) Benannte Vertragsstaaten:

**DE, FR, GB, IT**

(72) Erfinder:

**Haaser, Frederic Gardner, Cincinnati, Ohio 45249, US; Even-nur, Michael, Cincinnati, Ohio 45242, US; Bowen, Wayne Ray, West Chester, Ohio 45069, US; Przytulski, James Charles, Fairfield, Ohio 45014, US; Dingwell, William Terence, West Chester, Ohio 45069, US**

(54) Bezeichnung: **Schwingungsgedämpfte Torsionswellenanordnung**

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 eingelegt, 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]** Diese Erfindung betrifft Torsionswelleneinrichtungen zum Bewegen einer Anordnung einstellbarer Elemente zum Drehen von verstellbaren Statorleitschaufeln in einem Gasturbinentriebwerk. Insbesondere betrifft sie gedämpfte Hohlwelleneinrichtungen mit Dämpfungsmedien innerhalb eines hohlen Innenraums der Welle.

**[0002]** Gasturbinentriebwerke mit verstellbaren Statorleitschaufeln (VSV – variable stator vane), beispielsweise verstellbaren Statorleitschaufeln des Kompressors, enthalten häufig eine Torsionsübertragungseinrichtung in Verbindung einen Betätigungselement. Eine derartige Einrichtung ermöglicht und koordiniert die Bewegung mehrerer Stufen von Statorleitschaufeln als Reaktion auf gesteuerte, sich ändernde Triebwerkszustände mittels Kurbelarmen, die mit einem Verstellring verbunden sind, um den Winkel der Leitschaufeln in jeder Stufe zu verstellen. Zur Betätigung des verstellbaren Statorleitschaufelsystems der Hochdruckkompressoren bei Triebwerken, wie zum Beispiel dem General Electric LM2500+ Triebwerk wird eine Torsionswelle verwendet. Im Allgemeinen ist ein Torsionswellenbetätigungssystem dahingehend vorteilhaft, dass es eine Flexibilität in der stufenweisen (nicht-linearen) VSV-Planung ermöglicht. Beispiele von Gasturbinentriebwerken, welche Axialströmungskompressoren mit verstellbaren Statormechanismen enthalten, sind in den US. Patenten Nr. 2 858 062, 2 933 235 und 5 281 087 offenbart. Ein Beispiel einer Torsionswelleneinrichtung ist in dem U.S. Patent Nr. 4 890 977 offenbart.

**[0003]** Weitere Beispiele von Turbomaschinen mit einstellbaren Leitschaufelnmechanismen sind in GB-A-1 499 531 und US-A-4 720 237 offenbart.

**[0004]** Derzeit verwendete Torsionswelleneinrichtungen umfassen feste Metallwellen, auf welchen Einrichtungen wie zum Beispiel Aussparungen, Schlitze, Einkerbungen, Ansätze und so weiter auf der Außenoberfläche der Welle vorgesehen sind, um Verbindungen mit anderen Einrichtungsteilen, wie zum Beispiel Spannschlössern aufzunehmen oder bereitzustellen. Einige Torsionswellen sind Kurbelwellen mit fest damit verbundenen und zwischen zwei Kurbelarmen angeordneten Kurbeln oder Wellen, und die Kurbelarme sind um eine Rotationsachse drehbar. Da Torsionswellen einen unerwünschten Biegungsvorgang unterliegen können, der sich aus der Triebwerksschwingung ergibt, wurde einige Vollwellen von Gasturbinentriebwerken mit einer in allgemeinen mittigen Befestigung zusätzlich zu den Endbefestigungen versehen, um eine derartige unerwünschte Bewegung der Welle zu verhindern. Torsionswelleneinrichtungen, die Kurbelwellen enthalten, könne keine derartige mittige Befestigung aufweisen. Es wurden Torsionswelleneinrichtungen mit Vollkur-

belwellen nur mit Endbefestigungen verwendet. Es hat sich herausgestellt, dass ein vorzeitiger Verschleiß mit solchen endbefestigten Torsionswellen manchmal innerhalb sehr kurzer Zeitdauer beobachtet wurde. Beispielsweise trat ein derartiger Verschleiß an den vorderen Wellenzapfen und auf hinteren Kugel- bzw. Sphärolagern auf. Mittel zur Einschränkung oder zur Änderung des Auftretens der unerwünschten Bewegung solcher endbefestigter Wellen zum Vermeiden eines vorzeitigen Verschleißes würden die Notwendigkeit einer frühen Reparatur oder Ersetzung von Torsionswellen reduzieren.

**[0005]** Es hat sich herausgestellt, dass ein Verschleiß an einer Form von Volltorsionswellen in einer Gasturbinentriebwerk-Torsionswelleneinrichtung für eine verstellbare Statorleitschaufeleinrichtung eines Axialströmungskompressors aufgrund erster Biegungseigenschwingungsfrequenzen oder erzwungener Reaktion (aufgrund einer Triebwerksunwucht) der Vollwelle auftritt, die in einem bei hoher Drehzahl arbeitenden Triebwerk betrieben wird. Diese Schwingungsmoden, werden durch den inhärenten Einmal-pro-Umdrehung-(1/Umdr.)-Gleichgewichtszustand des Kompressorrotors angeregt. Die erste Biegungsfrequenz einer Vollwelle für einen Typ einer Axialströmungsgasturbinentriebwerks kreuzt die 1/Umdr.-Linie sehr nahe bei der Betriebsdrehzahl des Triebwerks bei maximaler Leistung. Da dieses die Drehzahl ist, bei welcher das Triebwerk den größten Teil seiner Betriebszeit verbringt, wird die Vollwelle angeregt und die Drehkraft ihrer Schwingung bewirkt einen relativ raschen Verschleiß der Vollwelle und/oder zugeordneten Elemente und Unterstützungs-lager.

**[0006]** Eine Technik zur Vermeidung dieses Problems besteht in der Verwendung einer hohlen Welle in der Einrichtung der vorliegenden Erfindung, welche scheinbar die 1/Umdr.-Linien-Durchkreuzung gut über die maximale Triebwerksbetriebsdrehzahl für dieses Triebwerk verschiebt. Gleichzeitig wird die 2/Umdr.-Durchkreuzung der ersten Biegefrequenzmodi auf oder unterhalb der Triebwerksleerlaufdrehzahl gehalten. Eine Hohlwelleneinrichtung bietet eine Flexibilität, die mit den Vollwellenkonstruktion nicht erzielbar ist, so dass sie bei höheren Eigenfrequenzen arbeitet und das Abstimmen der Wellenfrequenz innerhalb der Einschränkungen der Motorbefestigungspunkte und der verfügbaren Hülle ermöglicht.

