



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 102 53 794 B4 2005.03.17**

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **102 53 794.1**
 (22) Anmeldetag: **19.11.2002**
 (43) Offenlegungstag: **17.06.2004**
 (45) Veröffentlichungstag
 der Patenterteilung: **17.03.2005**

(51) Int Cl.7: **B05B 7/20**
B05B 7/14

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden.

(71) Patentinhaber:
Hühne, Erwin Dieter, 79227 Schallstadt, DE

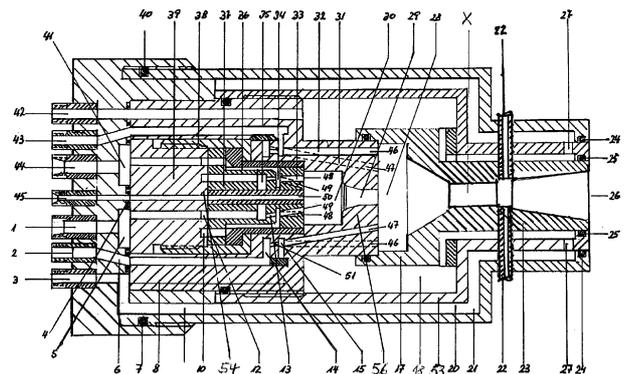
(74) Vertreter:
Schmid, R., Dipl.-Ing., Pat.-Anw., 68165 Mannheim

(72) Erfinder:
gleich Patentinhaber

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
 gezogene Druckschriften:
DE 197 32 815 A1
DE 44 43 811 A1
DE 44 29 142 A1
US 42 36 059

(54) Bezeichnung: **Niedertemperatur Hochgeschwindigkeits-Flammspritzsystem**

(57) Hauptanspruch: Niedertemperatur-Hochgeschwindigkeits-Flammspritzsystem zum thermischen Spritzen von pulverförmigen Spritzzusatzwerkstoffen mit mindestens einem Anschluß zum Einleiten von Betriebsmedien aus gasförmigen und flüssigen Brennstoffen in eine Brennkammer, wobei dieser mindestens eine Anschluß so ausgebildet ist, daß flüssiger und gasförmiger Brennstoff und Oxidationsgas jeweils separat in die Brennkammer geführt werden können, und mit einer Expansionsdüse, wobei stromabwärts der Brennkammer (30) eine zusätzliche Kammer als Mischkammer (28, X) mit einem Injektionssystem (43, 2, A1) für nichtbrennbare Gase vorgesehen ist, die Temperatur des aus der Brennkammer ausströmenden und in die Mischkammer mit einer Gastemperatur von 1600 bis 3,165°C einströmenden Hypersonic-Flammstrahls durch Zumischen von nichtbrennbaren Gasen in steuerbaren Mengen und mit wählbaren Zuströmdruck mit einer Gastemperatur, die der Entnahmetemperatur aus Stahlflaschen, Flaschenbündeln oder Tankanlagen entspricht, einstellbar absenkbar ist, und der Mischkammer (28, X) mindestens zwei Injektoren (22, B2) zum Einleiten von pulverförmigen Spritzzusatzwerkstoffen und die Expansionsdüse (26, 55) nachgeschaltet sind.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Niedertemperatur-Hochgeschwindigkeits-Flammspritzsystem zum thermischen Spritzen von pulverförmigen Werkstoffen mit den Merkmalen des Anspruchs 1.

