

SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT  
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM



(11) CH

708 209 A2

(19)

(51) Int. Cl.: F23D 14/08  
B22F 3/105 (2006.01)  
(2006.01)

## Patentanmeldung für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

## (12) PATENTANMELDUNG

(21) Anmeldenummer: 00880/14

(71) Anmelder:  
General Electric Company, 1 River Road  
Schenectady, New York 12345 (US)

(22) Anmeldedatum: 11.06.2014

(72) Erfinder:  
James Christopher Monaghan,  
Greenville, South Carolina 29615 (US)  
Thomas Edward Johnson,  
Greenville, South Carolina 29615 (US)  
Heath Michael Osteberry,  
Greenville, South Carolina 29615 (US)

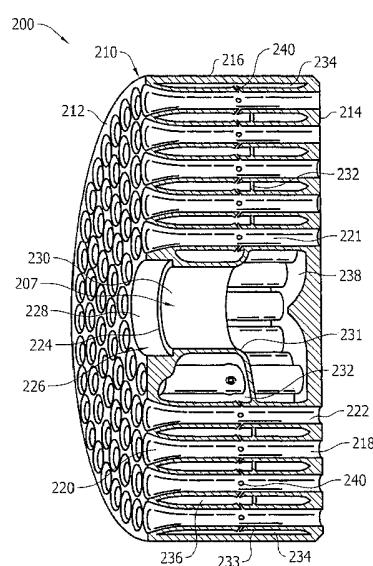
(43) Anmeldung veröffentlicht: 15.12.2014

(74) Vertreter:  
R.A. Egli & Co, Patentanwälte, Baarerstrasse 14  
6300 Zug (CH)

(30) Priorität: 13.06.2013 US 13/916,767

### (54) Brennstoffeinspritzdüse und Verfahren zur Herstellung derselben.

(57) Ein Brennstoffeinspritzkopf (200) zur Verwendung in einer Brennstoffeinspritzdüse (126) weist einen monolithischen Körperabschnitt (210) mit einer stromaufwärts befindlichen Stirnfläche (212), einer gegenüberliegenden stromabwärts befindlichen Stirnfläche (214) und einer sich dazwischen erstreckenden Umfangswand 216 auf. Mehrere Vormischrohre (218) sind in einem Stück mit dem Körperabschnitt (210) ausgebildet und erstrecken sich axial durch den Körperabschnitt (210). Jedes von den Vormischrohren (218) weist einen an die stromaufwärts befindliche Stirnfläche (212) angrenzenden Einlass (220), einen an die stromabwärts befindliche Stirnfläche (214) angrenzenden Auslass (222) und einen sich zwischen dem Einlass (220) und dem Auslass (222) erstreckenden Kanal (221) auf. Jedes Vormischrohr enthält auch wenigstens einen Brennstoffinjektor (240), der sich wenigstens teilweise von einer Außenoberfläche des Vormischrohrs (218) aus nach außen erstreckt, wobei der Brennstoffinjektor (240) in einem Stück mit dem Vormischrohr (218) ausgebildet und dafür eingerichtet ist, einen Brennstoffstrom zwischen dem Körperabschnitt (210) und dem Kanal (221) zu ermöglichen.



## Beschreibung

### Erklärung bezüglich mit Bundesmitteln geförderter Forschung

[0001] Diese Erfindung erfolgte mit Regierungsunterstützung unter der Vertragsnummer DE-FC26-05NT42643, zugeteilt durch das US-Department of Energy (DOE). Die Regierung hat bestimmte Rechte an dieser Erfindung.

### Hintergrund zu der Erfindung

[0002] Die hierin beschriebenen Ausführungsformen betreffen allgemein Einspritzdüsen von Gasturbinenmaschinen und insbesondere Vormischrohre, die einen in Gasturbinenmaschineneinspritzdüsen verwendeten Brennstoffinjektor enthalten.

[0003] Wenigstens einige bekannte Turbinenmaschinen werden in Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen und Kraftwerken verwendet. Derartige Maschinen können hohe Anforderungen bezüglich spezifischer Arbeit und hoher Leistung pro Massenstromeinheit haben. Um den Betriebswirkungsgrad zu erhöhen, können wenigstens einige bekannte Turbinenmaschinen, wie z.B. Gasturbinenmaschinen, mit erhöhten Verbrennungstemperaturen arbeiten. Im Allgemeinen nimmt bei wenigstens einigen von derartigen bekannten Gasturbinenmaschinen der Maschinenwirkungsgrad zu, wenn die Verbrennungsgastemperaturen zunehmen. Jedoch kann der Betrieb bekannter Turbinenmaschinen mit höheren Temperaturen auch die Erzeugung umweltverschmutzender Emissionen, wie z.B. Stickoxide (NOx), erhöhen. In dem Bestreben, die Erzeugung derartiger Emissionen zu verringern, enthalten wenigstens einige bekannte Turbinenmaschinen verbesserte Verbrennungssystemkonstruktionen. Beispielsweise können viele Verbrennungssysteme eine Vormischtechnologie nutzen, die Brennstoffeinspritzdüsen oder Mikromischer beinhaltet, die Substanzen, wie z.B. Verdünnungsmittel, Gase und/oder Luft, mit Brennstoff vermischen, um ein Brennstoffgemisch zur Verbrennung zu erzeugen.

[0004] Bestimmte bekannte Gasturbinen-Brennstoffeinspritzdüsen enthalten viele kleine Vormischrohre, die Luft über einen Haupteinlass und Brennstoff über wenigstens einen Brennstoffinjektor entlang der Länge des Rohres aufnehmen. Jedes Vormischrohr ist zwischen stromaufwärts und stromabwärts befindlichen Platten positioniert und von einer Umfangswand umgeben, die einen Brennstoffdüsenkopf ausbildet. Die Brennstoffinjektoren enthalten typischerweise mehrere sehr kleine, unter kleinen Winkeln angeordnete Öffnungen in den Wänden der Vormischrohre, die eine Einspritzung des Brennstoffes aus dem Düsenkopf in das Innere der Rohre ermöglichen, in welchen sich der Brennstoff und Luft vermischen können, bevor sie die Rohre verlassen und in die Brennkammer eintreten. Brennstoffinjektoren mit grösserer Länge ermöglichen eine verbesserte Vermischung und ermöglichen daher einen erhöhten Betriebswirkungsgrad und verringerte Emissionen. Die Länge des Brennstoffinjektors ist jedoch im Allgemeinen durch die Dicke des Vormischrohres begrenzt, und die Rohrdicke ist im Allgemeinen durch industrielle Fertigungsstandards und einem Wunsch begrenzt, so viele Rohre wie möglich in der Brennstoffdüse zu haben.

[0005] Es dürfte erkennbar sein, dass die vorstehend beschriebenen Brennstoffeinspritzdüsen viele Hartlötverbindungsstellen an den Rohr/Platten- und Platten/Wand-Schnittstellen enthalten, die zur Abdichtung gegenüber dem Brennstoff erforderlich sind. Demzufolge sind teure EDM-(Funkenerosions)-Prozeduren zur Erzeugung der vielen kleinen, unter kleinem Winkel angeordneten Brennstoffeinspritzlöcher erforderlich. Zusätzlich sind oft komplizierte Montageverfahren erforderlich, um spezielle Betriebsverhaltenskriterien zu erfüllen. Somit besteht ein Bedarf nach einem Vormischrohr, das einen längeren Brennstoffinjektor nutzt und das mit den Brennstoffdüsengeometrien hergestellt wird, die mögliche leckende Verbindungsstellen verringern und das einen Bedarf an Nachbearbeitung und/oder EDM-Operationen verringert.

### Kurze Beschreibung der Erfindung

[0006] In einem Aspekt wird ein Brennstoffeinspritzkopf zur Verwendung in einer Brennstoffeinspritzdüse bereitgestellt. Der Brennstoffeinspritzkopf weist einen monolithischen Körperabschnitt mit einer stromaufwärts befindlichen Stirnfläche, einer gegenüberliegenden stromabwärts befindlichen Stirnfläche und einer sich dazwischen erstreckenden Umfangswand auf. Mehrere Vormischrohre sind in einem Stück mit dem Körperabschnitt ausgebildet und erstrecken sich axial durch den Körperabschnitt. Jedes von den Vormischrohren weist einen an die stromaufwärts befindliche Stirnfläche angrenzenden Einlass, einen an die stromabwärts befindliche Stirnfläche angrenzenden Auslass und einen sich zwischen dem Einlass und dem Auslass erstreckenden Kanal auf. Jedes Vormischrohr enthält auch wenigstens einen Brennstoffinjektor, der sich wenigstens teilweise von einer Außenoberfläche von jedem der mehreren Vormischrohre aus nach aussen erstreckt, wobei der Brennstoffinjektor in einem Stück mit dem Vormischrohr ausgebildet und dafür eingerichtet ist, einen Brennstoffström zwischen dem Körperabschnitt und dem Kanal zu ermöglichen.