**[0007]** Die Rotationsachse des Rohres kann durch Anpassen der Konstruktion der Kurbelarme so versetzt werden, dass alle Befestigungspunkte für zugeordnete Betätigungseinrichtungselementen außerhalb des Rohres und von der Hohlwellenoberfläche entfernt liegen. Dieses erfolgt, um sicherzustellen, dass die Integrität und Steifigkeit der Hohlwelle, in diesem Falle ein Rohr, erhalten bleibt, um die Frequenz zu maximieren. Dieses steht im Gegensatz zu

der die herkömmliche Vollwelle verwendenden Einrichtung, in welcher wenigstens ein Teil der Befestigungspunkte innerhalb des Außendurchmessers der Vollwelle liegt, beispielsweise an Einkerbungen oder in die Vollwelle eingearbeiteten Abschnitten. Diese Konstruktion reduziert erheblich die Frequenz der Welle.

**[0008]** Ein exemplarisch ausgewählter Außendurchmesser und eine unterschiedliche Hohlwellenwanddicke sollten bewertet werden, um eine gewünschte Frequenz für die spezielle Triebwerkskonstruktion zu wählen. Es ist gewünscht, die 1/Umdr.-Durchkreuzung so hoch wie möglich zu legen, während gleichzeitig die 2/Umdr.-Durchkreuzung bei oder unter der Triebwerksleerlaufdrehzahl gehalten wird, wie es allgemein vorstehend diskutiert wurde. Triebwerkstests haben jedoch gezeigt, dass ein erzwungener Reaktionsschwingungspegel der Hohlwelle immer noch zu hoch ist, wenn das Triebwerk einen hohen Kernschwingungspegel vergleichbar mit dem Schwingungspegel der selbst erregten Torsionsvollwelle besitzt. Eine durch Komponenten- und Triebwerkstests unterstützte Analyse hat gezeigt, dass die Eigenfrequenz der Torsionswelle von dem Lagerspiel und der erzwingenden Amplitude abhängt. Zu zusätzlich zu berücksichtigenden Faktoren bei der Konstruktion der Torsionswelleneinrichtung zählen die Komplexität des Triebwerksystems schwingungsmodus und die Tatsache, dass die Triebwerksschwingungssignatur leicht zwischen Triebwerken variieren kann. Es ist sehr erwünscht, die Schwingungsanregung der hohlen Torsionswelle und der zugeordneten Einrichtung bei allen Betriebsdrehzahlen und unter allen Betriebsbedingungen zu eliminieren.

**[0009]** Die vorliegende Erfindung stellt in einer Ausführungsform eine ein Rohr mit einer zentralen Achse enthaltende Torsionswelleneinrichtung (Torsionswelleneinrichtung) bereit, die zwischen ersten und zweiten Endwellen an ersten, bzw. zweiten distalen Enden des Rohres zum Bewegen einer Anordnung einstellbarer Elemente angeordnet und fest verbunden ist. Ein hohler Innenraum des Rohres mit einer Länge zwischen dem ersten und zweiten Endwellen ist mit einer ausreichenden Länge eines fließfähigen Trägheitsmaterials und Dämpfungsmedium gefüllt, um während des Betriebs des Triebwerks durch Reibung Schwingungsenergie zu absorbieren. Ein bevorzugtes fließfähiges Trägheitsmaterial ist rundes Stahlschrot. Der hohle Innenraum ist bevorzugt mit einer Menge des Dämpfungsmediums bis zu einem Pegel in einem Bereich zwischen 85 bis 98% des Volumens, und bevorzugter etwa 98% gefüllt. Andere Arten für den Einsatz geeigneten Trägheitsmaterials sind Teilchen oder Pellets, wie zum Beispiel Sand, bzw. kleine Kunststoffkugeln.

**[0010]** Mehrere beabstandete Gabelköpfe sind fest an einer Rohrwand auf einer Außenoberfläche des

Rohres befestigt, das den hohen Innenraum umgibt. Jeder Gabelkopf enthält von der Wandaußenoberfläche weg gerichtet angeordnete Verbindungsmittel, die für eine Verbindung mit einem Betätigungselement zum Bewegen der Anordnung einstellbarer Elemente.

**[0011]** Eine Ausführungsform der Erfindung wird nun im Rahmen eines Beispiels unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen beschrieben, in welchen:

**[0012]** [Fig. 1](#) eine schematische Mittellinienschnittansicht eines Gasturbinentriebwerks mit einer gedämpften hohlen Torsionseinrichtung der vorliegenden Erfindung ist.

**[0013]** [Fig. 2](#) eine graphische Seitenansichtsdarstellung eines Kompressorabschnittes des Gasturbinentriebwerks mit einer verstellbaren Statorleitschaukel-Betätigungseinrichtung ist, welche die gedämpfte hohle Drehmomentwelle (Torsionswelle) in [Fig. 1](#) enthält.

**[0014]** [Fig. 3](#) eine perspektivische graphische Darstellung der gedämpften hohlen Torsionseinrichtung in den [Fig. 1](#) und [Fig. 2](#) ist.

**[0015]** [Fig. 4](#) eine teilweise aufgeschnittene Aufrissdarstellung der gedämpften hohlen Torsionswelleneinrichtung in [Fig. 3](#) ist.

**[0016]** [Fig. 5](#) eine Querschnittsseitendarstellung eines Gabelkopfes auf der gedämpften hohlen Torsionswelleneinrichtung in [Fig. 3](#) und [Fig. 4](#) ist.

**[0017]** [Fig. 6](#) eine Querschnitts-Seitenansichtsdarstellung eines Kugel- bzw. Sphärolagers ist, das ein hinteres Ende der Welle der Torsionswelle in [Fig. 4](#) lagert.

**[0018]** [Fig. 7](#) eine Querschnitts-Seitenansichtsdarstellung eines ausgekleideten Gleitlagers ist, das ein vorderes Ende der Torsionswelle in [Fig. 4](#) lagert.

**[0019]** [Fig. 8](#) eine Querschnittsansicht einer Hohlwelle in [Fig. 3](#) ist, welche den auf einem Satteladapter einer Rohrwand der gedämpften hohlen Torsionswelleneinrichtung in [Fig. 3](#) und [Fig. 4](#) befestigten Gabelkopf darstellt.

**[0020]** [Fig. 1](#) stellt ein exemplarisches Gasturbinentriebwerk **10**, wie zum Beispiel das General Electric LM2500+ Gasturbinentriebwerk dar, das in serieller Ablaufbeziehung einen Kompressor **12**, ein Kerntriebwerk **14**, und Niederdruck- oder Leistungsturbine **16** mit einer ersten Rotorwelle **18**, welche in üblicher Weise mit dem Kompressor **12** verbunden ist, um Energie an diesen zu liefern, enthält, die alle coaxial um eine Längsmittellinienachse **20** angeordnet ist. Eine

Ausgangswelle **52** aus der Leistungsturbine **16** wird zum Antreiben eines elektrischen Generators **50** oder irgendeiner anderen Vorrichtung verwendet. Der Kompressor **12** komprimiert einen Einlassluftstrom **24**, um einen komprimierten Luftstrom **33** für das Kerntriebwerk **14** zu erzeugen, das einen herkömmlichen Hochdruckkompressor (HPC) **34** enthält, welcher wenigstens einen Teil des komprimierten Luftstroms **33** weiter komprimiert und diesen der Brennkammer **36** zuführt. Kraftstoffeinspritzmittel **38** liefern Kraftstoff in die Brennkammer **36**, wo dieser mit dem komprimierten Luftstrom gemischt wird, um Verbrennungsgase **40** zu erzeugen, welche in herkömmlicher Weise einer herkömmlichen Hochdruckturbine (HPT) **42** zugeführt werden. Die HPT **42** ist herkömmlicher Weise mit dem HPC **34** über die erste Rotorwelle **18** verbunden.