[0002] Bekannt sind Hochgeschwindigkeitsflammspritzgeräte (HVOF = High Velocity Oxigen Fuel) zum Verspritzen von draht-, stab- und pulverförmigen Spritzzusatzwerkstoffen, die mit gasförmigen Brennstoffen in Verbindung mit Oxidationsgasen, z.B. Sauerstoff, betrieben werden können. Derartige HVOF-Brennersysteme zum Verspritzen von pulverförmigen Spritzzusatzwerkstoffen funktionieren praktisch nach einem Grundprinzip: Gasförmige und oder flüssige Brennstoffe werden, in Verbindung mit Sauerstoff, vorgemischt oder getrennt, in eine luft- oder wassergekühlte Brennkammer mit nachgeschalteter Expansionsdüse eingebracht und gezündet. Bei der Verbrennung der Betriebskomponenten, nämlich Brenngase oder fein zerstäubtes Kerosin gemischt mit Sauerstoff, entstehen in der wassergekühlten Brennkammer in Abhängigkeit von den jeweils verwendeten Brennstoffen Temperaturen von ca. 1600–3100°C bei einem Brennkammerdruck von zwischen 3,5–8,5 bar. Durch die extreme Gasexpansion beim Verbrennungsvorgang in der wassergekühlten Brennkammer strömt durch die axial der Brennkammer nachgeschaltete, im Strömungsquerschnitt, gegenüber dem Brennkammerdurchmesser entsprechend verkleinerte Expansionsdüse ein hoch energetischer Gasstrahl mit Überschallgeschwindigkeit und einer Gasstrahltemperatur von ca. 2650–3160° C. Die pulverförmigen, metallischen oder nichtmetallischen Spritzzusatzwerkstoffe werden in Abhängigkeit von ihrem Schmelzpunkt, ihrer chemischen Zusammensetzung, ihrer Partikelform und -struktur in einer spezifischen Korngrößenverteilung und in geeigneten Mengen entweder zentrisch in die Brennkammer oder radial aus zwei oder mehreren Injektoren, radial der Brennkammer nachgeschaltet in den Überschallflammsstrahl eingebracht. Die Spritzpartikel werden bei diesem Prozess schmelzplastisch oder schmelzflüssig auf Überschallgeschwindigkeit im Gasstrahl beschleunigt und mit hoher Geschwindigkeit von ca. 500–800 m/sec auf die Substratoberfläche geschossen, wo sich eine dichte, gut haftende Spritzschicht aufbauen kann. Auf Grund der hohen Gasstrahltemperatur in der Expansionsdüse, in die die Spritzzusatzwerkstoffe eingebracht werden, tritt in Folge der starken Temperatureinwirkung, in Abhängigkeit von der chemischen Zusammensetzung der Kornform, Partikelstruktur und -größe, eine mehr oder weniger starke Oberflächenoxidation der einzelnen schmelzplastischen und oder schmelzflüssigen Spritzpartikel ein. Diese Oxide verursachen nach dem Auftreffen der Spritzpartikel auf die Substratoberfläche eine abgeminderte Interpartikelhaftung. Die chemischen- und physikali-

schen Eigenschaften einer Spritzschicht mit hohen Oxidgehalten sind für spezielle Anwendungen in der Beschichtungstechnik nicht geeignet.

[0003] Es ist bekannt, dass Turbinenschaufeln für Flugzeugtriebwerke und stationäre Gasturbinen mit M-CrAlY's (dabei steht M für Co, Ni, Fe und Mischungen untereinander) gegen Hitzekorrosion und Heissgasoxidation der Turbinenschaufeloberflächen mittels VPS (Vakuum Plasma Spritzen) beschichtet werden. Auch in der modernen Medizintechnik werden Implantate, z.B. aus CoCr- und Titanlegierungen oder Titan u. a. mit Titanhydrid mit aufwendiger und kostenintensiver VPS-Technologie seit einigen Jahren erfolgreich beschichtet, um die Oxidation der Spritzpartikel während des Beschichtungsprozesses auszuschließen und somit oxidfreie Spritzschichten herzustellen, die den gestellten Anforderungen entsprechen.

