



(12)

## Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: 10 2014 102 584.9

(51) Int Cl.: F02C 7/232 (2006.01)

(22) Anmeldetag: 27.02.2014

F23D 11/38 (2006.01)

(43) Offenlegungstag: 28.08.2014

F23D 14/48 (2006.01)

(30) Unionspriorität:

13/778,222

27.02.2013 US

(72) Erfinder:

Boardman, Gregory Allen, Greenville, S.C.,  
US; Crothers, Sarah Lori, Greenville, S.C., US;  
Westmoreland, James Harold, Greenville, S.C.,  
US; Chila, Ronald James, Schenectady, N.Y., US

(71) Anmelder:

GENERAL ELECTRIC COMPANY, Schenectady,  
N.Y., US

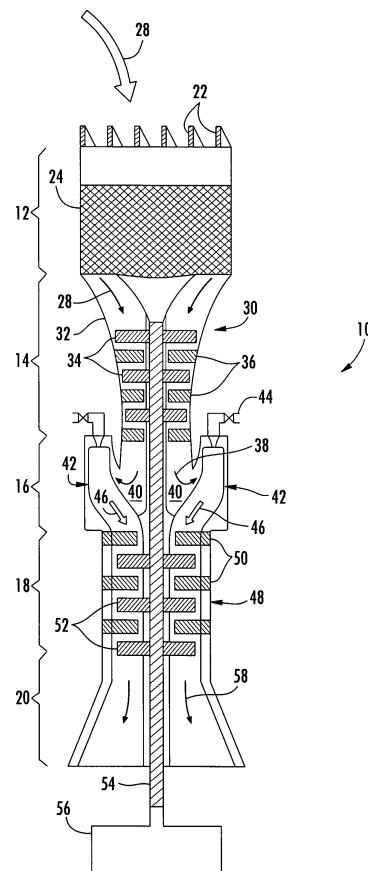
(74) Vertreter:

Rüger, Barthelt & Abel Patentanwälte, 73728,  
Esslingen, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: Brennstoffdüse zur Reduktion der modalen Kopplung der Verbrennungsdynamik

(57) Zusammenfassung: Eine Brennstoffdüse weist einen Mittelkörper auf, der sich axial über eine Länge entlang einer axialen Mittellinie erstreckt. Ein Mantel umgibt den Mittelkörper umfangsmäßig zumindest über einem Abschnitt der Länge des Mittelkörpers. Mehrere Wendelgänge umgeben den Mittelkörper umfangsmäßig zumindest entlang eines Abschnitts der Länge des Mittelkörpers, und jede der Brennstofföffnungen in den einzelnen Wendelgängen weist eine andere Konvektionszeit auf.



**Beschreibung****GEBIET DER ERFINDUNG**

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft allgemein eine Brennstoffdüse zur Reduktion der modalen Kopplung der Verbrennungsdynamik. In bestimmten Ausführungsformen können die Brennstoffdüse und das Verfahren Teil einer Gasturbine oder einer anderen Turbomaschine sein.

**HINTERGRUND DER ERFINDUNG**

**[0002]** Brenner werden allgemein im Betrieb von industriellen und gewerblichen Anlagen verwendet, um Brennstoff zu entzünden und um Verbrennungsgase mit hoher Temperatur und hohem Druck zu erzeugen. Zum Beispiel weisen Gasturbinen und andere Turbo-maschinen in der Regel einen oder mehrere Brenner auf, um Leistung oder Schub zu erzeugen. Eine typische Gasturbine, die verwendet wird, um elektrische Leistung zu erzeugen, weist im vorderen Teil einen axialen Kompressor, im mittleren Teil mehrere Brenner und im hinteren Teil eine Turbine auf. In den Kompressor tritt als Arbeitsfluid Umgebungsluft ein, und der Kompressor lädt das Arbeitsfluid zunehmend mit kinetischer Energie auf, um ein verdichtetes Arbeitsfluid in einem stark energiegeladenen Zustand zu erzeugen. Das verdichtete Arbeitsfluid tritt aus dem Kompressor aus und strömt durch eine oder mehrere Brennstoffdüsen in den Brennern, wo das verdichtete Arbeitsfluid mit Brennstoff vermischt wird, bevor es in einer Brennkammer entzündet wird, um Verbrennungsgase mit einer hohen Temperatur und einem hohen Druck zu erzeugen. Die Verbrennungsgase strömen zur Turbine, wo sie sich ausdehnen, um Arbeit zu erzeugen. Zum Beispiel kann die Ausdehnung der Verbrennungsgase in der Turbine bewirken, dass sich eine mit einem Generator verbundene Welle dreht, wodurch Elektrizität erzeugt wird.

**[0003]** Während des Betriebs kann es zu Verbrennunginstabilitäten kommen, wenn durch den Verbrennungsprozess eine oder mehrere Akustikmoden der Gasturbine angeregt werden. Die angeregten Akustikmoden können zu periodischen Schwingungen von Systemparametern (z. B. Geschwindigkeit, Temperatur, Druck) und Prozessen (z. B. Reaktionsrate, Wärmeübertragungsrate) führen. Zum Beispiel kann ein Mechanismus von Verbrennunginstabilitäten auftreten, wenn die akustischen Druckpulsationen eine Schwankung des Massenstroms an einer Brennstofföffnung bewirken, die dann zu einer Schwankung eines Brennstoff-Luft-Verhältnisses in der Flamme führt. Wenn die resultierende Schwankung des Brennstoff-Luft-Verhältnisses und die akustischen Druckpulsationen ein bestimmtes Phasenverhalten aufweisen (z. B. ungefähr phasengleich sind), kann es aufgrund von Eigenerregung zu einer Rückkopplung kommen. Dieser Mechanismus und das re-

sultierende Ausmaß der Verbrennungsdynamik hängen zumindest zum Teil von der Verzögerung zwischen der Zeit, zu welcher der Brennstoff durch die Brennstoffdüsen eingespritzt wird, und der Zeit ab, zu welcher der Brennstoff den Brennstoffsammelraum erreicht und entzündet wird, die als Konvektionszeit ( $\tau$ ) definiert wird. Je länger die Konvektionszeit ist, desto niedriger ist die Frequenz der Verbrennungsinstabilitäten, und je kürzer die Konvektionszeit ist, desto höher ist die Frequenz der Verbrennungsinstabilitäten.

**[0004]** Die resultierende Verbrennungsdynamik kann die Lebensdauer eines oder mehrerer Brenner und/oder stromabwärts angeordneter Komponenten verkürzen. Daher wäre eine Düse, die die Konvektionszeit variiert, nützlich, um über einem breiten Bereich von Betriebsstufen den thermodynamischen Wirkungsgrad der Brenner zu erhöhen, einen Schutz gegen beschleunigten Verschleiß zu bieten, die Stabilität der Flamme zu fördern und/oder unerwünschte Emissionen zu reduzieren.