**[0021]** Der Kompressor **12** enthält eine verstellbare Eintrittsleitschaukel **29**, gefolgt von einer Vielzahl um den Umfang herum beabstandeter Rotorlaufschaufeln **28** und verstellbaren Statorleitschaufeln (VSV) **30**, die in mehreren Reihen angeordnet sind. Dargestellt sind sieben Reihen der Rotorlaufschaufeln **28** und sieben Reihen der verstellbaren Statorleitschaufeln **30**, die von einem Kompressorgehäuse **32** umgeben sind. Die Statorleitschaufeln **30** leiten den Einlassluftstrom **24** bei dem gewünschten Winkel in die Rotorlaufschaufeln **28**. Die verstellbare Eintrittsleitschaukel **29** und die verstellbaren Statorleitschaufeln **30** leiten den Eintrittsluftstrom **24** in die Rotorlaufschaufeln **28** bei verschiedenen Winkeln in Abhängigkeit von den Motorbetriebsbedingungen, um den Abstand zum Kompressorströmungsabriss zu verbessern und den Kraftstoffwirkungsgrad des Triebwerks zu verbessern. Der Strömungsabrissabstand ist ein herkömmliches Parameter, welcher den Betriebsabstand des Kompressors **12** zur Vermeidung unerwünscht hoher Druckverhältnisse über dem Kompressor **12** bei spezifischen Strömungsraten des komprimierten Luftstroms **33** durch diesen hindurch angibt, welcher zu einem unerwünschten Strömungsabriss des Kompressors **12** führen würde. Das U.S. Patent Nr. 5 281 087 ist hierin durch Bezugnahme, insbesondere bezüglich der Konstruktion und dem Betrieb eines industriellen Gasturbinentriebwerks beinhaltet.

**[0022]** Ferner sind gemäß [Fig. 2](#) die verstellbaren Statorleitschaufeln **30** drehbar auf dem Kompressorgehäuse **32** montiert und werden von Leitschaukelkurbelarmen **25** und Verstellringeinrichtungen **26** betätigt, die auf der Außenseite des Kompressorgehäuses zum Verstellen des Winkels der VSV im Bezug auf die Strömung **24** montiert sind. Die verstellbaren Statorleitschaufeln **30** und die zugeordneten Betätigungsvorrichtungen in einem HPC sind auf dem Gebiet der Gasturbinentriebwerke wie in der die vorgenannte Bezugsstelle dargestellt, allgemein bekannt. Eine Triebwerksteuerung **50**, wie zum Beispiel eine

mechanische oder digital elektronische Steuerung wird dazu verwendet, den Betrieb des Motors **10**, einschließlich der Verstellung der VSVs **30** zu steuern.

**[0023]** In den [Fig. 2](#), [Fig. 3](#) und [Fig. 4](#) ist eine insgesamt bei **60** dargestellte exemplarische Ausführungsform einer schwenkbaren gedämpften hohlen Torsionswelleneinrichtung auf dem Kompressorgehäuse **32** des Kompressors **30** des Triebwerks **10** gezeigt. Obwohl nur eine gedämpfte hohle Torsionswelleneinrichtung **60** dargestellt ist, werden typischerweise zwei auf jeder Seite des Triebwerks oder etwa 180 Grad zueinander in Bezug auf die Längsmittellinie **20** versetzt verwendet. Gemäß einem weiteren kurzen Bezug auf [Fig. 8](#) enthält die Torsionswelleneinrichtung **60** ein hohles Rohr **60**, das in diesem Beispiel in der Form eines Metallrohres mit einer im Wesentlichen zusammenhängenden Rohrwand **66** und Rohrwandaußenoberfläche **68** dargestellt ist, um beispielsweise die strukturelle Integrität aufrecht zu erhalten. Das Rohr **62** besitzt eine Wellenrohrachse **64** und einen hohlen Innenraum **74**.

**[0024]** Gemäß nochmaligem Bezug auf [Fig. 4](#) weist der hohle Innenraum **74** eine axiale Länge  $L$  und ein Volumen  $V$  auf, und ist mit einer ausreichenden Menge an fließfähigen Trägheitsmaterial oder Dämpfungsmedium **70** gefüllt, um Schwingungsenergie durch Reibung während des Betriebs des Motors **10** zu absorbieren. Ein Typ der Dämpfungsmedien **70** sind Pellets und bevorzugt runder Stahlschrot **70** und der hohle Innenraum ist bevorzugt bis zu einem bevorzugten Wert von etwa 98% des Volumens  $V$  mit dem Stahlschrot gefüllt, oder alternativ bis zu einem Wert in dem Bereich zwischen 85% bis 98% des Volumens. Weitere Typen eines zur Verwendung geeigneten Trägheitsmaterials sind Teilchen oder Pellets, wie zum Beispiel Sand bzw. kleine Kunststoffkugeln. Die Dämpfungsmedien **70** und insbesondere der runde Stahlschrot **72** sind in der Elimination der Schwingungsanregung der hohlen Torsionswelle und der zugeordneten Anordnung bei allen Betriebsdrehzahlen und unter allen Betriebsbedingungen sehr effektiv.

**[0025]** Der Stahlschrot **72** oder vergleichbare Dämpfungsmedien innerhalb des Rohres **62** erzeugen eine Dämpfung. Umfangreiche Tests haben gezeigt, dass das Wellenvolumen  $V$  bis zu angenähert 90% mit Schrot **72** gefüllt sein sollte, um eine maximale Dämpfungseffektivität zu erzeugen. Dieses bietet dem Schrot **72** eine ausreichende Relativbewegung, um die Schwingungsenergie zu absorbieren und stellt gleichzeitig sicher, dass der Schrot ausreichend gepackt ist, um einen Kontakt dazwischen zu allen Zeitpunkten zu erzeugen, um eine angemessene Reibung für eine maximale Dämpfungseffektivität zu erzeugen. Der aus Stahl mit einem Edelstahlzustand und einem Härtegrad leicht über dem Grad des Rohrmaterials (SS 321) bestehende Schrot **72** wird bevorzugt. Der Schrotzustand und die Härte sind op-

timiert, um die Verschlechterung und den Verschleiß der Schrotkugeln sowie der Rohrwand **26** zu minimieren. Schrotkugelgrößen mit einem Durchmesser von 0,762 – 2,286 mm (0,030 bis 0,090 Inches) wurden verwendet, und scheinen bezüglich des Dämpfungswirkungsgrades nicht kritisch zu sein. Weitere Typen von Trägheitsmaterial, welche zur Verwendung geeignet sind, sind Teilchen oder Pellets, wie zum Beispiel Sand bzw. kleine Kunststoffkugeln. Der Schrot wird in das Rohr **62** durch eine Stopfenöffnung **79** in einer der nachstehend beschriebenen Endkappen eingefüllt.