Stand der Technik

[0004] Aus der DE 44 29 142 A1 ist ein Hochgeschwindigkeitsflammspritzsystem zum thermischen Spritzen von pulverförmigen Spritzzusatzwerkstoffen mit mindestens einem Anschluß zum Einleiten von Betriebsmedien aus gasförmigen und flüssigen Brennstoffen in eine Brennkammer bekannt. Dieser mindestens eine Anschluß ist so ausgebildet, daß flüssiger und gasförmiger Brennstoff und Oxidationsgas jeweils separat in die Brennkammer geführt werden können. Der Brennkammer ist eine Expansionsdüse nachgeschaltet. Stromabwärts der Brennkammer ist eine zusätzliche Kammer als weitere Brennkammer vorgesehen mit einer Zufuhr für Kühlgas, das zur Kühlung der Kammerwand, aber nicht zur einstellbaren Absenkung der Temperatur des Flammstrahls in der zusätzlichen Kammer dient. Der zusätzlichen Kammer nachgeschaltet sind zwei Injektoren zum Einleiten von pulverförmigen Spritzzusatzwerkstoffen.

[0005] Aus der DE 44 43 811 A1 ist ein Niedertemperatur-Hochgeschwindigkeitsflammspritzsystem zum thermischen Spritzen von pulverförmigen Spritzzusatzwerkstoffen bekannt, bei dem die Verbrennungstemperatur ausschließlich in der Brennkammer durch Einspeisen von Kühlgasen variiert wird. Aus der Druckschrift US 4236059 ist außerdem eine Plasmaspritzvorrichtung zum thermischen Spritzen von pulverförmigen Spritzzusatzwerkstoffen bekannt, bei der im Strömungsweg zwischen dem Plasmagenerator und den Pulverinjektoren eine Zufuhr für Kühlgase vorgesehen ist, mit der die Temperatur des aus dem Plasmagenerator austretenden Hochgeschwindigkeits-Plasmastrahls einstellbar abgesenkt werden kann.

Aufgabenstellung

[0006] Aufgabe der Erfindung ist es, ein verbessertes und kostengünstigeres Niedertemperatur-Hochgeschwindigkeits-Flammspritzsystem zu schaffen, welches die Verarbeitung von oxidationsempfindlichen Wirkstoffen mit Schmelztemperaturen $> 800^{\circ}\text{C}$ ermöglicht und gleichzeitig die Oxidation der Wirkstoffe während ihrer Flugphase praktisch verhindert. Eine weitere Aufgabe der Erfindung ist es, ein Niedertemperatur-Hochgeschwindigkeits-Flammspritzsystem zu schaffen, das den bisherigen Verwendern der HVOF-Technik eine Nachrüstperspektive bietet, um vorhandene Geräte aufzuwerten.

[0007] Die Lösung erfolgt erfindungsgemäß mit einem Niedertemperatur-Hochgeschwindigkeits-Flammspritzsystem mit den Merkmalen des Anspruchs 1. Vorteilhafte Ausgestaltungen sind mit den Unteransprüchen dargestellt.