[0007] In einem weiteren Aspekt wird eine Fluidstromleitung bereitgestellt. Die Fluidstromleitung weist einen ersten Fluid-einlass, der dafür eingerichtet ist, ein erstes Fluid aufzunehmen, einen ersten Fluidauslass und einen ersten Fluidstromkanal definierende Leitungswand, die sich zwischen dem ersten Fluideinlass und dem ersten Fluidauslass erstreckt, auf. Die Fluidstromleitung enthält ferner wenigstens einen Injektorabschnitt, der sich wenigstens teilweise von der Leitungswand nach aussen erstreckt. Jeder Injektorabschnitt ist in einem Stück mit der Leitungswand ausgebildet, enthält eine Injektoroberfläche, einen in der Injektoroberfläche definierten zweiten Fluideinlass und einen zweiten Fluidstromkanal, der sich durch die Leitungswand hindurch erstreckt und mit dem ersten Fluidkanal in Strömungsverbindung steht.

**[0008]** In noch einem weiteren Aspekt wird ein Verfahren zur Herstellung eines Brennstoffeinspritzkopfes zur Verwendung in einer Brennstoffeinspritzdüse bereitgestellt. Das Verfahren weist den Schritt der Ausbildung eines monolithischen Körperabschnittes mit einer stromaufwärts befindlichen Stirnfläche, einer gegenüberliegenden stromabwärts befindlichen Stirnfläche und einer sich dazwischen erstreckenden Umfangswand auf. Mehrere Vormischrohre sind so ausgebildet, dass sich jedes Vormischrohr axial durch den Körperabschnitt hindurch erstreckt. Jedes von den Vormischrohren ist in einem Stück mit dem Körperabschnitt ausgebildet und enthält einen an die stromaufwärts befindliche Stirnfläche angrenzenden Einlass und einen an die stromabwärts befindliche Stirnfläche angrenzenden Auslass und einen sich zwischen dem Einlass und dem Auslass erstreckenden Kanal. Das Verfahren weist ferner den Schritt der Ausbildung wenigstens eines Brennstoffinjektors auf, der sich wenigstens teilweise von einer Außenoberfläche jedes Vormischrohres aus erstreckt, wobei der Brennstoffinjektor in einem Stück mit dem Vormischrohr ausgebildet und dafür eingerichtet ist, einen Brennstoffström zwischen dem Körperabschnitt und dem Kanal zu ermöglichen.

#### **Kurze Beschreibung der Zeichnungen**

**[0009]** Fig. 1 ist eine schematische Darstellung einer exemplarischen Gasturbinemaschine;

**[0010]** Fig. 2 ist eine perspektivische Ansicht einer exemplarischen Brennstoffeinspritzdüse, die bei der in Fig. 1 dargestellten Gasturbinemaschine verwendet werden kann;

**[0011]** Fig. 3 ist eine vergrösserte perspektivische Querschnittsansicht eines Kopfabschnittes der in Fig. 2 dargestellten Brennstoffeinspritzdüse entlang der Linie 3-3;

**[0012]** Fig. 4 ist eine perspektivische Ansicht eines exemplarischen Vormischrohres, das mit der in Fig. 2 dargestellten Brennstoffeinspritzdüse verwendet werden kann;

**[0013]** Fig. 5 ist eine vergrösserte perspektivische Ansicht eines exemplarischen Injektors, der mit dem in Fig. 4 dargestellten Vormischrohr verwendet werden kann;

**[0014]** Fig. 6 ist eine axiale Querschnittsansicht des in Fig. 5 dargestellten Brennstoffinjektors entlang der Linie 6-6;

**[0015]** Fig. 7 ist eine radiale Querschnittsansicht des in Fig. 5 dargestellten Brennstoffinjektors entlang der Linie 7-7.

#### **Detaillierte Beschreibung der Erfindung**

**[0016]** Fig. 1 ist eine schematische Querschnittsansicht einer exemplarischen Turbinemaschine 100. Insbesondere ist die Turbinemaschine 100 eine Gasturbinemaschine. Obwohl die exemplarische Ausführungsform eine Gasturbine veranschaulicht, ist die vorliegende Erfindung nicht auf irgendeine spezielle Maschine beschränkt und der Fachmann wird erkennen, dass die vorliegende Erfindung in Verbindung mit anderen Turbinemaschinen verwendet werden kann.

**[0017]** In der exemplarischen Ausführungsform enthält die Turbinemaschine 100 einen Einlassbereich 112, einen Verdichterbereich 114, der stromabwärts mit dem Einlassbereich 112 verbunden ist, einen Brennkammerbereich 116, der stromabwärts mit dem Verdichterbereich 114 verbunden ist, einen Turbinenbereich 118, der stromabwärts mit dem Brennkammerbereich 116 verbunden ist und einen Abgasabschnitt 120. Der Turbinenbereich 118 ist mit dem Verdichterbereich 114 über eine Rotorwelle 122 verbunden. In der exemplarischen Ausführungsform enthält der Brennkammerbereich 116 mehrere Brennkammern 124. Der Brennkammerbereich 116 ist mit dem Verdichterbereich 114 dergestalt verbunden, dass jede Brennkammer 124 mit dem Verdichterbereich 114 in Strömungsverbindung steht. Eine Brennstoffeinspritzdüse 126 ist mit jeder Brennkammer 124 verbunden. Der Turbinenbereich 118 ist mit dem Verdichterbereich 114 und einer Last 128, wie z.B., jedoch nicht darauf beschränkt, einem elektrischen Generator und/oder einer mechanischen Antriebsanwendung verbunden. In der exemplarischen Ausführungsform enthält jeder Brennkammerbereich 116 und Turbinenbereich 118 wenigstens eine Rotorscheibenanordnung 130, die mit einer Rotorwelle 122 zur Ausbildung einer Rotoranordnung 132 verbunden ist.

**[0018]** Während des Betriebs leitet der Einlassbereich 112 Luft zu dem Verdichterbereich 114, wo die Luft auf einen höheren Druck und höhere Temperatur verdichtet wird, bevor sie an den Brennkammerbereich 116 ausgegeben wird. Die verdichtete Luft wird mit Brennstoff und anderen Fluiden vermischt, die durch jede Brennstoffeinspritzdüse 126 bereitgestellt werden und entzündet, um Verbrennungsgase zu erzeugen, die durch den Turbinenbereich 118 geführt werden. Insbesondere spritzt jede Brennstoffeinspritzdüse 126 Brennstoff, wie z.B. Erdgas und/ oder Brennstofföl, Luft, Verdünnungsmittel und/oder inerte Gase, wie z.B. Stickstoffgas (N<sub>2</sub>), in entsprechende Brennkammern 124 und in den Luftstrom ein. Das Brennstoffgemisch wird entzündet, um Hochtemperaturverbrennungsgase zu erzeugen, die zu dem Turbinenbereich 118 geleitet werden. Der Turbinenbereich 118 wandelt die thermische Energie aus dem Gasstrom in mechanische Rotationsenergie um, sobald die Verbrennungsgase dem Turbinenbereich 118 und der Rotoranordnung 132 Rotationsenergie verleihen. Da die Brennstoffeinspritzdüse 126 den Brennstoff mit Luft, Verdünnungsmitteln und/oder inerten Gasen einspritzt, können NOx-Emissionen in jeder Brennkammer 124 verringert werden. Die Begriffe «stromaufwärts» und «stromabwärts», wie sie hierin verwendet werden, sind auf eine Strömungsrichtung von Luft und Brennstoff durch die Brennstoffeinspritzdüse 126 hindurch und in die (nicht dargestellte) Brennkammer bezogen.

**[0019]** Fig. 2 veranschaulicht eine Brennstoffeinspritzdüse 126 einer Gasturbine, die einen exemplarischen Brennstoffeinspritzkopf 200 enthält. Insbesondere enthält die Düse 126 einen Brennstoffeinspritzkopf 200, eine Brennstoffdüsenbasis

202 und ein Brennstoffzuführungsrohr 206, das sich zwischen dem Kopf 200 und der Basis 202 erstreckt. Der Brennstoffeinspritzkopf 200 ist mit einem stromabwärts befindlichen Ende 206 des Brennstoffzuführungsrohres 204 dergestalt verbunden, dass ein (nicht dargestellter) vorderer Rand des Brennstoffzuführungsrohres 204 an einer internen inneren (in Fig. 2 nicht dargestellten) ringförmigen Schulter anliegt, die in einer Mitte 207 des Brennstoffeinspritzkopfes 200 definiert ist.