**[0026]** Gemäß nochmaligem Bezug auf die [Fig. 3](#) und [Fig. 4](#) ist die Torsionswelleneinrichtung **60** eine Kurbelwelle, wobei die Welle **72** eine einzige Kurbel ist, die fest verbunden mit und zwischen beabstandeten ersten und zweiten Vollmetallendwellen **82** und **84** angeordnet ist, die fest an und bei entsprechenden ersten und zweiten distalen Enden **86** und **88** des Rohres **62** angebracht sind. Die ersten und zweiten Endwellen **82** und **84** besitzen im Wesentlichen runde Querschnitte und sind fest an dem Rohr **62** mittels entsprechender erster und zweiter Endkappen **90** und **92** an den entsprechenden ersten und zweiten distalen Enden **86** und **88** angebracht. Wenigstens eine von den Endwellen besitzt eine entsprechende Wellendrehachse, die gegenüber der Rohrachse **64** versetzt ist. In der exemplarischen Ausführungsform liegen sowohl die ersten, als auch zweiten Endwellen **82** und **84** in einer Linie und definieren somit eine Wellendrehachse **100**, die im Bezug auf die Rohrachse **64** versetzt, angewinkelt und im Wesentlichen in einer Ebene ist. Die Wellendrehachse **100** und die Rohrachse **64** sind nicht parallel.

**[0027]** Die hintere oder zweite Endwelle **84** ist auf einem hinteren Kurbelwellenarm **94** montiert, der integriert mit der zweiten Endkappe **92** verbunden ist, die eine hintere Kurbelarmlänge LA zwischen der Wellendrehachse **100** und der Rohrachse **64** bei der zweiten Endkappe definiert. Die vordere oder erste Endwelle **82** ist direkt auf der ersten Endkappe **90** montiert, die eine vordere Kurbelarmlänge LF zwischen der Wellendrehachse **100** und der Rohrachse **64** bei der ersten Endkappe und einen Abschnitt der ersten Endkappe dazwischen definiert, welcher als ein vorderer Kurbelwellenarm **96** arbeitet. Diese Anordnung ermöglicht, dass das Rohr **62** als eine einzige Kurbel arbeitet, die um die Wellendrehachse **100** zu schwenken ist, und das Anlegen von Drehmoment und das Zuführen von Kraft, um zugeordnete Verstellringe **136** über gemeinsam verwendete Schiebestangen **138** mit einstellbarer Länge zu bewegen, die auf der Rohraußenwandoberfläche **68** angeordnet sind. Die ersten und zweiten Endwellen **82** und **84** sind mit den entsprechenden ersten und zweiten Wellendrehachsen **100** und **102** verbunden, die aus der Rohrachse **64** versetzt sind. Diese Divergenz der Wellendrehachse **100** und der Rohrachse **64** ermög-

licht, dass alle Befestigungspunkte der Verbindungsmittel, wie zum Beispiel die nachstehend beschriebenen Gabelköpfe, welche das Rohr **62** mit den Verstellringen **136** über gemeinsam verwendete Schiebestangen **138** mit einstellbarer Länge verbinden, auf der Rohraußenoberfläche **68** angeordnet werden. Dieses stellt sicher, dass die Integrität und Steifigkeit des Rohres erhalten bleibt, um die Frequenz zu maximieren. Zusätzlich kann der Betrag der Versetzung der Achsen dazu verwendet werden, den Bewegungsbetrag solcher zugeordneter Elemente, wie beispielsweise der Schiebestangen **138** anzupassen.

**[0028]** Gemäß [Fig. 2](#) wird die vordere oder erste Endwelle **82** drehbar durch ein erstes Wellenlager **104** gelagert, welches bevorzugt ein ausgekleideter Gleitlagertyp ist, wie es durch eine ersetzbare Auskleidung **103** dargestellt wird, welche die erste Endwelle **82**, insbesondere in [Fig. 7](#) umgibt. Die hintere oder zweite Endwelle **84** wird drehbar von einem zweiten Wellenlager **108** gelagert, welches bevorzugt ein Kugel- bzw. Sphärolager ist, wie es deutlicher in [Fig. 6](#) dargestellt ist. Die ersten und zweiten Lager **104** und **108** enthalten Basen **110**, die im wesentlichen bündig auf dem Kompressorgehäuse **32** montiert sind, und Lagergehäuse **112**, die im Bezug auf die Basen so positioniert und angewinkelt sind, dass die ersten und zweiten Endwellen **82** und **84**, welche auf einer Linie liegen, und die Wellendrehachse **100** zu der Rohrachse **64** versetzt, angewinkelt und im wesentlichen in einer Ebene sind.

**[0029]** In den [Fig. 2](#), [Fig. 3](#) und [Fig. 4](#) sind mehrere beabstandete Metallgabelköpfe **134** fest an Adaptersätteln **142** mittels Schrauben **144** befestigt dargestellt. Die Adaptersättel **142** sind fest an dem Rohr **62** so angebracht, dass die Gabelköpfe **134** nach außen von der Rohrwandaußenoberfläche **68** in verschiedenen Winkelpositionen um das Rohr herum positioniert sind, um exemplarische Verbindungsmittel für die Verbindung von Verbindungselementen, wie zum Beispiel die Schiebestangen **138** bereitzustellen. Die Verbindungselemente, wie zum Beispiel die Schiebestangen **138**, verbinden die betätigten Vorrichtungen, wie zum Beispiel die VLVs mit der Torsionswelleneinrichtung **60** typischerweise über eine Schiebestange **138** oder irgendein anderes kraftübertragendes Konstruktionsverbindungselement oder Element. Jeder Gabelkopf **134** ist an einem Verstellring **136** von einer der Verstellringeinrichtungen **26** über die Schiebestange **138** mit einstellbarer Länge verbunden, welche manchmal als ein Spannschloss bezeichnet wird. Alle bis auf einen von den Gabelköpfen **134** sind in unterschiedlichen Abständen D gemäß Darstellung in [Fig. 3](#) abgesetzt von und außerhalb der Rohrwandaußenoberfläche **68** nach Bedarf für eine programmierte, kontrollierte oder koordinierte Bewegung der verstellbaren Statorleitschaukeln **30** positioniert. Die Gabelköpfe **134** sind auf den Adaptersätteln **142** montiert, welche bevorzugt an der

Rohrwand **66** durch Verschweißungen **139** entlang der Rohraußenwandoberfläche **68** befestigt sind. Derartige unterschiedliche Abstände **D** werden durch Veränderung der Größe des Adaptersattels **142** erzeugt, wie es detaillierter in [Fig. 3](#) und [Fig. 4](#) dargestellt ist. Weitere Verbindungsmittel, einschließlich einer mechanischen Befestigung, wie zum Beispiel Schrauben und Bolzen, Verkleben, Hartlöten und so weiter können verwendet werden, um die Gabelköpfe **134** an der Rohrwand **66** zu befestigen, wobei solche Faktoren wie der relative Wärmeausdehnungskoeffizient der zu verbindenden Elemente berücksichtigt werden, um eine Trennung oder Rissbildung bei einem Wärmezyklus zu vermeiden. Ein vorderster Gabelkopf **135** ist auf einer Abflachung auf der ersten Endwelle **82** befestigt. Der vorderste Gabelkopf **135** besitzt einen Gewindeschäft **133**, der durch eine Öffnung **131** in der ersten Endwelle **82** hindurch tritt und mit der ersten Endwelle mit einer Mutter **132** auf dem Ende des Schaftes verbunden ist.