**KURZE BESCHREIBUNG DER ERFINDUNG**

**[0005]** Aspekte und Vorteile der Erfindung werden nachstehend in der folgenden Beschreibung erläutert oder können aus der Beschreibung offenbar werden oder können durch die Umsetzung der Erfindung in die Praxis erlernt werden.

**[0006]** Eine Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist eine Düse, die einen Mittelkörper aufweist, der sich über eine Länge axial entlang einer axialen Mittellinie erstreckt. Ein Mantel umgibt den Mittelkörper umfangsmäßig zumindest über einen Abschnitt der Länge des Mittelkörpers. Mehrere Wände erstrecken sich radial zwischen dem Mittelkörper und dem Mantel. Mehrere Wendelgänge, die zumindest zum Teil von dem Mittelkörper, dem Mantel und den mehreren Wänden definiert werden, umgeben den Mittelkörper umfangsmäßig entlang zumindest eines Abschnitts der Länge des Mittelkörpers. Brennstofföffnungen in den einzelnen Wendelgängen weisen in jedem Wendelgang eine andere axiale Position auf.

**[0007]** Die Brennstoffdüse kann ferner einen Brennstoffsammelraum innerhalb des Mittelkörpers aufweisen.

**[0008]** Der Mantel jeder der oben genannten Brennstoffdüsen kann sich von den mehreren Wänden axial stromabwärts erstrecken.

**[0009]** Der Mantel jeder der oben genannten Brennstoffdüsen kann einen Durchmesser definieren, und der Durchmesser nimmt von den mehreren Wänden stromabwärts ab.

**[0010]** Jede Wand jeder der oben genannten Brennstoffdüsen kann einen Winkel von mehr als 30 Grad in Bezug auf die axiale Mittellinie aufweisen.

**[0011]** Jede Wand jeder der oben genannten Brennstoffdüsen kann sich vom Mantel axial stromaufwärts erstrecken.

**[0012]** Jeder Brennstoffkanal jeder der oben genannten Brennstoffdüsen kann durch den Mittelkörper hindurch eine Fluidverbindung mit einem anderen Wendelgang aufweisen.

**[0013]** Die einzelnen Brennstofföffnungen jeder der oben genannten Brennstoffdüsen können eine konische Außenfläche aufweisen, die sich radial in die einzelnen Wendelgänge erstreckt.

**[0014]** Die einzelnen Brennstofföffnungen jeder der oben genannten Brennstoffdüsen können den gleichen Abstand von angrenzenden Wänden aufweisen.

**[0015]** In einer alternativen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung weist eine Brennstoffdüse einen Mittelkörper auf, der sich axial über eine Länge entlang einer axialen Mittellinie erstreckt. Ein Mantel umgibt den Mittelkörper umfangsmäßig zumindest über einen Abschnitt der Länge des Mittelkörpers. Mehrere Wendelgänge umgeben den Mittelkörper umfangsmäßig zumindest entlang eines Abschnitts der Länge des Mittelkörpers, und jede der Brennstofföffnungen in den einzelnen Wendelgängen weist eine andere Konvektionszeit auf.

**[0016]** Der Mantel jeder der oben genannten Brennstoffdüsen kann sich von den mehreren Wendelgängen axial stromabwärts erstrecken.

**[0017]** Der Mantel jeder der oben genannten Brennstoffdüsen kann einen Durchmesser definieren, und der Durchmesser nimmt von den mehreren Wendelgängen stromabwärts ab.

**[0018]** Jeder Wendelgang jeder der oben genannten Brennstoffdüsen kann einen Winkel von mehr als 30 Grad in Bezug auf die axiale Mittellinie aufweisen.

**[0019]** Jeder Wendelgang jeder der oben genannten Brennstoffdüsen kann vom Mantel axial stromaufwärts verlaufen.

**[0020]** Die einzelnen Brennstofföffnungen jeder der oben genannten Brennstoffdüsen können eine konische Außenfläche aufweisen, die sich radial in die einzelnen Wendelgänge erstreckt.

**[0021]** Die vorliegende Erfindung kann auch eine Gasturbine mit einem Kompressionsabschnitt, einem Verbrennungsabschnitt stromabwärts vom Kompres-

sionsabschnitt und einem Turbinenabschnitt stromabwärts vom Verbrennungsabschnitt aufweisen. Eine Brennstoffdüse befindet sich im Verbrennungsabschnitt, und mehrere Wendelgänge verlaufen axial in der Brennstoffdüse. Brennstofföffnungen in den einzelnen Wendelgängen weisen jeweils eine andere Konvektionszeit auf.

**[0022]** Die Gasturbine kann ferner einen Mantel aufweisen, der die mehreren Wendelgänge umfangsmäßig umgibt, wobei sich der Mantel axial von den mehreren Wendelgängen in Stromabwärtsrichtung erstreckt.

**[0023]** Die Gasturbine jeder der oben genannten Arten kann ferner einen Mantel aufweisen, der die mehreren Wendelgänge umfangsmäßig umgibt, wobei der Mantel einen Durchmesser definiert und der Durchmesser von den mehreren Wendelgängen aus stromabwärts abnehmen kann.

**[0024]** Die Gasturbine jeder der oben genannten Arten kann ferner einen Mantel aufweisen, der die mehreren Wendelgänge umfangsmäßig umgibt, wobei jeder Wendelgang axial vom Mantel aus stromaufwärts verlaufen kann.

**[0025]** Die einzelnen Brennstofföffnungen jeder der oben genannten Gasturbinen können eine konische Außenfläche aufweisen, die sich radial in die einzelnen Wendelgänge erstreckt.

**[0026]** Der Fachmann wird nach dem Lesen der Beschreibung die Merkmale und Aspekte dieser und anderer Ausführungsformen besser würdigen können.

#### KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

**[0027]** Der Fachmann erhält eine vollständige und erklärende Offenbarung der vorliegenden Erfindung einschließlich ihrer besten Ausführungsform in der weiteren Beschreibung unter Bezugnahme auf die begleitenden Figuren, in denen:

**[0028]** **Fig. 1** eine vereinfachte seitliche Querschnittsdarstellung eines Beispiels für eine Gasturbine gemäß verschiedenen Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung ist;

**[0029]** **Fig. 2** eine vereinfachte seitliche Querschnittsdarstellung eines Beispiels für einen Brenner gemäß verschiedenen Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung ist;

**[0030]** **Fig. 3** ist eine perspektivische Darstellung einer Brennstoffdüse gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist;

**[0031]** **Fig. 4** eine seitliche Querschnittsdarstellung der in **Fig. 3** dargestellten Brennstoffdüse ist; und

**[0032]** Fig. 5 eine seitliche Querschnittsdarstellung eines Beispiels für einen Wendelgang und eine Brennstofföffnung ist, die in Fig. 3 und Fig. 4 dargestellt sind.