[0008] Gemäß der Erfindung wird der Brennkammer von bekannten HVOF-Brennsystemen zum Betrieb mit gasförmigen und/oder flüssigen Brennstoffen in Verbindung mit Oxidationsgasen, zum Verspritzen von pulverförmigen Spritzzusatzwerkstoffen, mit axialer- und/oder radialer Pulverinjektion eine zusätzliche Mischkammer mit einem Injektionssystem mit nachgeschalteter Expansionsdüse hinzugefügt, in die in steuerbaren Mengen und mit wählbarem Zuströmdruck, durch eine Vielzahl von radialen- und/oder axial in Strömungsrichtung angeordnete Zuführungskanäle des Injektionssystems nichtbrennbare Gase (z.B. Argon, Helium, Stickstoff u.a.) sowie Formiergase, mengen- und druckmäßig steuerbar so zuführbar sind, dass der aus der Primärkammeraustrittsmündung von der Brennkammer aus- und in die Mischkammer einströmende Hypersonic-Flammstrahl mit einer Gastemperatur von ca. $1600\text{--}3165^{\circ}\text{C}$, durch Zumischen der nichtbrennbaren Gase mit einer Gastemperatur, die der Entnahmetemperatur aus Stahlflaschen, Flaschenbündeln oder Tankanlagen entspricht, auf gewünschte Gasstrahltemperaturen absenkbar ist. Spritzzusatzwerkstoffe mit einem Schmelzpunkt $> 1200^{\circ}\text{C}$ wie z.B. Cr-Stahl, CrNi-Stahl, sowie die Superlegierungen "M-CrAlY" u.a. können gemäß der Erfindung verarbeitet werden. Fluorhaltige Kunststoffe, wie z. B. Teflon, Halar, sowie neuartige Spritzzusatzwerkstoffe, wie metallisch, karbidische und/oder oxidkeramische, pulverförmige Werkstoffe mit Anteilen von fluorhaltigen Kunststoffen von $> 54\text{--}30\%$ Gewichtsanteilen, deren Verarbeitung eine genau einstellbare Temperatur von z. B. ca. 430°C voraussetzt, können gemäß der Erfindung auch verarbeitet werden, weil die Gasstrahltemperatur exakt auf die erforderliche Prozesstemperatur eingestellt werden kann, ohne dass es zu einem Zersetzungsprozess durch Überhitzen der fluorhaltigen Kunststoffe und dadurch zur Bildung von giftigen, neurosen Gasen kommen und

die spezifischen technisch physikalischen Eigenschaften der fluorhaltigen Kunststoffe dabei verloren gehen würde. Die Zugabe der nichtbrennbaren Gase in die Mischkammer beeinträchtigt die Verbrennung in der stromaufwärts gelegenen Brennkammer in keiner Weise, so daß die Zumischung der nichtbrennbaren Gase in die Mischkammer durch die Verbrennung in der Brennkammer nicht eingeschränkt ist. Der aus der Mischkammer in die nachgeschaltete, wahlweise zylindrisch, konisch und/oder laval förmig ausgebildete Expansionsdüse einströmende, auf seine Solltemperatur abgesenkte Gasstrahl wird aus mindestens zwei radialen oder mit eingestelltem Winkel zwischen ca. 45° bis 90° der Mischkammeraustrittsmündung nachgeordneten Injektoren mit dem entsprechenden pulverförmigen Spritzzusatzwerkstoff beschickt, der im Gasstrahl auf dessen Temperatur aufgeheizt, beschleunigt und mit der kinetischen Energie des Gasstrahles auf die Substratoberfläche aufgeschossen wird. Der erfindungsgemäße "Low Temperature Hyperkinetik" HVOF-Brenner ist bezüglich Werkstoff, Funktionsbauteilen und in seiner Dimensionierung so ausgelegt, dass ausreichende Betriebssicherheit des Brennersystems bei ausreichend hohen Zuströmdrücken der gasförmigen und/oder flüssigen Brennstoffe zur Absicherung gegen Rückströmung, wie nichtbrennbare Kühlgase zwischen ca. $5\text{--}20$ bar, sowie Primär- und Mischkammerdrücken in der gleichen Größenordnung gewährleistet ist.

[0009] Das erfindungsgemäße Niedertemperatur-Hochgeschwindigkeits-Flammspritzsystem ermöglicht die Nachrüstung, bzw. Modifikation von dem Stand der Technik entsprechenden HVOF-Brennersystemen durch die Nachrüstung einer Mischkammer mit z.B. radialer Injektion und Zumischung von nichtbrennbaren Gasen zur beliebigen Absenkung der hohen Temperatur des Hypersonic-Gasstrahles, der aus der Brennkammer (Primärkammer) die nachgerüstete Mischkammer (Sekundärkammer) durchströmt.

[0010] Der Vorteil der erfindungsgemäßen Beschichtungstechnologie liegt u.a. darin begründet, dass praktisch alle pulverförmigen Spritzzusatzwerkstoffe im Schmelzpunktbereich $200\text{--}2000^{\circ}\text{C}$ verarbeitet werden können.