**[0030]** Gemäß spezieller Bezugnahme auf [Fig. 8](#) enthält in der exemplarischen Ausführungsform der Erfindung der Gabelkopf **134** ein paar beabstandeter Gabelkopflaschen **137**, welche jeweils eine Gabelkopfföse **140** für die Aufnahme einer Schraube **150** besitzen, um die Schiebestangen **138** zum Betätigen des Verstellrings **136** schwenkbar aufzunehmen. Die Verwendung eines Gabelkopfes mit fester Form mit einem Adapter verstellbarer Größe, wie zum Beispiel einem Sattel, der mit der Außenwandoberfläche verbunden ist, ermöglicht eine leichte Verstellung der Anpassung des Abstandes **D** des Gabelkopfes von dem Rohr zu jedem Verstellring **136**, durch Verändern der Größe des Sattels. Ein derartiger Abstand **D** hängt von der konstruierten, programmierten Bewegung von Stufen der verstellbaren Statorleitschaukelanordnung **n** ab. Zusätzlich ermöglicht die Verwendung von Adaptersätteln **142** mit unterschiedlicher Größe die Herstellung der hohlen Welleneinrichtung der vorliegenden Erfindung, um die herkömmlichen Vollwelleneinrichtungen ohne Änderung in der Konstruktion oder dem Betrieb anderer zugeordneter Elemente zu ändern. Der Gabelkopf **134** besitzt eine Gabelkopfbasis **160**, die an dem Adaptersattel **142** mit Gabelkopfschrauben **144** befestigt ist.

**[0031]** Gemäß nochmaligem Bezug auf [Fig. 2](#) ist ein hydraulisches Linearbetätigungselement **164** bei einem ersten Ende **166** an dem Kompressorgehäuse **32** befestigt und bei einem zweiten Ende **168** an einem der Gabelköpfe **134**, welcher als ein Betätigungsgabelkopf **170** bezeichnet wird, um das Rohr **62** um die Wellendrehachse **100** zu schwenken und die Verstellringe **136** über die Schiebestangen **138** zu betätigen.

### Patentansprüche

1. Gedämpfte Drehmomentwelleneinrichtung

(**60**) zum Betätigen von Vorrichtungen (**30**) an einem Gasturbinentriebwerk (**10**), enthaltend:  
ein hohles Rohr (**62**) mit einer Rohrwand (**66**) mit einer Wandaussenfläche (**68**), die einen geschlossenen hohlen Innenraum (**74**) umgibt und eine Rohrachse (**64**) umschließt,  
vordere und hintere Kurbelarme (**96,94**), die operativ mit der Wand verbunden sind und axial im Abstand von der Rohrachse (**64**) angeordnet sind,  
vordere und hintere Wellen (**82,84**), die mit den vorderen bzw. hinteren Kurbelarmen (**96,94**) fest verbunden sind,  
wobei die vorderen und hinteren Wellen (**82,84**) eine Wellendrehachse (**100**) haben, um die das Rohr schwenkbar ist,  
mehrere im Abstand angeordnete Verbindungsmittel (**134**) zum Verbinden von Verbindungselementen (**138**) mit den betätigten Vorrichtungen, wobei die Verbindungsmittel (**134**) an der Rohrwand (**66**) auf der Rohraussenwand (**68**) befestigt sind, und wobei der geschlossene hohle Innenraum (**74**) ein Volumen (**V**) hat, das mit einer Menge an Dämpfungsmitteln (**70**) ausreichend gefüllt ist, um während des Betriebs des Triebwerkes Schwingungsenergie durch Reibung zu absorbieren.

2. Welleneinrichtung (**60**) nach Anspruch 1, wobei die Menge an Dämpfungsmitteln (**70**) in einem Bereich von etwa zwischen 85%–98% des Volumens (**V**) beträgt.

3. Welleneinrichtung (**60**) nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Dämpfungsmittel (**70**) Stahlschrot (**72**) sind.

4. Welleneinrichtung (**60**) nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei die Verbindungsmittel (**134**) mehrere im Abstand angeordnete Gabelköpfe (**134**) aufweisen, die an der Rohrwand (**66**) auf der Rohraussenwand (**68**) befestigt sind, wobei jeder Gabelkopf in, einem Abstand (**D**) von der Wandaussenfläche (**68**) angeordnet ist für eine Verbindung mit einem Stellglied (**164**) für eine Bewegung mit den Vorrichtungen (**30**).

5. Welleneinrichtung (**60**) nach Anspruch 4, wobei wenigstens einer der Gabelköpfe (**134**) in einem Abstand (**D**) entfernt von der Wandaussenfläche angeordnet ist, der anders ist als die Abstände der anderen Gabelköpfe.

6. Welleneinrichtung (**60**) nach Anspruch 4, wobei ferner Adapter-Sättel (**142**) zwischen jedem der Gabelköpfe (**134**) und der Rohrwand (**66**) vorgesehen sind, wobei die Adapter-Sättel (**142**) an der Rohrwand (**66**) auf der Wandaussenfläche (**68**) und die Gabelköpfe (**134**) auf den Adapter-Sätteln (**142**) befestigt sind.

7. Welleneinrichtung (**60**) nach Anspruch 6, wo-

bei die Adapter-Sätteln (**142**) an der Rohrwand (**66**) angeschweißt sind (**139**).

8. Welleneinrichtung (**60**) nach Anspruch 7, wobei die Gabelköpfe (**134**) an den Adapter-Sätteln (**142**) durch Schrauben (**144**) befestigt sind.

9. Welleneinrichtung (**60**) nach einem der Ansprüche 1 bis 8, wobei ferner ein Kugellagereinrichtung (**108**) vorgesehen ist, die die hintere Welle (**84**) trägt.

10. Welleneinrichtung (**60**) nach Anspruch 9, wobei ferner eine ausgekleidete Gleitlagereinrichtung (**104**) vorgesehen ist, die die vordere Welle (**82**) trägt.

11. Welleneinrichtung (**60**) nach einem der Ansprüche 1 bis 10, wobei die Rohrachse (**64**) und die Wellendrehachse (**100**) nicht parallel sind.