#### AUSFÜHRLICHE BESCHREIBUNG DER ERFINDUNG

**[0033]** Nun wird ausführlich auf vorgelegte Ausführungsformen der Erfindung Bezug genommen, für die eines oder mehrere Beispiele in den begleitenden Zeichnungen dargestellt sind. Die ausführliche Beschreibung verwendet Zahlen und Buchstaben zur Bezeichnung, um auf Merkmale in den Zeichnungen Bezug nehmen zu können. Gleiche oder ähnliche Bezeichnungen in den Zeichnungen und der Beschreibung werden verwendet, um gleiche oder ähnliche Teile der Erfindung zu benennen. Wie hierin verwendet, können die Begriffe „erster, erste, erstes“, „zweiter, zweite, zweites“ und „dritter, dritte, drittes“ austauschbar verwendet werden, um eine Komponente von der anderen zu unterscheiden, und sollen keinen Ort und keine Wichtigkeit der einzelnen Komponenten angeben. Die Begriffe „stromaufwärts“, „stromabwärts“, „radial“ und „axial“ bezeichnen die relative Richtung in Bezug auf einen Fluidstrom in einem Fluidweg. Zum Beispiel bezeichnet „stromaufwärts“ die Richtung, aus der das Fluid kommt, und „stromabwärts“ bezeichnet die Richtung, in die das Fluid strömt. Ebenso bezeichnet „radial“ die relative Richtung, die im Wesentlichen senkrecht ist zum Fluidstrom, und „axial“ bezeichnet die relative Richtung, die im Wesentlichen parallel ist zum Fluidstrom.

**[0034]** Jedes Beispiel wird zur Erläuterung der Erfindung, aber nicht zur Beschränkung der Erfindung angegeben. In der Tat wird es für einen Fachmann naheliegend sein, dass Modifikationen und Variationen an der vorliegenden Erfindung vorgenommen werden können, ohne von ihrem Bereich oder Gedanken abzuweichen. Zum Beispiel können Merkmale, die als Teil einer Ausführungsform dargestellt oder beschrieben sind, in einer anderen Ausführungsform verwendet werden, um wiederum eine andere Ausführungsform zu ergeben. Somit soll die vorliegende Erfindung solche Modifikationen und Variationen abdecken, die im Bereich der beigefügten Ansprüche und deren Äquivalenten liegen.

**[0035]** Verschiedene Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung beinhalten eine Brennstoffdüse zur Reduktion der modalen Kopplung einer Verbrennungsdynamik. Die Brennstoffdüse weist im Allgemeinen mehrere Wendelgänge auf, die axial in der Brennstoffdüse verlaufen, wobei jeder Wendelgang mindestens eine Brennstofföffnung aufweist. In bestimmten Ausführungsformen kann die Brennstoffdüse aufweisen: einen Mittelkörper, einen Mantel, der zumindest einen Abschnitt des Mittelkörpers umfangsmäßig umgibt, und/oder mehrere Wände, die

sich radial zwischen dem Mittelkörper und dem Mantel erstrecken, um die Wendelgänge zumindest zum Teil zu definieren. Jede Brennstofföffnung kann eine andere axiale Position in den jeweiligen Wendelgängen aufweisen, so dass jede Brennstofföffnung eine andere Konvektionszeit aufweist. Die unterschiedlichen Konvektionszeiten verändern die Frequenz und/oder die Amplitudenbeziehung zwischen den Düsen und/oder den Brennern, wodurch die Kohärenz des Verbrennungssystems als Ganzes reduziert wird, was etwaige Kopplungen zwischen den Brennstoffdüsen und/oder Brennern verkleinert. Wie hierin verwendet, bezeichnet Kohärenz die Stärke der linearen Beziehung zwischen zwei (oder mehr) dynamischen Signalen, die stark vom Grad der gegenseitigen Frequenzüberschneidung beeinflusst wird. Infolgedessen können verschiedene Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung die Fähigkeit des Brennerklangs, eine Vibrationsantwort in stromabwärts gelegenen Komponenten zu erzeugen, reduzieren. Obwohl Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung für die Zwecke der Erläuterung allgemein im Kontext der Verbrennungsdynamik in einer Gasturbine beschrieben werden, wird ein Fachmann ohne Weiteres erkennen, dass Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung auf jede Verbrennungsdynamik angewendet werden können und nicht auf eine Gasturbine beschränkt sind, wenn in den Ansprüchen nicht ausdrücklich etwas anderes angegeben ist.

**[0036]** Nun wird auf die Zeichnungen Bezug genommen, wobei gleiche Bezugszahlen in allen Figuren gleiche Elemente bezeichnen, und wo Fig. 1 eine vereinfachte seitliche Querschnittsdarstellung eines Beispiels für eine Gasturbine 10 ist, in der verschiedene Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung verkörpert sein können. Wie dargestellt, kann die Gasturbine 10 allgemein einen Einlassabschnitt 12, einen Verdichtungsabschnitt 14, einen Verbrennungsabschnitt 16, einen Turbinenabschnitt 18 und einen Austrittsabschnitt 20 aufweisen. Der Einlassabschnitt 12 kann eine Reihe von Filtern 22 und eine oder mehrere Fluidkonditionierungsvorrichtungen 24 aufweisen, um ein Arbeitsfluid (z. B. Luft) 28, das in die Gasturbine 10 eintritt, zu reinigen, zu erwärmen, zu kühlen, zu befeuchten, zu entfeuchten und/oder anderweitig zu konditionieren. Das gereinigte und konditionierte Arbeitsfluid 28 strömt zu einem Kompressor 30 im Verdichtungsabschnitt 14. Ein Kompressorgehäuse 32 schließt das Arbeitsfluid 28 ein, während abwechselnde Stufen aus rotierenden Blättern 34 und stationären Leitblechen 36 das Arbeitsfluid 28 zunehmend beschleunigen und umlenken, um einen kontinuierlichen Strom aus verdichtetem Arbeitsfluid 38 mit einer höheren Temperatur und einem höheren Druck zu erzeugen.

**[0037]** Der Hauptteil des verdichten Arbeitsfluids 38 strömt durch einen Auslasssammelraum 40 des

Kompressors zu einem oder mehreren Brennern **42** im Verbrennungsabschnitt **16**. Eine Kraftstoffquelle **44**, die mit den einzelnen Brennern **42** in Fluidverbindung steht, liefert Brennstoff zu den einzelnen Brennern **42**. Mögliche Brennstoffe sind zum Beispiel Hochofengas, Koksofengas, Erdgas, Methan, verdampftes verflüssigtes Erdgas (LNG), Wasserstoff, Syngas, Butan, Propan, Olefine, Diesel, Petroleumdestillate und deren Kombinationen. Das verdichtete Arbeitsfluid **38** wird mit dem Brennstoff vermischt und entzündet, um Verbrennungsgase **46** mit einer höheren Temperatur und einem höheren Druck zu erzeugen.