**[0020]** In der exemplarischen Ausführungsform wird der Brennstoffeinspritzkopf 200 unter Verwendung eines additiven Herstellungsprozesses hergestellt. Insbesondere wird ein als direktes Metallasersintern (DMLS) oder direktes Metallaserschmelzen (DMLM) bekannter additiver Herstellungsprozess, zur Herstellung des monolithischen Brennstoffeinspritzkopfes 200 genutzt. Obwohl der Vorgang hierin als DMLS beschrieben wird, wird der Fachmann erkennen, dass auch DMLM genutzt werden kann. Alternativ ist das additive Herstellungsverfahren nicht auf den DMLS- oder DMLM-Prozessor beschränkt, sondern kann jeder bekannte additive Herstellungsprozess sein, der eine Funktion des Kopfes 200 wie hierin beschrieben ermöglicht. Dieser Herstellungsprozess eliminiert Verbindungsstellen, die typischerweise zwischen getrennten Komponenten definiert würden, die eine Verschweissung oder Hartverlötzung erfordern. Stattdessen ist DMLS ein additiver Schichtenprozess, der eine Metallkomponente direkt aus einem CAD-Modell unter Verwendung eines Lasers und eines feinem Metallpulvers erzeugt. In der exemplarischen Ausführungsform werden Kobalt- und/oder Chrom-Legierungs-Pulver und Nickel-basierende Legierungspulver zum Herstellen des Einspritzkopfes 200 verwendet, wobei aber andere Pulver, die eine Funktion des Kopfes 200 wie hierin beschrieben ermöglichen, verwendet werden können.

**[0021]** Das CAD-Modell wird in dünne Schichten geschnitten und die Schichten werden dann Schicht für Schicht rekonstruiert, sodass benachbarte Schichten miteinander verschmolzen werden. Die Schichtdicke wird im Wesentlichen auf der Basis einer Genauigkeitsabwägung gegenüber einer Herstellungsgeschwindigkeit gewählt. Zu Beginn wird typischerweise eine Stahlplatte innerhalb der DMLS-Maschine fixiert, um sowohl als eine Unterlage als auch eine Wärmesonde zu dienen. Eine Verteilungseinrichtung führt das Pulver der Unterlagenplatte zu und ein Beschichtungsarm oder eine Klinge verteilt das Pulver auf der Platte. Die Maschinensoftware steuert den Laserstrahlbrennpunkt und die Bewegung, sodass, wo immer der Laserstrahl auf das Pulver trifft, sich das Pulver in einen Festkörper verwandelt. Der Vorgang wird Schicht für Schicht wiederholt, bis die Herstellung der Komponente abgeschlossen ist.

**[0022]** Fig. 3 ist eine vergrösserte perspektivische Querschnittsansicht eines Brennstoffeinspritzkopfes 200. In der exemplarischen Ausführungsform ist der Kopf 200 als ein teilweise hohler, im Wesentlichen kreisrunder monolithischer Körper 210 ausgebildet, der eine stromaufwärts befindliche Stirnfläche 212 und eine gegenüberliegende stromabwärts befindliche Stirnfläche 214 enthält. Die Stirnflächen 212 und 214 sind im Wesentlichen parallel zueinander und eine ringförmige Umfangswand 216 erstreckt sich axial dazwischen. Der Kopf 200 enthält auch mehrere interne Luftzuführungskanäle oder Vormischrohre 218, die sich zwischen den Stirnflächen 212 und 214 erstrecken. Jedes Rohr 218 enthält einen in der stromaufwärts befindlichen Stirnfläche 212 definierten Einlass 220 und eine in der stromabwärts befindlichen Stirnfläche 214 definierten Auslass 222. In der exemplarischen Ausführungsform ist jeder Einlass 220 nach aussen aufgeweitet, sodass eine glockenartige Form ausgebildet wird, welche die Beschleunigung eines Luftstroms in und durch den Fluidstromkanal 221 jedes Vormischrohres 218 ermöglicht. Die Einlässe 220 ermöglichen die Beschleunigung des Luftstroms durch den Kanal 221, um im Wesentlichen eine Rückzündung entlang der stromabwärts befindlichen Stirnfläche 214 zu verhindern. Die restlichen Längen der Vormischrohre 218 haben einen im Wesentlichen durch die Auslässe 222 definierten gleichmässigen Durchmesser. Alternativ können die Einlässe 220 nicht aufgeweitet sein und können im Wesentlichen identisch zum Auslass 222 dergestalt dimensioniert sein, dass jedes Rohr 218 einen konstanten Durchmesser vom Einlass 220 bis zum Auslass 222 hat. Ferner können die Einlässe 220 und Auslässe 222 jede beliebige Form haben, die den Betrieb der Einspritzdüse (dargestellt in Fig. 2) wie hierin beschrieben ermöglicht. In der exemplarischen Ausführungsform können die Vormischrohre 212 in ringförmigen konzentrischen Reihen gemäss Darstellung in Fig. 2 angeordnet sein, wobei Vormischrohre 218 in jeder vorgegebenen Reihe in Umfangsrichtung gegenüber Vormischrohren 218 einer benachbarten Reihe versetzt sind. Alternativ können die Vormischrohre 218 in jeder beliebigen Weise angeordnet sein, die einen Betrieb der Brennstoffeinspritzdüse 126 wie hierin beschrieben ermöglicht. Zusätzlich dient die Verwendung des Begriffes «Rohre» zur Vereinfachung unter Beachtung, dass diese keine an gegenüberliegenden Endflächen 212 und 214 unabhängig befestigte Rohre sind, sondern stattdessen Innenkanäle sind, die in einem monolithischen Körper 210 dergestalt enthalten sind, dass sich der Innenraum um die verschiedenen Kanäle herum erstreckt.

**[0023]** In der exemplarischen Ausführungsform ist die Mitte 207 des Brennstoffeinspritzkopfes 200 und damit der Körper 210 an der stromaufwärts befindlichen Endfläche 212 offen und stellt somit eine Einlassbohrung 226 bereit, die durch eine Ringwand 228 definiert wird. Die Bohrung 226 nimmt ein (in Fig. 2 dargestelltes) Brennstoffzuführungsrohr 204 auf und enthält einen eingesenken Abschnitt 230, der eine ringförmige Schulter 224 definiert. Die Schulter 224 ist es, die mit der Vorderkante des Brennstoffzuführungsrohres 204 verbunden ist.

**[0024]** Der schnelle DMLS-Herstellungsprozess ermöglicht die Einbeziehung verschiedener Designmerkmale in dem Brennstoffeinspritzkopf 200, die früher sehr kostspielig und zeitaufwendig herzustellen waren. Beispielsweise enthält der monolithische Körper 210 in der exemplarischen Ausführungsform eine integriert ausgebildete interne Leitplatte 232. Die Leitplatte 232 erstreckt sich radial von einem stromabwärts befindlichen Ende 231 der Senkbohrung 230 zu einer Stelle im Wesentlichen in der Mitte zwischen der stromaufwärts befindlichen Stirnfläche 212 und der stromabwärts befindlichen Stirnfläche 214 dergestalt nach aussen, dass sich die meisten, aber nicht alle von den Vormischrohren 218 dadurch hindurch erstrecken. In der exemplarischen Ausführungsform ist die Leitplatte 232 in einem Winkel zur Stirnfläche 214 in einer radial nach aussen gerichteten Richtung angewinkelt und erstreckt sich von dem stromabwärts befindlichen Ende

231 der Senkbohrung 230 zu der äusseren Umfangswand 216 hin, ohne sie aber zu berühren. Alternativ kann sich die Leitplatte 232 im Wesentlichen parallel zu den Stirnflächen 212 und 214 von einem stromabwärts befindlichen Ende 231 der Senkbohrung 230 aus erstrecken. Die Leitplatte 232 definiert einen stromabwärts befindlichen Brennstoffsammelraum 238 und einen stromaufwärts befindlichen Brennstoffsammelraum 236, die fluidmässig über einen ringförmigen radialen Spalt 234 verbunden sind, der zwischen einem radial äusseren Rand 233 der Leitplatte 233 und der Umfangsaussenwand 232 definiert ist.

[0025] In der exemplarischen Ausführungsform befindet sich wenigstens einer und bevorzugt eine Gruppierung von Brennstoffinjektoren 240 in jedem Vormischrohr 218. Jedes Mischrohr 218 kann mehrere Injektoren 240, wie z.B. vier Injektoren 240 pro Rohr 218 enthalten, die an gleichmässig beabstandeten Stellen um den Umfang jedes entsprechenden Rohres 218 ausgerichtet sind. In der exemplarischen Ausführungsform erstrecken sich den Brennstoffinjektoren 240 durch eine gemeinsame Ebene, die sich im Wesentlichen parallel zur stromaufwärts befindlichen Stirnfläche 212 und stromabwärts befindlichen Stirnfläche 214 des monolithischen Körpers 210 erstrecken, und die sich stromaufwärts von der Leitplatte 232 befindet.

[0026] Im Betrieb ist die stromabwärts befindliche Endfläche 214 des Brennstoffeinspritzkopfes 200 in der Mitte 207 der gestalt geschlossen, dass gasförmiger Hochdruckbrennstoff, der das Brennstoffzuführungsrohr 204 verlässt, in die Bereiche zwischen den Vormischrohren 218 stromabwärts von dem Brennstoffsammelraum 238 und dann durch den radialen Spalt 234 in den stromaufwärts befindlichen Sammelraum 236 strömt. Dieser Brennstoffpfad macht den Brennstoffdruck an den Brennstoffinjektoren 240 etwa gleich und ermöglicht somit eine im Wesentlichen gleichmässige Verteilung des Brennstoffes auf die Vormischrohre 218. Der gasförmige Brennstoff strömt dann durch die Brennstoffinjektoren 240 und in die Vormischrohre 218, in welchen sich der Brennstoff und die Luft vermischen, bevor sie den Brennstoffeinspritzkopf 200 in die (nicht dargestellte) Brennkammer verlassen.