Es folgen 6 Blatt Zeichnungen

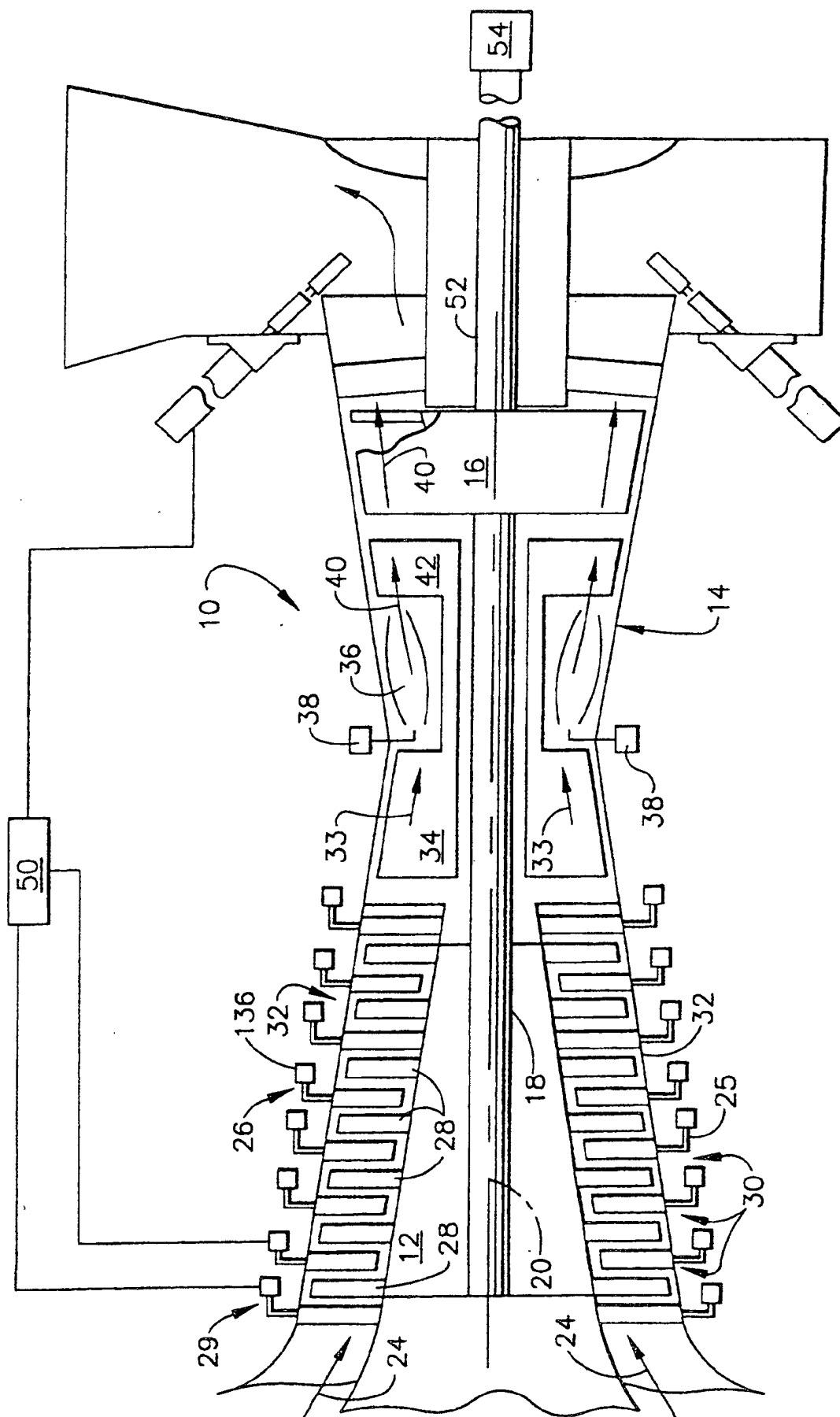


FIG. 1

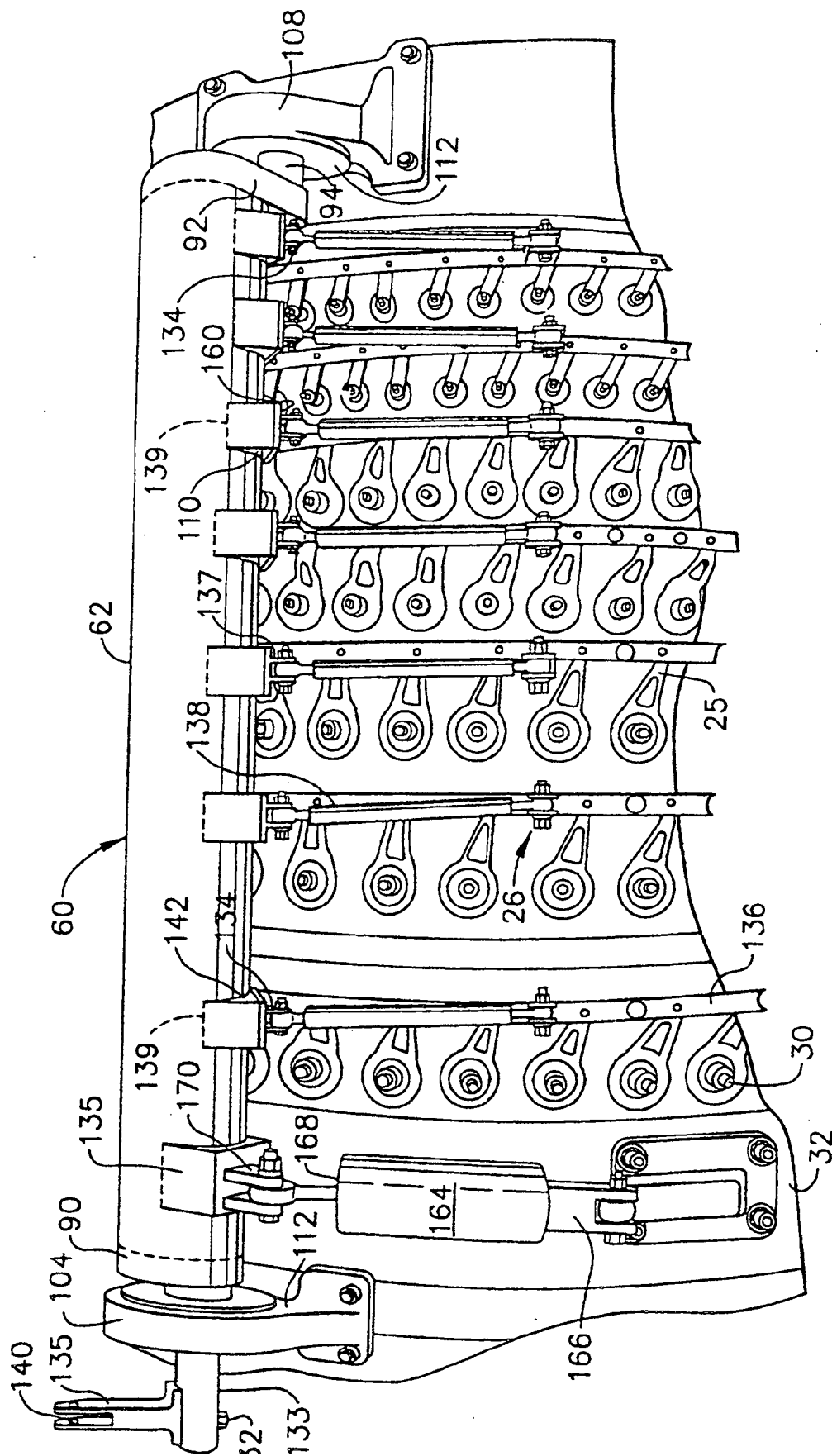


FIG. 2