**[0038]** Die Verbrennungsgase **46** strömen entlang eines Heißgaswegs durch eine Turbine **48** im Turbinenabschnitt **18**, wo sie sich ausdehnen, um Arbeit zu erzeugen. Genauer können die Verbrennungsgase **46** durch abwechselnde Stufen aus stationären Düsen **50** und Laufschaufeln **52** in der Turbine **48** strömen. Die stationären Düsen **50** leiten die Verbrennungsgase **46** auf die nächste Stufe aus Laufschaufeln **52** um, und die Verbrennungsgase **46** dehnen sich aus, wenn sie über die Laufschaufeln **52** strömen, wodurch sie bewirken, dass die Laufschaufeln **52** sich drehen. Die Laufschaufeln **52** können mit einer Welle **54** verbunden sein, die mit dem Kompressor **30** verbunden ist, so dass die Drehung der Welle **54** den Kompressor **30** antreibt, um das verdichtete Arbeitsfluid **38** zu erzeugen. Alternativ oder zusätzlich dazu kann die Welle **54** mit einem Generator **56** verbunden sein, um Elektrizität zu erzeugen. Abgase **58** aus dem Turbinenabschnitt **18** strömen durch den Austrittsabschnitt **20**, bevor sie in die Umgebung entlassen werden.

**[0039]** Die Brenner **42** können zu jeder Art von Brenner gehören, die in der Technik bekannt ist, und die vorliegende Erfindung ist nicht auf irgendeine bestimmte Brennerkonstruktion beschränkt, solange in den Ansprüchen nicht ausdrücklich etwas anderes angegeben ist. **Fig. 2** ist eine vereinfachte seitliche Querschnittsdarstellung eines Beispiels für einen Brenner **42** gemäß verschiedenen Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung. Wie in **Fig. 2** dargestellt, können ein Brennergehäuse **60** und eine Endabdeckung **62** kombiniert sein, um das verdichtete Arbeitsfluid **38**, das zum Brenner **42** strömt, einzuschließen. Eine Kappenanordnung **64** kann sich radial über zumindest einen Abschnitt des Brenners **42** erstrecken, und eine oder mehrere Brennstoffdüsen **66** können radial über der Kappenanordnung **64** angeordnet sein, um Brennstoff zu einer Brennkammer **70** stromabwärts von der Kappenanordnung **64** zu liefern. Ein Einsatz **72** kann zumindest einen Abschnitt der Brennkammer **70** umfangsmäßig umgeben, und ein Übergangskanal **74** stromabwärts vom Einsatz **72** kann die Brennkammer **70** mit dem Eingang der Turbine **48** verbinden. Eine Aufprallhülse **76** mit Durchflusslöchern **78** kann den Übergangskanal

**74** umfangsmäßig umgeben, und eine Durchflusshülse **80** kann den Einsatz **72** umfangsmäßig umgeben. Auf diese Weise kann das verdichtete Arbeitsfluid **38** durch die Durchflusslöcher **78** in der Aufprallhülse **76** treten, um durch einen Ringkanal **82** außerhalb des Übergangskanals **74** und des Einsatzes **72** zu strömen. Wenn das verdichtete Arbeitsfluid **38** die Endabdeckung **62** erreicht, wechselt das verdichtete Arbeitsfluid **38** die Richtung und strömt durch die Brennstoffdüsen **66** und in die Brennkammer **70**.

**[0040]** **Fig. 3** ist eine perspektivische Darstellung eines Beispiels für eine Brennstoffdüse **66** innerhalb des Bereichs verschiedener Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung, und **Fig. 4** ist eine seitliche Querschnittsdarstellung der in **Fig. 3** dargestellten Brennstoffdüse **66**. Wie in **Fig. 3** und **Fig. 4** dargestellt, kann die Brennstoffdüse **66** einen Mittelkörper **90** aufweisen, der sich über eine Länge **94** entlang einer axialen Mittellinie **92** der Brennstoffdüse **66** erstreckt. Der Mittelkörper **90** kann mit der Endabdeckung **62** verbunden sein und/oder durch diese hindurch verlaufen, um eine Fluidverbindung von der Endabdeckung **62**, durch die Kappenanordnung **64** und in die Brennkammer **70** einzurichten. Zum Beispiel kann der Mittelkörper **90** eine oder mehrere Fluidsammelräume aufweisen, die Brennstoff, Verdünnungsmittel und/oder andere Additive von der Endabdeckung **62** in die Brennkammer **70** strömen lassen. In der speziellen Ausführungsform, die in **Fig. 3** und **Fig. 4** dargestellt ist, erstreckt sich ein Brennstoffsammelraum **96** axial innerhalb des Mittelkörpers **90** entlang der Länge **94**, um Brennstoff durch die Brennstoffdüse **66** zu liefern.

**[0041]** Die Brennstoffdüse **66** kann auch einen Mantel **100** aufweisen, der den Mittelkörper **90** über zumindest einen Abschnitt der Länge **94** des Mittelkörpers **90** umfangsmäßig umgibt. Der Mantel definiert einen Durchmesser **102** innerhalb des Mantels **100**. Mehrere Wände **104** können sich radial zwischen dem Mittelkörper **90** und dem Mantel **100** erstrecken. Auf diese Weise können der Mittelkörper **90**, der Mantel **100** und die Wände **104** gemeinsam zumindest zum Teil mehrere Wendelgänge **106** definieren, die den Mittelkörper **90** umfangsmäßig zumindest entlang eines Abschnitts der Länge **94** des Mittelkörpers **90** umgeben. Die Wendelgänge **106** wirbeln das verdichtete Arbeitsfluid **38** auf, das durch die Brennstoffdüse **66** strömt. In der speziellen Ausführungsform, die in **Fig. 3** und **Fig. 4** dargestellt ist, kann sich jede Wand **104** und/oder jeder Wendelgang **106** vom Mantel **100** aus axial stromaufwärts erstrecken, damit das verdichtete Arbeitsfluid **38** in der Brennstoffdüse **66** empfangen oder aufgefangen werden kann. Alternativ oder zusätzlich dazu kann sich der Mantel **100** von den Wänden **104** und/oder den Wendelgängen **106** axial stromabwärts erstrecken, und der Durchmesser **102** des Mantels **100** kann von den Wänden **104** und/oder den Wendelgän-

gen **106** stromabwärts abnehmen, um einen anhaltenden Wirbel des verdichteten Arbeitsfluids **38**, das aus der Brennstoffdüse **66** tritt und in die Brennkammer **70** eintritt, zu verstärken.