[0027] Fig. 4 veranschaulicht eine perspektivische Ansicht eines exemplarischen Vormischrohres 218 und Brennstoffinjektors 240, der in der Brennstoffeinspritzdüse 126 verwendet werden kann. Fig. 4 veranschaulicht auch einen ausgestellten Rohreinlass 220 und eine Mittellinienachse 241, die sich durch das Vormischrohr 218 erstreckt. In der exemplarischen Ausführungsform befindet sich der Brennstoffinjektor 240 auf einer Aussenwand 242 des Rohres 218 und liegt angenähert mittig zwischen dem Einlass 220 und dem Auslass 222. Alternativ kann sich der Brennstoffinjektor 240 an jedem Punkt auf der Aussenwand 242 befinden, der einen Betrieb der Düse 126 wie hierin beschrieben ermöglicht. Fig. 5 stellt eine vergrösserte perspektivische Ansicht des Brennstoffinjektors 240 dar. Fig. 6 und 7 sind Querschnittsansichten des Vormischrohres 218 und der Brennstoffeinspritzeinrichtung 240. Obwohl nur ein Brennstoffinjektor 240 in jeder von den Fig. 4-7 dargestellt ist, kann jedes Vormischrohr 218 mehr als nur einen Brennstoffinjektor 240 wie hierin beschrieben enthalten.

[0028] In der exemplarischen Ausführungsform erstreckt sich wenigstens ein Teil jedes Brennstoffinjektors 240 von der Aussenwand 242 nach aussen. Der Brennstoffinjektor 240 enthält eine im Wesentlichen kreisrunde Oberfläche 250 und einen Brennstoffstromkanal 254. Die Oberfläche 250 enthält einen darin definierten Einlass 252, der in Verbindung mit dem Kanal 254 arbeitet, um eine Brennstoffstromverbindung zwischen dem stromaufwärts befindlichen Sammelraum 236 und dem Fluidstromkanal 221 zu ermöglichen. In der exemplarischen Ausführungsform sind der Brennstoffinjektor 240 und insbesondere der eine Mittellinienachse 261 enthaltende Kanal 254 im Wesentlichen parallel zu der Richtung des Brennstoffstroms dargestalt ausgerichtet, dass der Kanal 254 in Bezug auf den Kanal 221 schräg ausgerichtet ist. Insbesondere ist die Achse 261 in einem Winkel von ca. 30° in Bezug auf die Kanalachse 241 ausgerichtet. Alternativ kann der Kanal 254 in jedem Winkel in Bezug auf den Kanal 221 ausgerichtet sein, der den Betrieb der Brennstoffdüse 126 wie hierin beschrieben ermöglicht. Im Wesentlichen ist der Kanal 254 in Bezug auf den Kanal 221 zur Sicherstellung ausgerichtet, dass der Brennstoff ström durch den Kanal 254 der Injektoren 240 eine Geschwindigkeitskomponente in der Richtung der durch den Kanal 221 der Vormischrohre 218 strömenden Luft hat.

[0029] Ferner enthält der Injektor 240 ein stromaufwärts befindliches Ende 256 und ein stromabwärts befindliches Ende 258 dargestalt, dass sich die Injektoroberfläche 250 wenigstens teilweise zwischen den Enden 256 und 258 erstreckt. In der exemplarischen Ausführungsform erstreckt sich das stromaufwärts befindliche Ende 256 des Injektors von der Injektoraußenwand 242 in einem flachen spitzen Winkel dargestalt nach aussen, dass die Injektoroberfläche 250 schräg in Bezug auf die Achse 241 (am besten in Fig. 7 dargestellt) ausgerichtet ist. Das stromabwärts befindliche Ende 258 enthält einen Krümmungsradius 260, der an dem stromabwärts befindlichen Ende der Oberfläche 250 beginnt, der allmählich das stromabwärts befindliche Ende 258 des Injektors 240 in die Aussenwand 242 von jedem der Vormischrohre 218 absinken lässt. Somit erstreckt sich das stromabwärts befindliche Ende 258 über eine Strecke von der Rohr-aussenoberfläche in Bezug auf die Achse 241 nach aussen, was die Erfassung des an dem Einlass 252 und dem ausrichtenden Kanal 254 vorbeiströmenden Brennstoffes in der Richtung der Brennstoff ström ermöglicht.

[0030] Der DMLS-Prozess ermöglicht auch die Erzeugung einer exakten Stelle und Ausrichtung der Brennstoffinjektoren 240 auf den Vormischrohren 218. Dieses ist wichtig, da die Platzierung der Injektoren 240 die Gleichmässigkeit des Brennstoffzuführungsdruckes in dem (in Fig. 3 dargestellten) Brennstoffeinspritzkopf 200 bestimmt. Wenn beispielsweise der Brennstoff an dem Einlass 252 des Injektors 240 mit einer hohen Geschwindigkeit vorbeiströmt, hat er einen niedrigen Zuführungsdruck. Wenn die Brennstoffgeschwindigkeit andererseits niedrig ist, hat sie einen hohen Zuführungsdruck. Ebenso hat dann, wenn der erste Injektor 240 auf einem ersten Vormischrohr 214 direkt einem zweiten Injektor 240 auf einem zweiten benachbarten Vormischrohr 218 gegenüberliegt, dann der die Einlasse 252 passierende Brennstoff eine

hohe Geschwindigkeit und somit niedrigen Zuführungsdruck. Es hat sich herausgestellt, dass die Drehung der Stelle eines ersten Injektors 240 auf einem ersten Vormischrohr 218 um 45° in Bezug auf einen zweiten Injektor 240 auf einem zweiten benachbarten Vormischrohr 218 die besten Ergebnisse erzeugt, und der DMLS-Prozess kann so manipuliert werden, dass er die Injektoren 240 in dieser Weise automatisch und mit hoher Genauigkeit positioniert.

**[0031]** In der exemplarischen Ausführungsform enthält das Vormischrohr 218 eine Aussenwand 242, die einen Aussen-durchmesser Di definiert, und eine Innenwand 262, die einen Innendurchmesser D2 definiert. Die Differenz zwischen Di und D2 definiert eine Dicke T des Vormischrohres 218. Die Durchmesser bekannter Vormischrohre sind auf die Durchmesser von im Fachgebiet verwendeten von Standardgrößenrohren begrenzt. Der DMLS-Prozess ermöglicht jedoch die Herstellung von spezifisch angepassten Vormischrohrdicken T, die im Allgemeinen dünner als die bekannter Vormischrohre sind. Beispielsweise hat in der exemplarischen Ausführungsform das Vormischrohr 218 eine Dicke T von angenähert 0,51 mm (0,02 Inches) im Vergleich zu bekannten Vormischrohren mit einer Dicke von 0,89 mm (0,035 Inches). Alternativ kann das Vormischrohr 218 jede beliebige Dicke haben, die einen Betrieb der Brennstoffdüse 126 wie hierin beschrieben ermöglicht. Ferner enthält aufgrund der dünneren Rohrdicke T der Brennstoffeinspritzkopf 200 mehr Vormischrohre 218 als zuvor bekannte Brennstoffeinspritzköpfe, was eine bessere Vermischung von Brennstoff und Luft ermöglicht und zu einem effizienteren Maschinenbetrieb und geringeren Emissionen führt.

**[0032]** In der exemplarischen Ausführungsform hat der Brennstoffinjektorkanal 254 eine Länge L und einen Durchmesser D3. Ein Längen/Durchmesser-(L/D)-Verhältnis ist durch die Länge L dividiert durch den Durchmesser D3 definiert. Der empirische Anschein hat gezeigt, dass ein grösseres L/D-Verhältnis zu einer besseren Vermischung von Brennstoff und Luft im Kanal 221 führt. In der exemplarischen Ausführungsform hat der Brennstoffinjektor 240 ein L/D-Verhältnis von wenigstens 10:1. Der Brennstoffinjektorkanal 254 hat eine Länge L, die nicht nur deswegen grösser als bekannte Injektorlängen ist, weil der Kanal 254 in einem Winkel wie vorstehend beschrieben angeordnet ist, sondern auch, weil sich der Brennstoffinjektor 240 über die Aussenwand 242 von jedem der Vormischrohre 218 dergestalt hinaus erstreckt, dass die Länge L grösser als die Dicke T des Rohres 218 ist. Die Länge zuvor bekannter Injektorkanäle war durch die Dicke ihrer Vormischrohre begrenzt. Eine dickere Standardrohrdicke ermöglichte einen längeren Injektorkanal, schränkte aber die Anzahl der Rohre in dem Einspritzkopf ein. Eine dünnere Rohrdicke ermöglichte jedoch mehr Rohre pro Kopf, schränkte aber die Länge des Injektorkanals ein und führte zu einer schlechten Vermischung. In der exemplarischen Ausführungsform ermöglicht die Herstellung des Brennstoffeinspritzkopfes 200 unter Verwendung des DMLS-Prozesses die Optimierung sowohl der Dicke T des Vormischrohres 218 als auch der Länge L des Brennstoffinjektor-kanals 254, um eine grössere Anzahl von Rohren 218 jeweils mit einem längeren Brennstoffinjektorkanal 254 als den von bekannten Einspritzköpfen zu ermöglichen, um eine effiziente Brennstoff- und Luftvermischung zu erzeugen. Die Herstellung des Brennstoffeinspritzkopfes 200 und insbesondere der Vormischrohre 218 unter Verwendung des DMLS-Verfahrens beseitigt die derzeitigen Herstellungseinschränkungen und ermöglicht die Erzeugung komplexer Formen, wie z.B. des Brennstoffinjektors 240, mit relativ geringen Kosten.