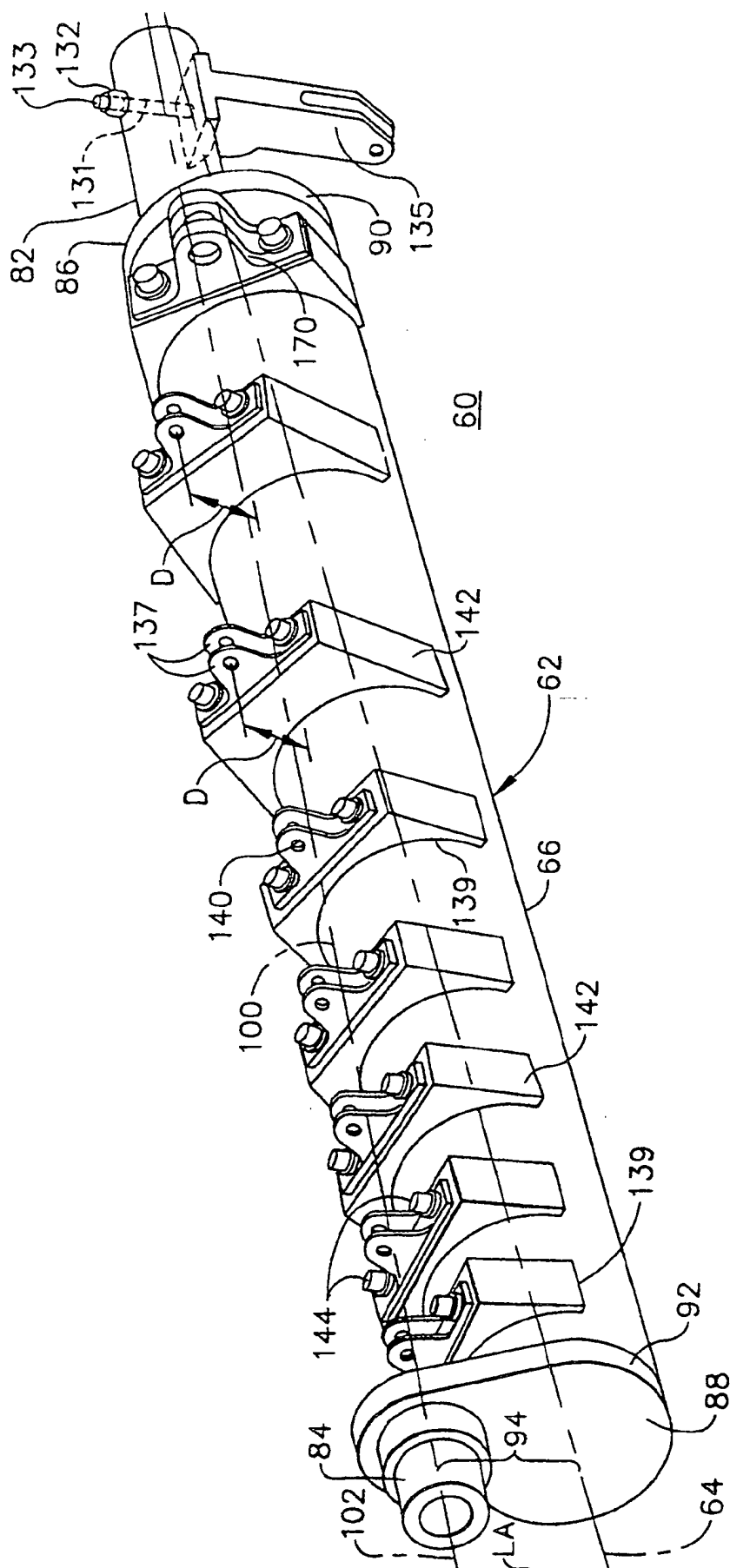


FIG. 3

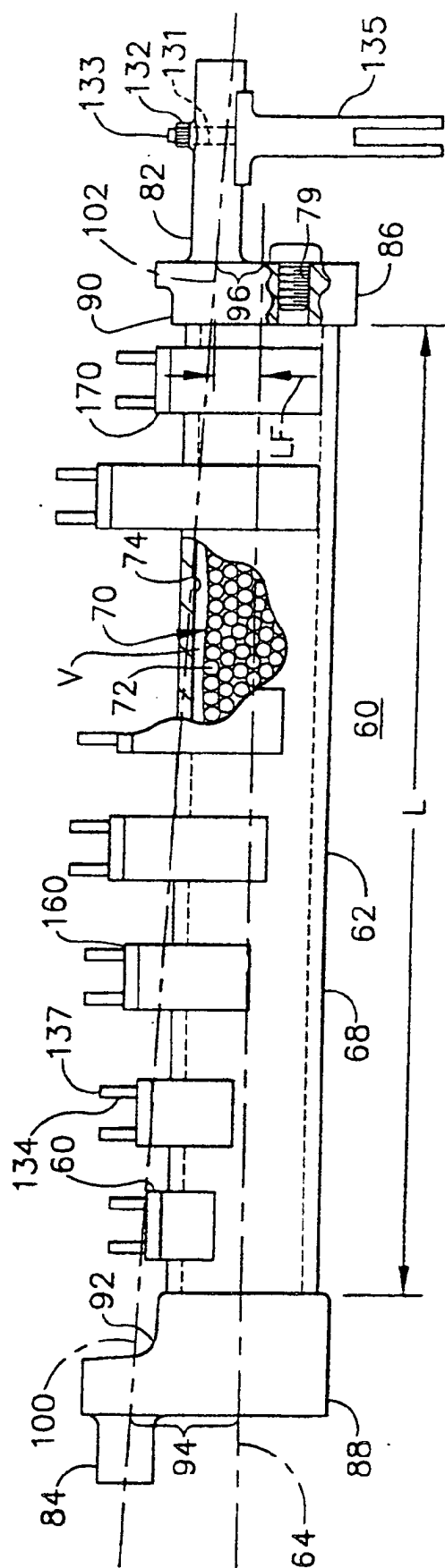


FIG. 4

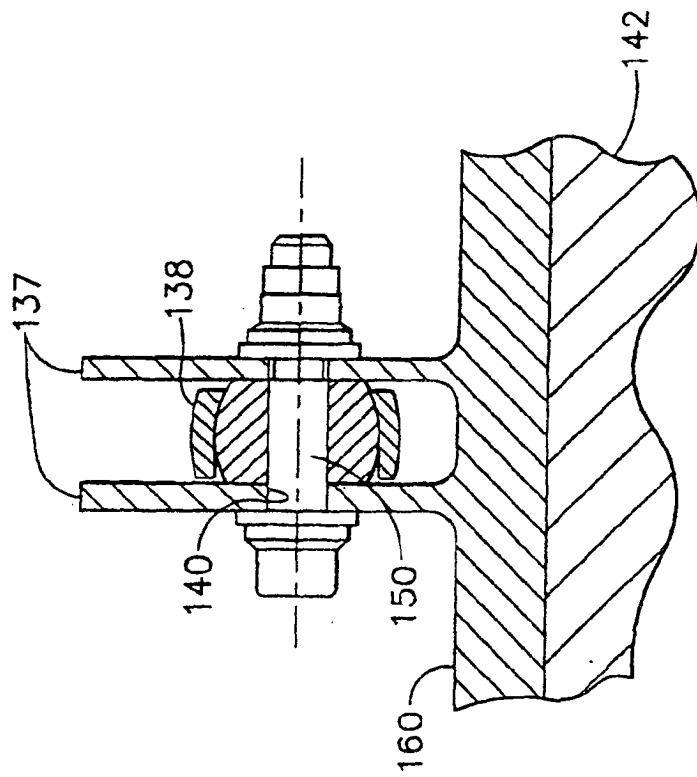


FIG. 5