**[0042]** Die Anzahl und die Steigungswinkel der Wände **104** und der Wendelgänge **106** können variieren, um die Mischungslänge insgesamt und/oder die Stärke des Austrittswirbels zu ändern. In der speziellen Ausführungsform, die in **Fig. 3** und **Fig. 4** dargestellt sind, weist die Brennstoffdüse **66** beispielsweise zwölf Wände **104** auf, die zwölf Wendelgänge **106** bilden, die in einem Winkel von ungefähr 50 Grad um den Mittelkörper **90** herum angeordnet sind. In anderen Ausführungsformen, die im Bereich der vorliegenden Erfindung liegen, kann die Anzahl der Wände zwischen 3 und 15 oder mehr variieren, und der Steigungswinkel kann zwischen etwa 10 Grad und etwa 80 Grad variieren. Jedoch sind Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung nicht auf irgendeine bestimmte Anzahl von Wänden **104** und/oder Wendelgängen **106** und/oder Steigungswinkeln beschränkt, solange in den Ansprüchen nicht ausdrücklich etwas anderes angegeben ist.

**[0043]** Wie in **Fig. 3** und **Fig. 4** dargestellt ist, weist jeder Wendelgang **106** mindestens eine Brennstofföffnung **108** auf, um eine Fluidverbindung vom Brennstoffsammelraum **96** durch den Mittelkörper **90** und in jeden einzelnen Wendelgang **106** einzurichten. Die Brennstofföffnungen **108** erlauben es, den Brennstoff **109** in jeden einzelnen Brennstoffkanal **106** einzuspritzen und mit dem verdichteten Arbeitsfluid **38** zu verwirbeln, um eine Durchmischung des Brennstoffs **109** und des verdichteten Arbeitsfluids **38** zu verstärken, bevor diese die Brennkammer **70** erreichen. Die Konvektionszeit ( $\tau$ ), die mit den einzelnen Brennstofföffnungen **108** assoziiert ist, ist direkt proportional zu der Strecke, die der Brennstoff **109** zurücklegt, bevor er die Brennkammer **70** erreicht. Diese Strecke ist ihrerseits eine Funktion des Steigungswinkels (d. h. der Länge) jedes Wendelgangs **106** und der axialen Position der einzelnen Brennstofföffnungen **108** in der Brennstoffdüse **66**. Eine kürzere Konvektionszeit reduziert das Maß der Durchmischung zwischen dem Brennstoff **109** und dem verdichteten Arbeitsfluid **38**, die durch die Wendelgänge **106** strömen. Eine längere Konvektionszeit verstärkt die Durchmischung zwischen dem Brennstoff **109** und dem verdichteten Arbeitsfluid **38**, kann aber auch die Reaktivität des Brennstoffs **109** verstärken und Bedingungen schaffen, die zu einer vorzeitigen Zündung führen können, bevor der Brennstoff **109** die Brennkammer **70** erreicht.

**[0044]** In der speziellen Ausführungsform, die in **Fig. 3** und **Fig. 4** dargestellt ist, weist jede einzelne Brennstofföffnung **108** im jeweiligen Wendelgang **106** eine andere axiale Position auf, was eine entsprechende unterschiedliche Konvektionszeit für je-

de Brennstofföffnung **108** erzeugt. Die unterschiedlichen Konvektionszeiten führen zu einer entsprechenden unterschiedlichen Frequenz für jeden Wendelgang **108**. Infolgedessen sind die Frequenzen, die von der Brennstoffdüse **66** erzeugt werden, diffuser und weisen kleinere Amplituden auf, ähnlich wie weißes Rauschen, wodurch die Bedingungen, die zu Verbrennungsinstabilitäten führen, reduziert werden.

**[0045]** **Fig. 5** ist eine seitliche Querschnittsdarstellung eines Beispiels für einen Wendelgang und eine Brennstofföffnung, die in **Fig. 3** und **Fig. 4** dargestellt sind. Wie dargestellt, kann die Brennstofföffnung **108** gleich weit von angrenzenden Wänden **104** angeordnet sein und kann eine konische Außenfläche **110** aufweisen, die sich radial in jeden Wendelgang **106** erstreckt. Infolgedessen kann die Kombination des Wendelgangs **106** und der konischen Außenfläche **110** einen doppelten Wirbel des verdichteten Arbeitsfluids **38**, das durch die Wendelgänge **106** strömt, erzeugen, wodurch die Durchmischung mit dem Brennstoff **109**, der in den Wendelgang **106** eingespritzt wird, verstärkt wird. In speziellen Ausführungsformen können die Brennstofföffnungen **108** in einem zusammengesetzten Winkel im Wendelgang **106** gewinkelt sein. Alternativ oder zusätzlich dazu können die Wendelgänge **106** Turbulatoren aufweisen, um den laminaren Strom aus dem Brennstoff **109** und verdichteten Arbeitsfluid **38** durch die Brennstoffdüse **66** aufzubrechen.

**[0046]** Die verschiedenen Ausführungsformen, die mit Bezug auf **Fig. 1–Fig. 5** beschrieben und dargestellt werden, können einen oder mehrere der folgenden Vorteile gegenüber heutigen Brennern **42** bieten. Im Einzelnen reduzieren die Frequenzen mit den diffuseren und kleineren Amplituden, die mit den Wendelgängen **106** assoziiert sind, die Bedingungen, die zu Verbrennungsinstabilitäten führen, wodurch die Kohärenz und/oder modale Kopplung der Verbrennungsdynamik reduziert wird. Infolgedessen können die verschiedenen hierin beschriebenen Ausführungsformen den thermodynamischen Wirkungsgrad verstärken, die Stabilität der Flamme fördern und/oder unerwünschte Emissionen über einem breiten Bereich von Betriebsstufen verringern, ohne sich auf die Lebensdauer stromabwärts angeordneter Komponenten im Heißgasweg auszuwirken.

**[0047]** Diese Beschreibung verwendet Beispiele, um die Erfindung, einschließlich der besten Weise zu ihrer Ausführung, zu beschreiben und um den Fachmann in die Lage zu versetzen, die Erfindung in die Praxis umzusetzen, wozu auch die Herstellung und Verwendung von Vorrichtungen und Systemen und die Ausführung enthaltener Verfahren gehören. Der schutzwürdige Bereich der Erfindung wird von den Ansprüchen definiert und kann andere Beispiele einschließen, die für den Fachmann naheliegend sein mögen. Diese anderen Beispiele sollen im Bereich

der Ansprüche liegen, wenn sie strukturelle Elemente aufweisen, die sich vom Wortlaut der Ansprüche nicht unterscheiden, oder wenn sie gleichwertige strukturelle Elemente aufweisen, die sich vom Wortlaut der Ansprüche nur unerheblich unterscheiden.

**[0048]** Eine Brennstoffdüse weist einen Mittelkörper auf, der sich axial über eine Länge entlang einer axialen Mittellinie erstreckt. Ein Mantel umgibt den Mittelkörper umfangsmäßig zumindest über einem Abschnitt der Länge des Mittelkörpers. Mehrere Wendelgänge umgeben den Mittelkörper umfangsmäßig zumindest entlang eines Abschnitts der Länge des Mittelkörpers, und jede der Brennstofföffnungen in den einzelnen Wendelgängen weist eine andere Konvektionszeit auf.