**[0033]** In der exemplarischen Ausführungsform beinhaltet der Einlass 252 verschiedene Einlasskonditionierungsmerkmale, die eine verbesserte Vermischung von Brennstoff und Luft ermöglichen, was einen effizienteren Betrieb und eine geringere Emissionserzeugung der Gasturbinenmaschine 100 ermöglicht. Beispielsweise kann der Einlass 252 ähnlich dem (in Fig. 3 dargestellten) Einlass 220 nach aussen gerichtet aufgeweitet sein, sodass eine glockenartige Form ausgebildet wird, um den Brennstoffstrom in den und durch den Brennstoffstromkanal 254 jedes Injektors 240 zu erleichtern. Die aufgeweiteten Einlässe 252 ermöglichen die Beschleunigung des Brennstoffstroms durch den Kanal 254, um eine verbesserte Vermischung von Brennstoff und Luft im Kanal 221 zu ermöglichen. Die verbleibende Länge des Injektors 240 kann einen im Wesentlichen gleichmässigen Durchmesser haben. Alternativ sind die Einlässe 252 nicht aufgeweitet, sodass jeder Kanal 254 einen konstanten Durchmesser hat.

**[0034]** Ferner kann der Einlass 252 in der exemplarischen Ausführungsform tropfenförmig sein, wie es am besten in Fig. 5 zu sehen ist. Eine Tropfenform des Einlasses 252 ermöglicht die Auslösung eines Wirbels in dem Brennstoffström durch den Einlass 252, der eine Verbesserung der Vermischung von Brennstoff und Luft in dem Kanal 221 ermöglicht. Der durch den Einlass 252 erzeugte Wirbel bewirkt eine Turbulenz in dem Brennstoffström, der die Vermischung von Brennstoff und Luft im Kanal 221 erleichtert. Alternativ kann der Einlass 252 eine im Wesentlichen kreisrunde Form haben. Im Allgemeinen kann der Einlass 252 jede beliebige Form haben, die den Betrieb des Injektors 240 wie hierin beschrieben ermöglicht. Der DMLS-Prozess ermöglicht komplexe Einlasskonditionierungsmerkmale, wie z.B. Einlassaufweitung oder einen tropfenförmigen Einlass, in einer kosteneffektiven und zuverlässigen Weise, die die Vorvermischung von Brennstoff und Luft verbessert und die einen gesteigerten Maschinenbetriebswirkungsgrad ermöglicht.

**[0035]** Es ist somit erkennbar, dass die Verwendung des DMLS-Verfahrens die Auslegung und den Bau von Brennstoffeinspritzdüsen ermöglicht, die vorher nicht in zuverlässiger oder wirtschaftlicher Weise produzierbar waren. Das DMLS-Verfahren stellt sicher, dass die Schnittstellen zwischen den Vormischrohren und der Endfläche des Einspritzkopfes einwandfrei sind und keine Bearbeitung mit sehr engen Hartlösungstoleranzen erfordert. Die verbindungsstellenlose Herstellung des Einspritzkopfes ist vorteilhaft, da sie die Leckage von Brennstoff aus einem Spalt, der zwischen den Rohren und den Stirnflächen bekannter Einspritzköpfe besteht, verhindert. Ferner ermöglicht die DMLS-Technik die Herstellung eines Vormischrohres, das eine geringere Dicke als bekannte Rohre hat, und das einen Brennstoffinjektor enthält, wovon sich wenigstens ein Teil radial aus der Aussenoberfläche des Vormischrohres nach aussen erstreckt.

**[0036]** Der hierin beschriebene Brennstoffeinspritzkopf und Brennstoffinjektor ermöglichen eine Vermischung von Brennstoff und Luft in einem entsprechenden Vormischrohr. Der exemplarische Brennstoffinjektor erstreckt sich von der Aussenoberfläche des Vormischrohres dergestalt nach aussen, dass ein Verhältnis der Länge des Brennstoffinjektorkanals zu seinem Durchmesser grösser als entsprechende Verhältnisse bekannter Brennstoffinjektoren ist. Ferner enthält der exemplarische Brennstoffinjektor komplexe Einlasskonditionierungsmerkmale, wie z.B. aufgeweitete Einlässe auf den Vormischrohren und dem Injektorkanal und tropfenartig geformte Injektorkanaleinlässe, welche ebenfalls eine Verbesserung der Brennstoff- und Luftvermischung in dem Vormischrohr ermöglichen, was zu einem höheren Maschinenwirkungsgrad und einer Verringerung in den Maschinenemissionen führt.

**[0037]** Exemplarische Ausführungsformen einer Brennstoffeinspritzdüse und Verfahren zur Herstellung derselben sind vorstehend im Detail beschrieben. Die Düse und Verfahren sind nicht auf die hierin beschriebenen Ausführungsformen beschränkt, sondern Komponenten der Düse und/oder Schritte des Verfahrens können unabhängig und getrennt von anderen Komponenten und/oder hierin beschriebenen Schritten verwendet werden. Beispielsweise können die Verfahren auch in Kombination mit anderen Gasturbinenkomponenten und zusätzlichen Herstellungsverfahren verwendet werden und sind nicht nur auf die Ausführung mit der Brennstoffeinspritzdüse und dem hierin beschriebenen DMLS-Verfahren beschränkt.

**[0038]** Obwohl spezifische Merkmale verschiedener Ausführungsformen der Erfindung in einigen Zeichnungen dargestellt sein können und in anderen nicht, dient dieses nur der Vereinfachung. Gemäss den Prinzipien der Erfindung kann auf jedes Merkmal einer Zeichnung Bezug genommen werden und/oder dieses in Kombination mit jedem Merkmal jeder anderen Zeichnung beansprucht werden.

**[0039]** Diese Beschreibung nutzt Beispiele, um die Erfindung einschliesslich ihrer besten Ausführungsart offenzulegen und um auch jedem Fachmann zu ermöglichen, die Erfindung einschliesslich der Herstellung und Nutzung aller Elemente und Systeme und der Durchführung aller einbezogenen Verfahren in die Praxis umzusetzen. Der patentfähige Schutzmfang der Erfindung ist durch die Ansprüche definiert und kann weitere Beispiele umfassen, die für den Fachmann ersichtlich sind. Derartige weitere Beispiele sollen in dem Schutzmfang der Erfindung enthalten sein, sofern sie strukturelle Elemente besitzen, die sich nicht von dem Wortlaut der Ansprüche unterscheiden, oder wenn sie äquivalente strukturelle Elemente mit unwesentlichen Änderungen gegenüber dem Wortlaut der Ansprüche enthalten.

**[0040]** Ein Brennstoffeinspritzkopf 200 zur Verwendung in einer Brennstoffeinspritzdüse 126 weist einen monolithischen Körperabschnitt 210 mit einer stromaufwärts befindlichen Stirnfläche 212, einer gegenüberliegenden stromabwärts befindlichen Stirnfläche 214 und einer sich dazwischen erstreckenden Umfangswand 216 auf. Mehrere Vormischrohre 218 sind in einem Stück mit dem Körperabschnitt ausgebildet und erstrecken sich axial durch den Körperabschnitt. Jedes von den Vormischrohren weist einen an die stromaufwärts befindliche Stirnfläche angrenzenden Einlass 220, einen an die stromabwärts befindliche Stirnfläche angrenzenden Auslass 222 und einen sich zwischen dem Einlass und dem Auslass erstreckenden Kanal 221 auf. Jedes Vormischrohr enthält auch wenigstens einen Brennstoffinjektor 240, der sich wenigstens teilweise von einer Aussenoberfläche 242 des Vormischrohrs aus nach aussen erstreckt, wobei der Brennstoffinjektor in einem Stück mit dem Vormischrohr ausgebildet und dafür eingerichtet ist, einen Brennstoffström zwischen dem Körperabschnitt und dem Kanal zu ermöglichen.