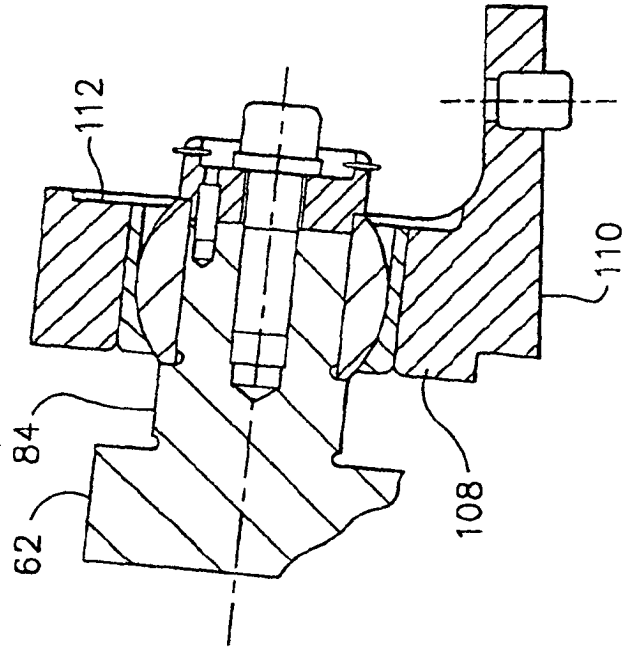


FIG. 6

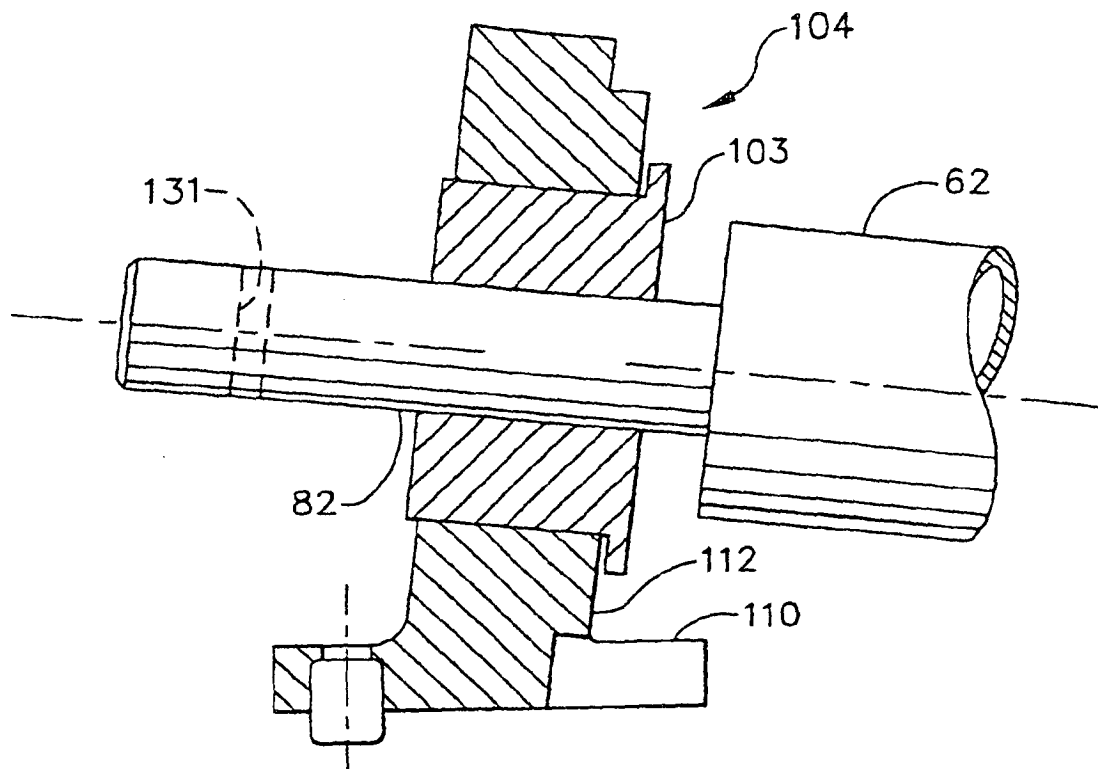


FIG. 7

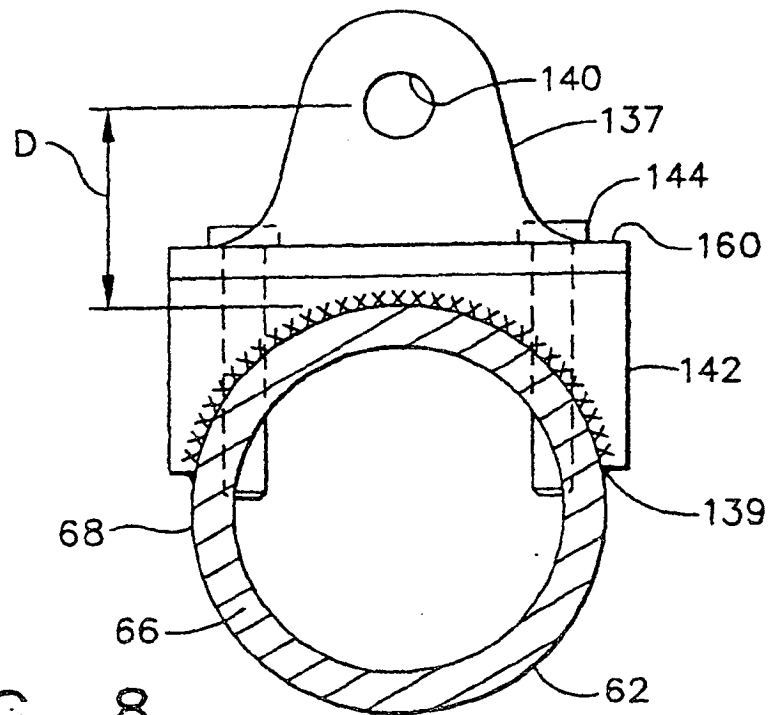


FIG. 8