### Patentansprüche

1. Kraftstoffdüse, aufweisend:
  - a. einen Mittelkörper, der sich axial über eine Länge entlang einer axialen Mittellinie erstreckt;
  - b. einen Mantel, der den Mittelkörper umfangsmäßig zumindest über einen Abschnitt der Länge des Mittelkörpers umgibt;
  - c. mehrere Wände, die sich radial zwischen dem Mittelkörper und dem Mantel erstrecken;
  - d. mehrere Wendelgänge, die zumindest zum Teil von dem Mittelkörper, dem Mantel und den mehreren Wänden definiert werden, wobei jeder Wendelgang den Mittelkörper umfangsmäßig zumindest entlang eines Abschnitts der Länge des Mittelkörpers umgibt; und
  - e. eine Brennstofföffnung in jedem einzelnen Wendelgang, wobei jeder Wendelgang eine andere axiale Position aufweist.
2. Brennstoffdüse nach Anspruch 1, ferner einen Brennstoffsammelraum innerhalb des Mittelkörpers aufweisend.
3. Brennstoffdüse nach Anspruch 1, wobei sich der Mantel von den mehreren Wänden aus axial stromabwärts erstreckt.
4. Brennstoffdüse nach Anspruch 1, wobei der Mantel einen Durchmesser definiert und der Durchmesser von den mehreren Wänden aus stromabwärts abnimmt.
5. Brennstoffdüse nach Anspruch 1, wobei jede Wand einen Winkel von mehr als 50 Grad in Bezug auf die axiale Mittellinie aufweist; und/oder wobei sich jede Wand vom Mantel aus axial stromaufwärts erstreckt.
6. Brennstoffdüse nach Anspruch 1, wobei jede Brennstofföffnung eine Fluidverbindung durch den Mittelkörper hindurch in einen anderen Wendelgang bietet.
7. Brennstoffdüse nach Anspruch 1, wobei jede Brennstofföffnung eine konische Außenfläche aufweist, die sich radial in die einzelnen Wendelgänge erstreckt.
8. Brennstoffdüse nach Anspruch 1, wobei jede Brennstofföffnung von angrenzenden Wänden gleich weit entfernt ist.
9. Brennstoffdüse, aufweisend:
  - a. einen Mittelkörper, der sich axial über eine Länge entlang einer axialen Mittellinie erstreckt;
  - b. einen Mantel, der den Mittelkörper umfangsmäßig zumindest über einen Abschnitt der Länge des Mittelkörpers umgibt;
  - c. mehrere Wendelgänge, die den Mittelkörper umfangsmäßig zumindest über einem Abschnitt der Länge des Mittelkörpers umgeben; und
  - d. eine Brennstofföffnung in jedem einzelnen Wendelgang, wobei jede Brennstofföffnung eine andere Konvektionszeit aufweist.
10. Gasturbine, aufweisend:
  - a. einen Verdichtungsabschnitt;
  - b. einen Verbrennungsabschnitt stromabwärts vom Verdichtungsabschnitt;
  - c. einen Turbinenabschnitt stromabwärts vom Verbrennungsabschnitt;
  - d. eine Brennstoffdüse im Verbrennungsabschnitt;
  - e. mehrere Wendelgänge, die axial in der Brennstoffdüse verlaufen; und
  - f. eine Brennstofföffnung in jedem einzelnen Wendelgang, wobei jede Brennstofföffnung eine andere Konvektionszeit aufweist.