#### Bezugszeichenliste

**[0041]**

- 100 Gasturbinenmaschine
- 112 Einlassbereich
- 114 Verdichterbereich
- 116 Brennkammerbereich
- 118 Turbinenbereich
- 120 Auslassbereich
- 122 Rotorwelle
- 124 Brennkammern
- 126 Brennstoffeinspritzdüse
- 128 Last
- 130 Rotorscheibenanordnung
- 132 Rotoranordnung

200 Brennstoffeinspritzkopf  
202 Brennstoffdüsenbasis  
204 Brennstoffzuführungsrohr  
206 stromabwärts befindliches Ende  
210 monolithischer Körper  
212 stromaufwärts befindliche Stirnfläche  
214 stromabwärts befindliche Stirnfläche  
216 ringförmige Umgebungswand  
218 Vormischrohr  
220 Rohreinlass  
221 Fluidstromkanal  
222 Rohrauslass  
224 Schulter  
226 Einlassbohrung  
228 ringförmige Wand  
230 Senkbohrung  
232 Leitplatte  
232 Umfangsaussenwand  
234 radialer Spalt  
236 stromaufwärts befindlicher Brennstoffsammelraum  
238 stromabwärts befindlicher Brennstoffsammelraum  
240 Brennstoffinjektor  
241 Achse  
242 Aussenwand  
250 Injektoroberfläche  
252 Injektoreinlass  
254 Brennstoffstromkanal  
256 stromaufwärts befindliches Ende des Injektors  
258 stromabwärts befindliches Ende des Injektors  
260 Krümmungsradius  
261 Achse  
262 Innenwand

**Patentansprüche**

1. Brennstoffeinspritzkopf (200) zur Verwendung in einer Brennstoffeinspritzdüse (126), wobei der Brennstoffeinspritzkopf aufweist:

einen monolithischen Körperabschnitt (210) mit einer stromaufwärts befindlichen Stirnfläche (212), einer gegenüberliegenden stromabwärts befindlichen Stirnfläche (214) und einer sich dazwischen erstreckenden Umfangswand (216); und

mehrere Vormischrohre (218), die sich axial durch den Körperabschnitt erstrecken, wobei jedes von den Vormischrohren in einem Stück mit dem Körperabschnitt ausgebildet ist und aufweist:

einen an die stromaufwärts befindliche Stirnfläche angrenzenden Einlass (220);

einen an die stromabwärts befindliche Stirnfläche angrenzenden Auslass (222);

einen zwischen dem Einlass und dem Auslass erstreckenden Kanal (221); und

wenigstens einen Brennstoffinjektor (240), der sich wenigstens teilweise von einer Aussenoberfläche (242) von jedem der mehreren Vormischrohre aus nach aussen erstreckt, wobei der Brennstoffinjektor in einem Stück mit dem Vormischrohr ausgebildet und dafür eingerichtet ist, einen Brennstoffström zwischen dem Körperabschnitt und dem Kanal zu ermöglichen.

2. Brennstoffeinspritzkopf (200) nach Anspruch 1, wobei jeder von dem wenigstens einen Brennstoffinjektor (240) aufweist: eine Injektoroberfläche (250);  
einen in der Injektoroberfläche definierten Einlass (252); und  
einen sich zwischen dem Körperabschnitt (210) und dem Vormischrohrkanal (221) erstreckenden Brennstoffstromkanal (254), wobei der Injektoreinlass mit dem Brennstoffstromkanal in Strömungsverbindung steht.
3. Brennstoffeinspritzkopf (200) nach Anspruch 2, wobei der Brennstoffinjektoreinlass (252) nach aussen aufgeweitet ist, um eine Beschleunigung des Brennstoffstroms durch den Brennstoffstromkanal (254) zu ermöglichen.
4. Brennstoffeinspritzkopf (200) nach Anspruch 2, wobei der Brennstoffinjektoreinlass (252) tropfenartig geformt ist.
5. Brennstoffeinspritzkopf (200) nach Anspruch 2, wobei der Brennstoffinjektor (240) ferner ein stromaufwärts befindliches Ende (256) aufweist, das sich schräg aus der Aussenoberfläche (242) des Vormischrohrs erstreckt.
6. Brennstoffeinspritzkopf (200) nach Anspruch 2, wobei der Brennstoffinjektor (240) ferner ein stromabwärts befindliches Ende (258) aufweist, das sich bogenförmig zwischen der Aussenoberfläche (242) des Vormischrohrs und der Injektoroberfläche (250) erstreckt.
7. Verfahren zur Herstellung eines Brennstoffeinspritzkopfes (200) zur Verwendung in einer Brennstoffeinspritzdüse (126), wobei das Verfahren die Schritte aufweist:
  - (a) Ausbilden eines monolithischen Körperabschnittes (210) mit einer stromaufwärts befindlichen Stirnfläche (212), einer gegenüberliegenden stromabwärts befindlichen Stirnfläche (214) und einer sich dazwischen erstreckenden Umfangswand (216);
  - (b) Ausbilden mehrerer Vormischrohre (218), die sich axial durch den Körperabschnitt hindurch erstrecken, wobei jedes von den Vormischrohren in einem Stück mit dem Körperabschnitt ausgebildet ist und enthält:  
einen an die stromaufwärts befindliche Stirnfläche angrenzenden Einlass (220);  
einen an die stromabwärts befindliche Stirnfläche angrenzenden Auslass (222);  
einen sich zwischen dem Einlass und dem Auslass erstreckenden Kanal (221); und
  - (c) Ausbilden wenigstens eines Brennstoffinjektors (240), der sich wenigstens teilweise von einer Aussenoberfläche (242) jedes Vormischrohrs nach aussen erstreckt, wobei der Brennstoffinjektor in einem Stück mit dem Vormischrohr ausgebildet und dafür eingerichtet ist, einen Brennstoffström zwischen dem Körperabschnitt und dem Kanal zu ermöglichen.
8. Verfahren nach Anspruch 7, wobei die Schritte (a) bis (c) durch direktes Metallasersintern ausgeführt werden.
9. Verfahren nach Anspruch 7, wobei der Schritt der Ausbildung wenigstens eines Brennstoffinjektors (240) ferner den Schritt der Ausbildung wenigstens eines Brennstoffinjektors aufweist, der enthält:  
eine Injektoroberfläche (250);  
einen in der Injektoroberfläche definierten Einlass (252); und einen sich zwischen dem Körperabschnitt (210) und dem Vormischrohrkanal (221) erstreckenden Brennstoffstromkanal (254), wobei der Injektoreinlass mit dem Brennstoffstromkanal in Strömungsverbindung steht.
10. Verfahren nach Anspruch 9, wobei der Brennstoffinjektor (240) ferner enthält:  
ein stromaufwärts befindliches Ende (256), das sich schräg aus der Aussenoberfläche (242) des Vormischrohrs erstreckt; und  
ein stromabwärts befindliches Ende (258), das sich bogenförmig zwischen der Aussenoberfläche (242) des Vormischrohrs und der Injektoroberfläche (250) erstreckt.

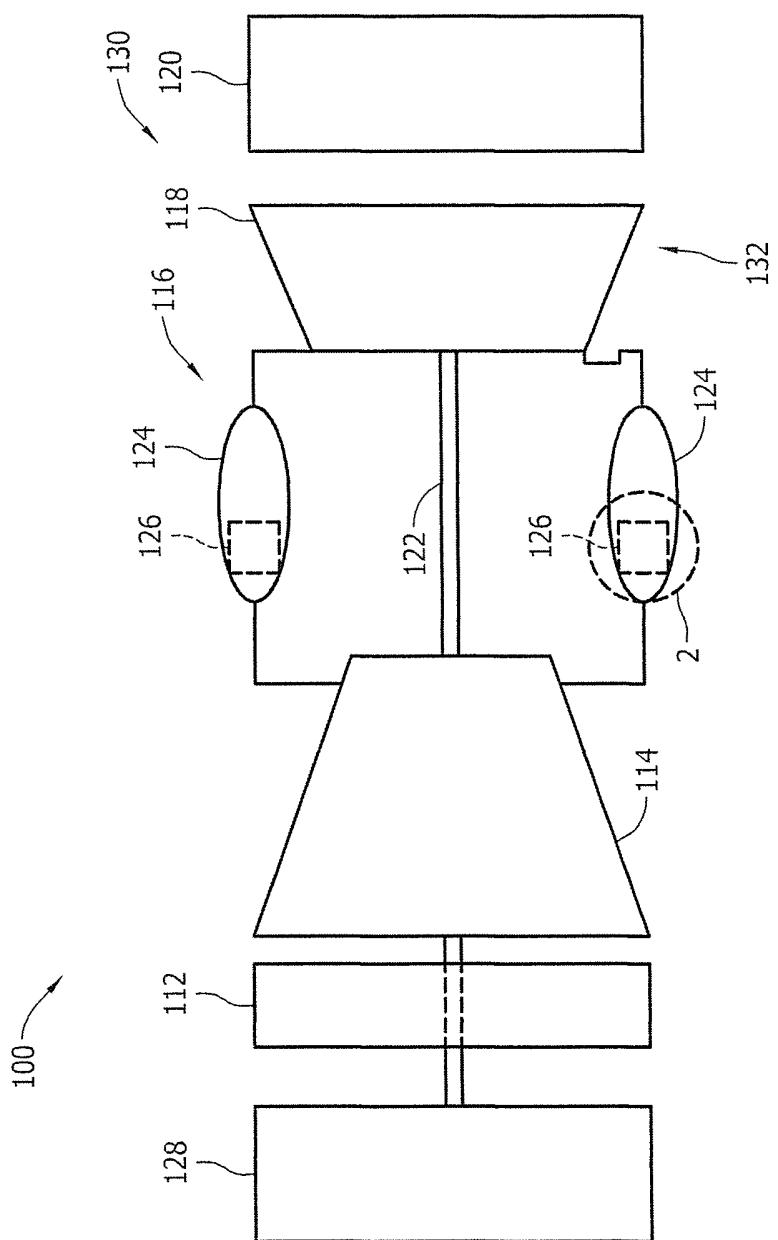
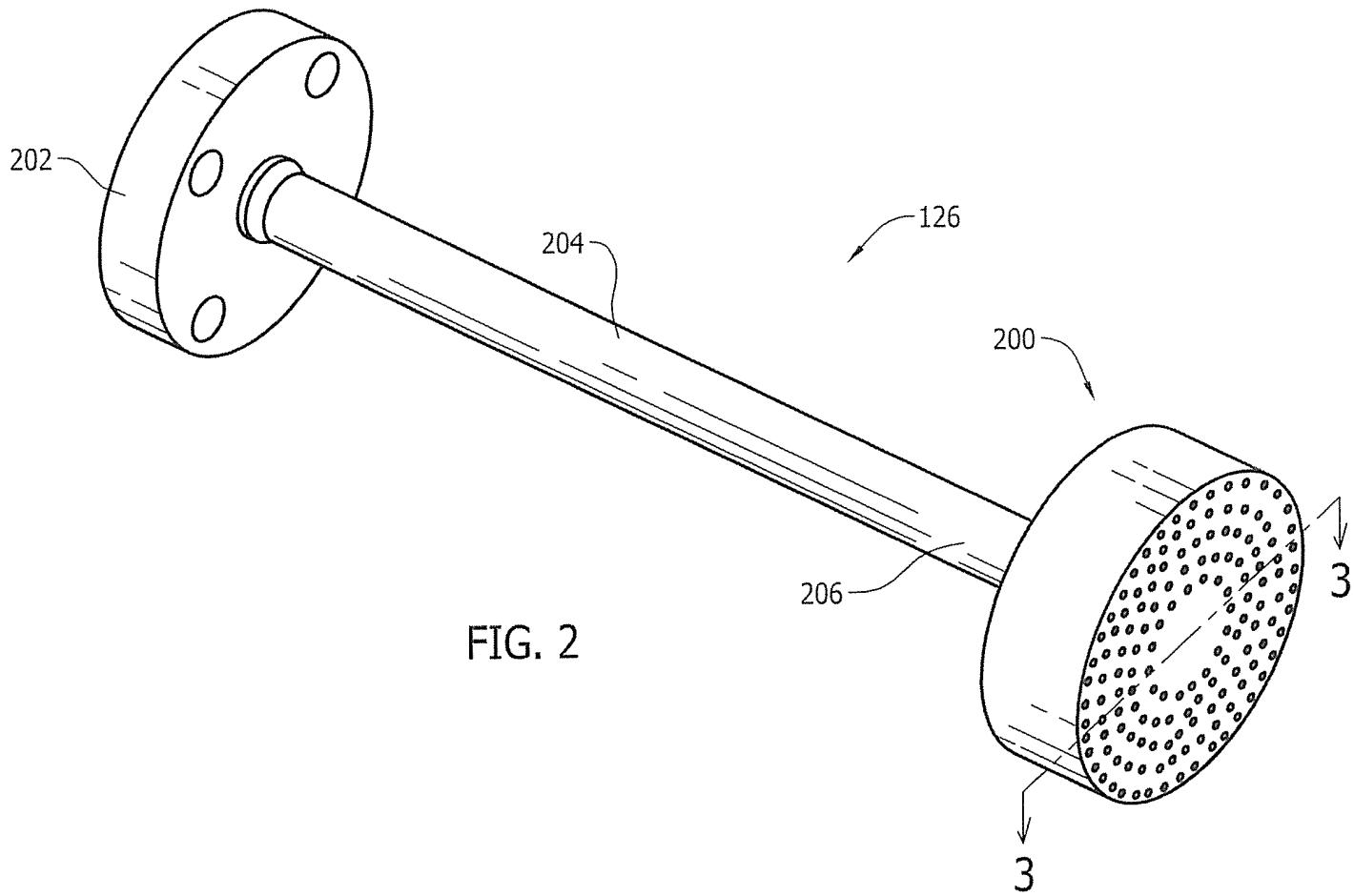