Es folgen 5 Seiten Zeichnungen

## Anhängende Zeichnungen

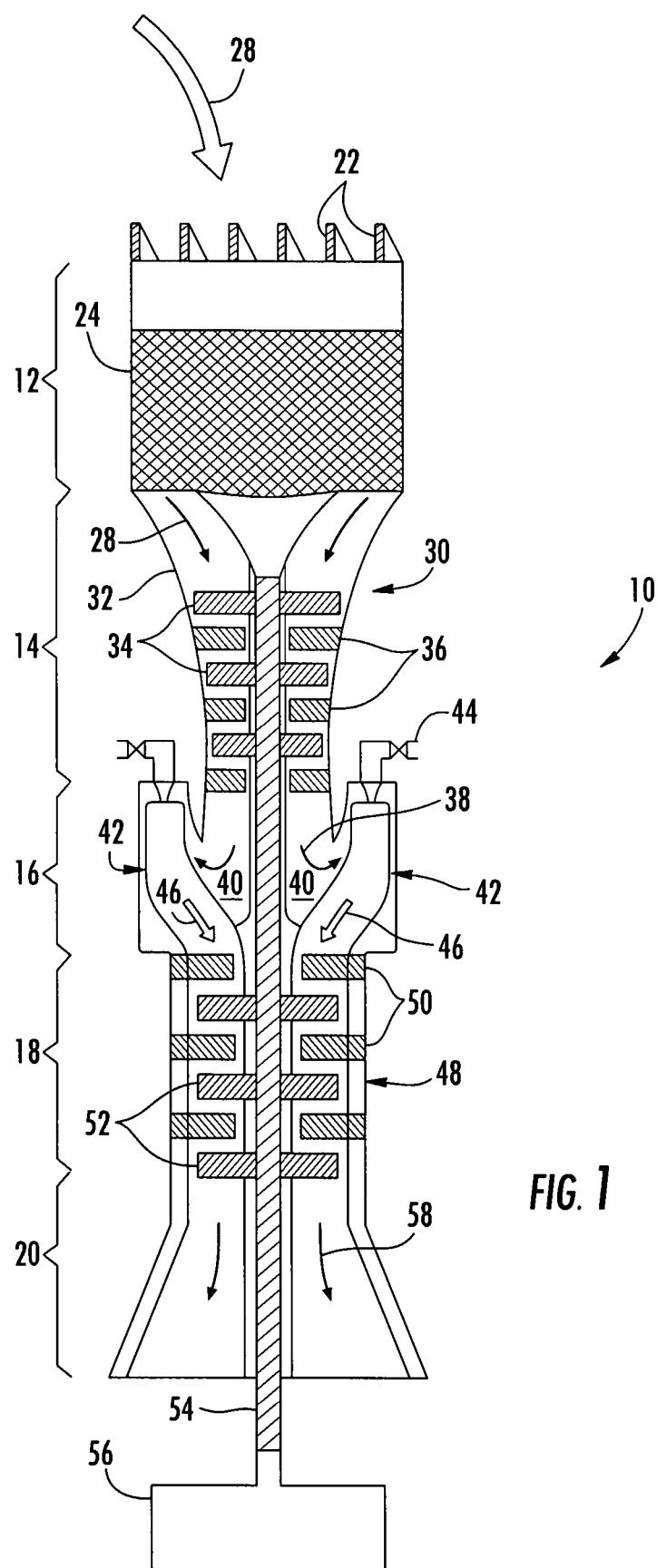


FIG. 1

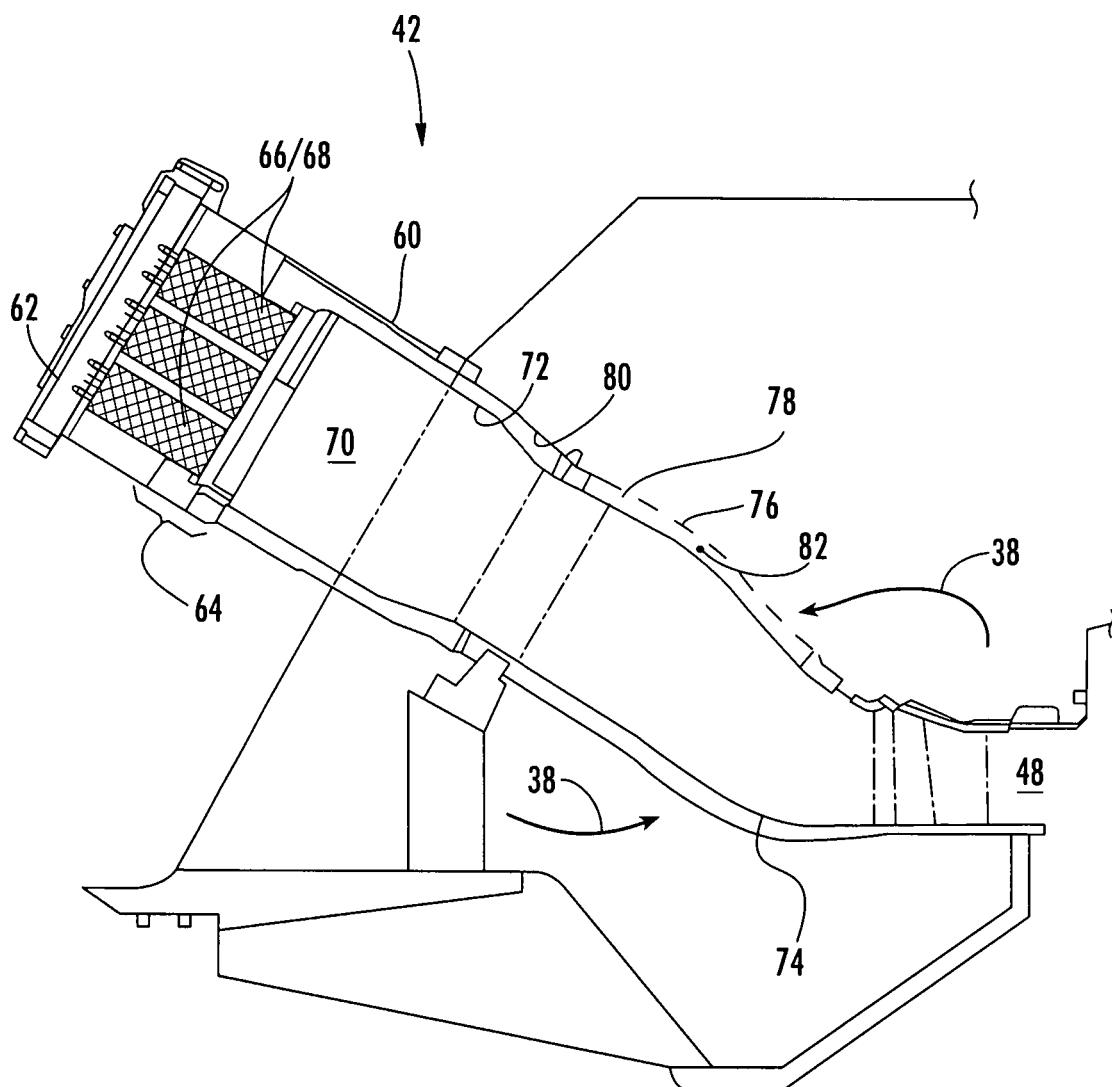


FIG. 2

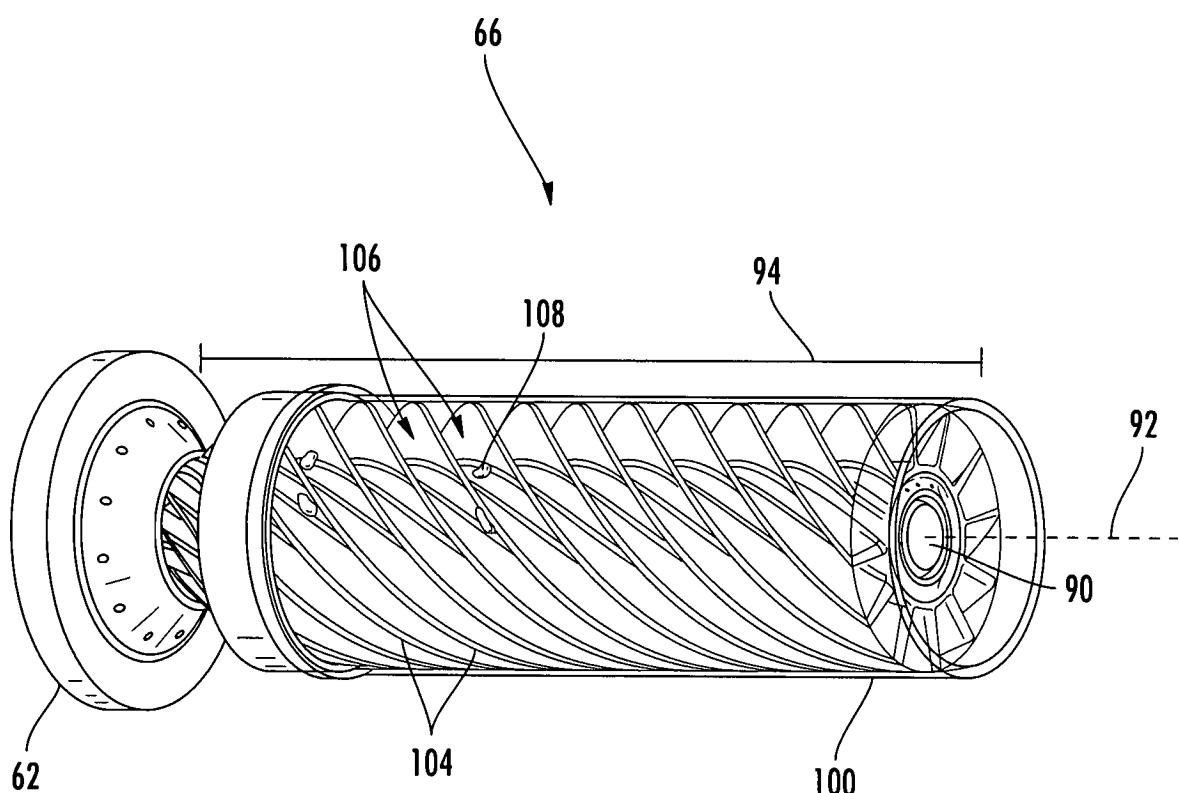


FIG. 3

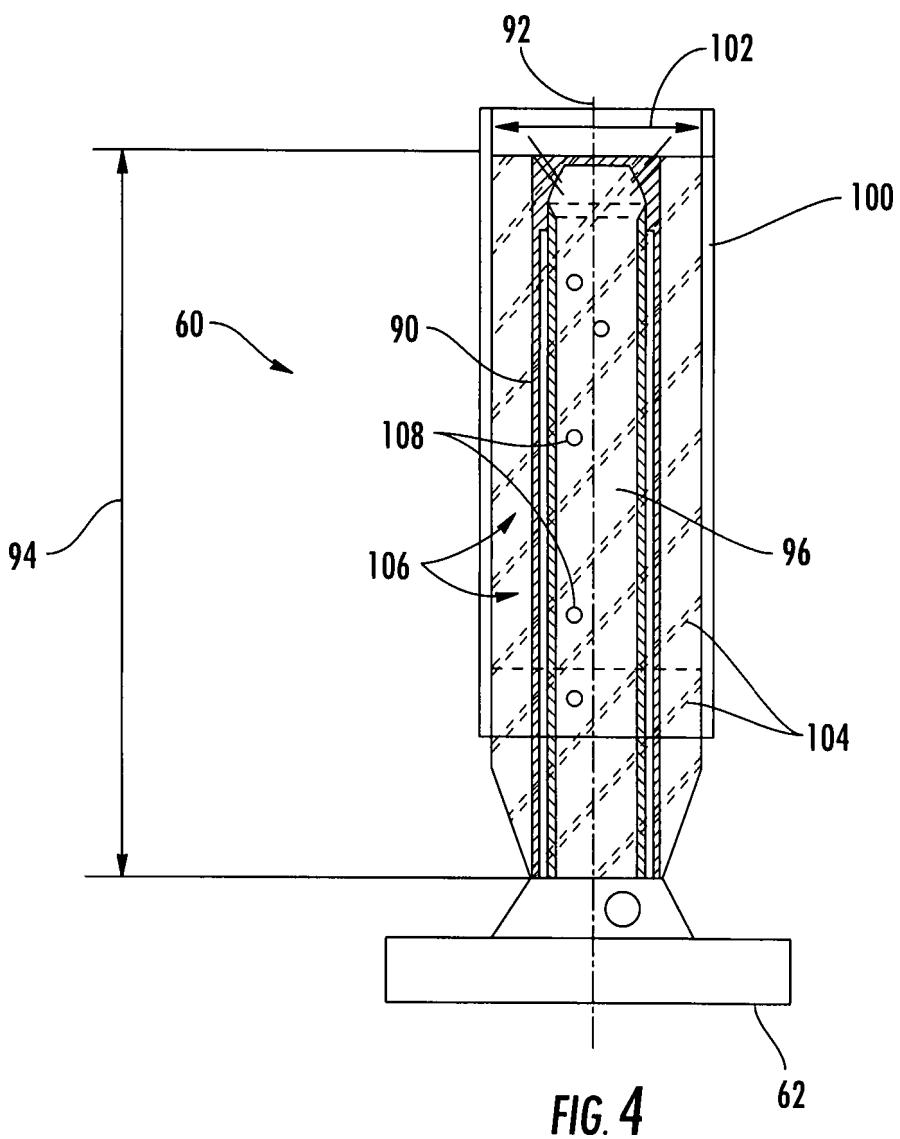


FIG. 4

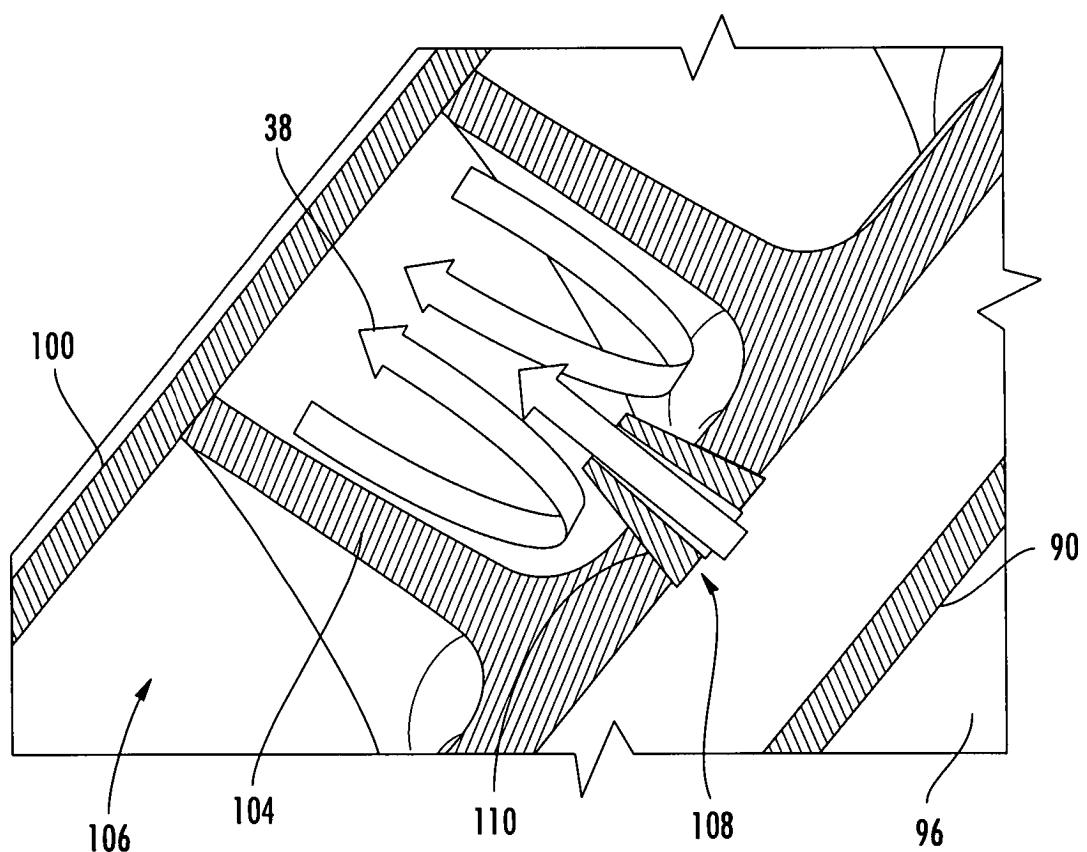


FIG. 5