FIG. 1



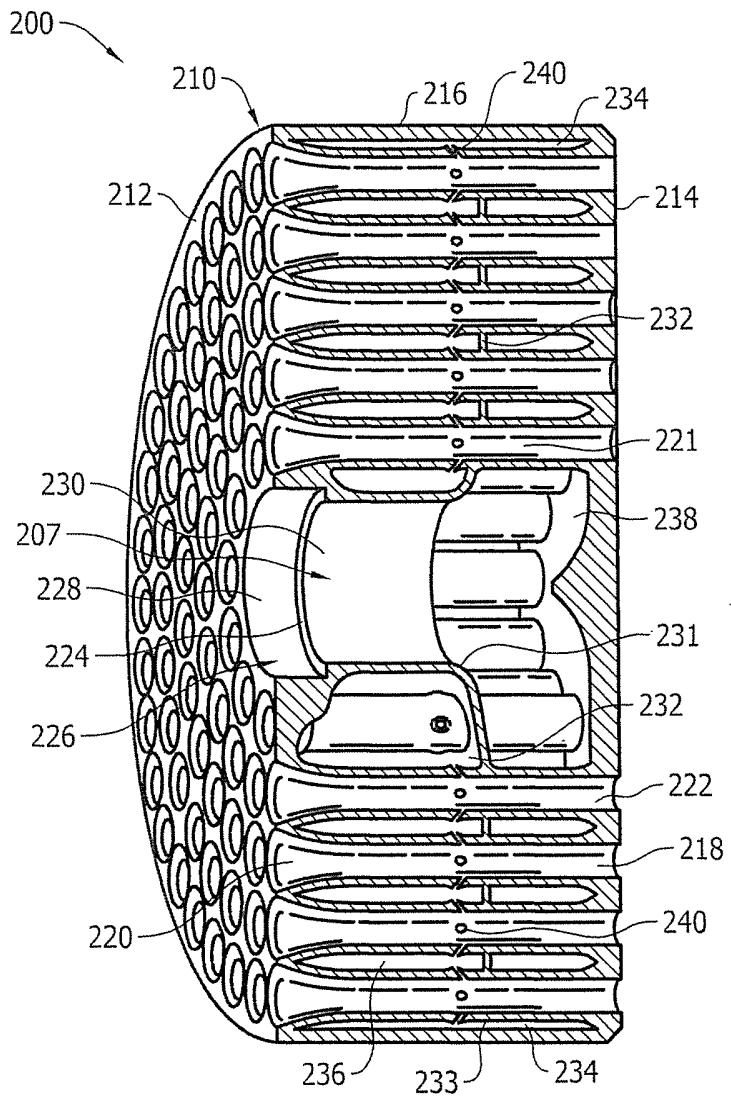


FIG. 3

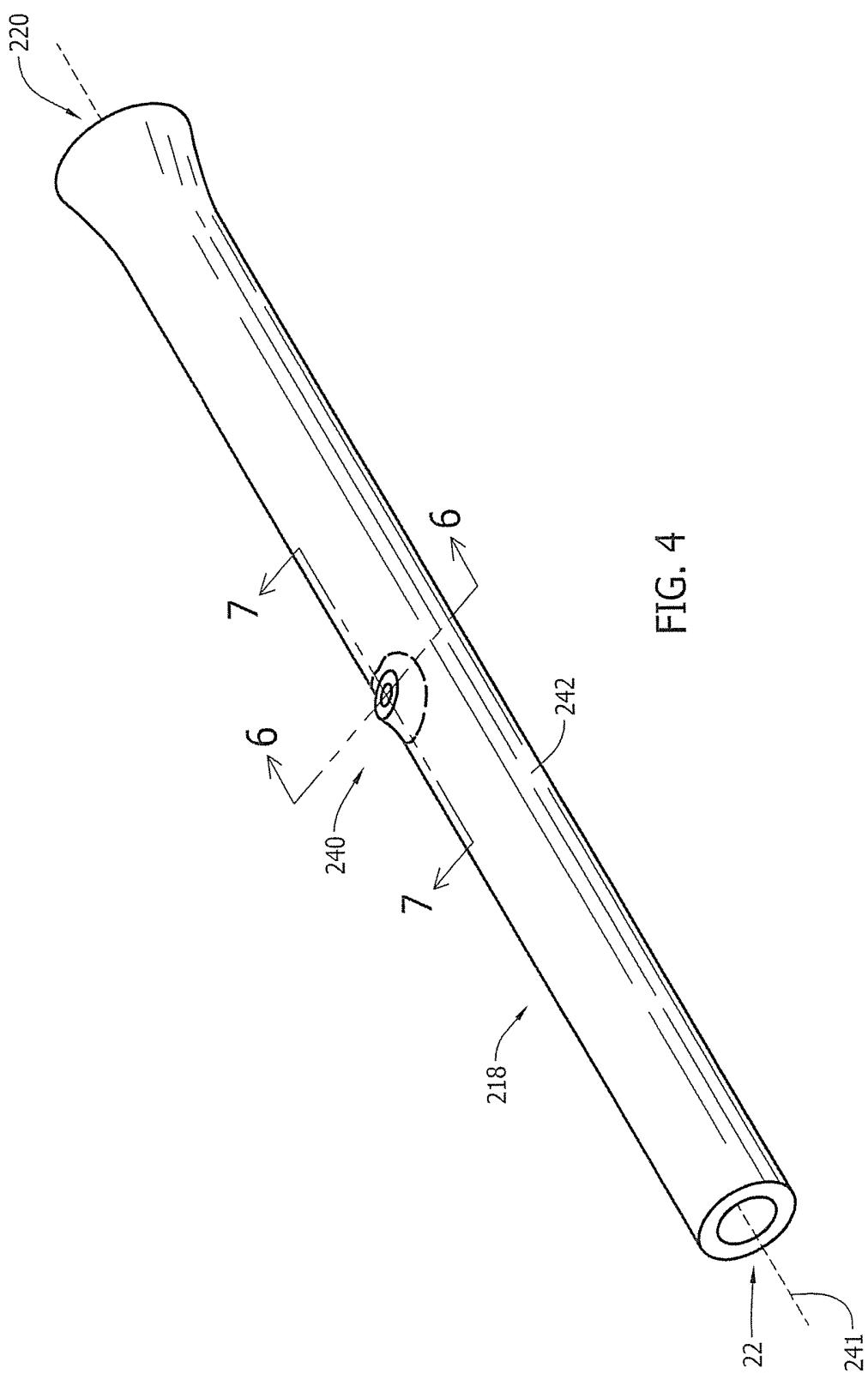


FIG. 4

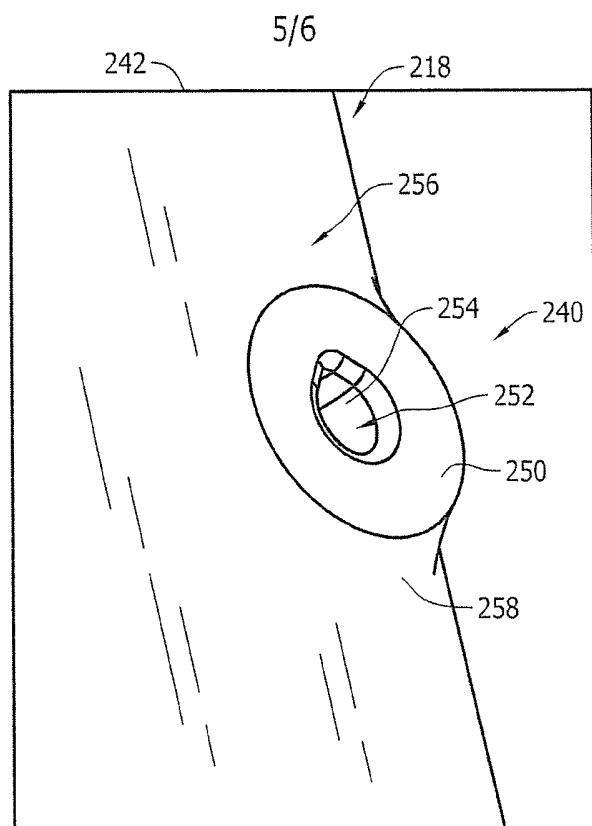


FIG. 5

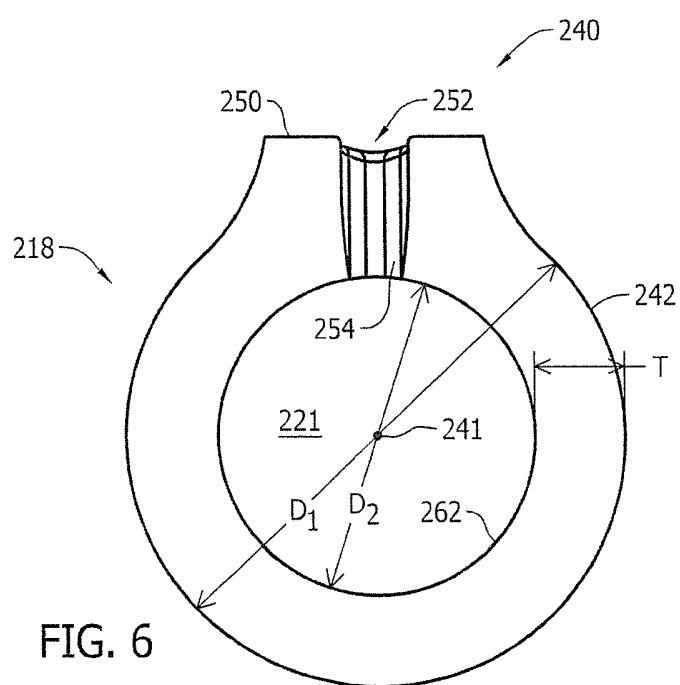


FIG. 6

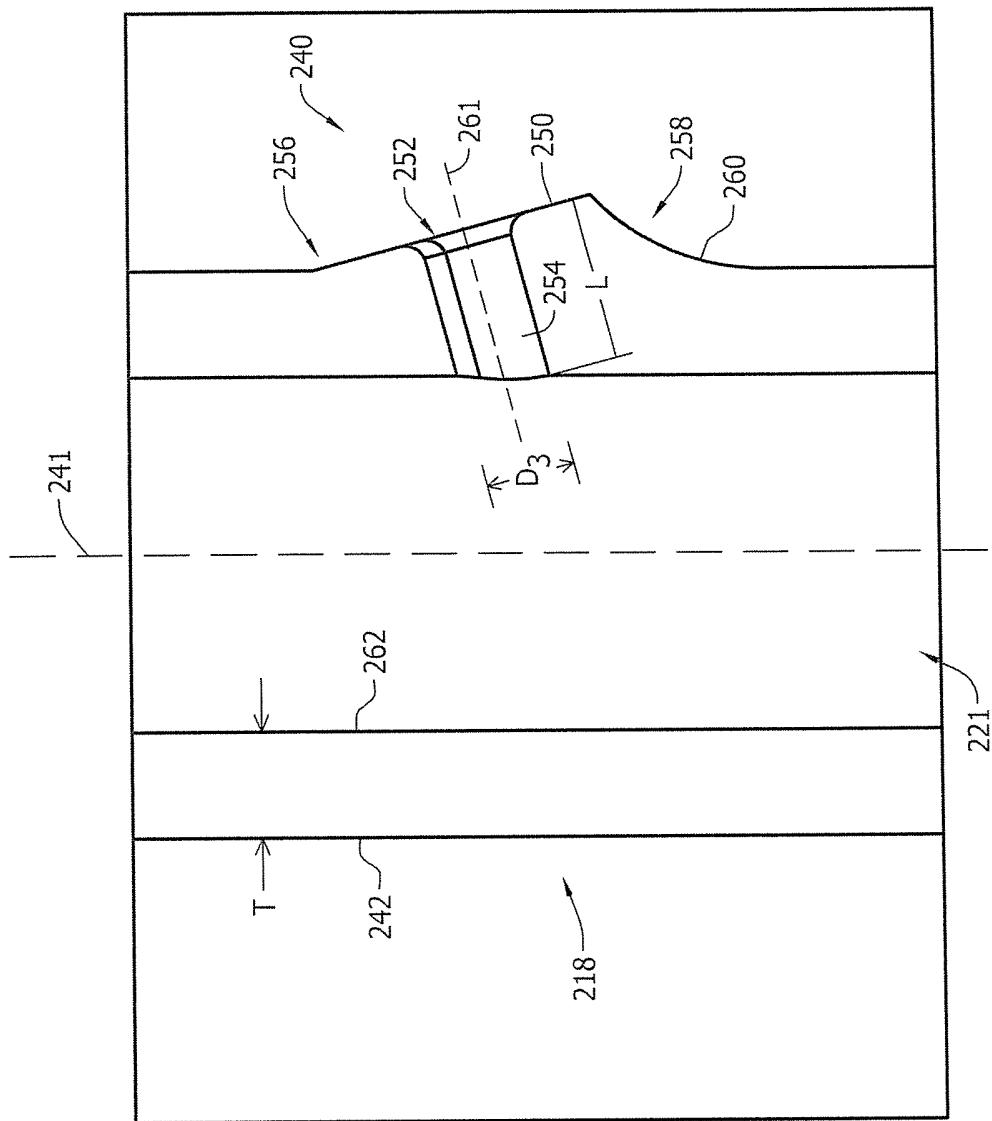


FIG. 7