[0011] Durch die steuerbare Wahl der Mischungsverhältnisse zwischen gasförmigen bzw. flüssigen Brennstoffen mit Oxidationsgasen kann je nach Bedarf eine unter-, über- oder stöchiometrische Hypersonic-HVOF-Flamme eingestellt werden.

[0012] Durch die Möglichkeit der Zumischung steuerbarer Mengen und bei steuerbar einstellbaren Zuströmdrücken und/oder -temperaturen von nicht brennbaren Gasen in den "HyperKinetic-Gasstrahl" kann dessen Strahltemperatur und dessen kinetische Energie den jeweiligen Erfordernissen flexibel ange-

passt werden. Durch die spezifische Ausbildung im Bereich der Pulverzuführung in das Gerätesystem, kann mit kostengünstigen, extremen Niederdruck Pulverförderern gearbeitet werden.

[0013] Ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel der Erfindung wird anhand von Figuren nun näher beschrieben. Es zeigen:

[0014] Fig. 1: ein Hypersonic-HVOF-Brennersystem Typ "TopGun K" (Kerosin) des Standes der Technik und

[0015] Fig. 2: einen Querschnitt durch das Brennersystem von Fig. 1,

[0016] Fig. 3: ein Niedertemperatur-Hochgeschwindigkeits-Flammspritzsystem gemäß der Erfindung,

[0017] Fig. 4: ein weitere Ausgestaltung des Niedertemperatur-Hochgeschwindigkeits-Flammspritzsystems gemäß der Erfindung und

[0018] Fig. 5: eine Ansicht des Heckflansches des Niedertemperatur-Hochgeschwindigkeits-Flammspritzsystems von Fig. 4.

Ausführungsbeispiel

[0019] Fig. 1: Eine Hochgeschwindigkeitsflammspritzkanone **10** enthält einen Anschluß **9** zum Einleiten von Betriebsmedien aus gasförmigen und flüssigen Brennstoffen, die dem Anschluß **9** unter Hochdruck zugeführt werden. Durch einen Kanal **1** mit einer nadelförmigen Einspritzdüse **11** des Anschlusses **9** wird flüssiger Brennstoff, wie z. B. Kerosin, durch Kanäle **2** des Anschlusses **9** wird gasförmiger Brennstoff, wie z. B. Wasserstoff, und durch Kanäle **3** des Anschlusses **9** wird Oxidationsgas, wie z. B. Luft oder Sauerstoff, geleitet.

[0020] Anschluß **9** ist am äußeren Umfang und an einer planen Endfläche **12** gas- und flüssigkeitsdicht in ein Mundstück **4** eingefasst. An das Mundstück **4** ist mit einer Dichtung ein Brennkammergehäuse **6** angeflanscht. Das Brennkammergehäuse **6** enthält eine Brennkammer **8** und anschließend an die Brennkammer **8** eine Expansionsdüse **13**. Radial an der Expansionsdüse **13** sind Düsen **7** für die Injektion von Spritzzusatzwerkstoffen vorgesehen.

[0021] Mundstück **4** liegt an der planen Endfläche **12** des Anschlusses **9** plan und gas- und flüssigkeitsdicht an. Durch eine Zentralbohrung **14** in Mundstück **4** ragt die nadelförmige Einspritzdüse **11** ein kleines Stück über eine Stirnseite **19** des Mundstücks **4** hinaus in die Brennkammer **8**. Koaxial zu den Kanälen **2** sind im Mundstück **4** Anschlußbohrungen **15** mit engerem Querschnitt enthalten. Kanäle **3** münden in eine Kammer **16** zwischen äußerem Umfang des An-

schlusses **9** und Mundstück **4**. Bohrungen **17** in Mundstück **4** verbinden Kammer **16** mit der Brennkammer **8**. Das über die Stirnseite **19** des Mundstücks **4** in die Brennkammer **8** ragende Stück der nadelförmigen Einspritzdüse **11** ist im Betrieb vorzugsweise glühend heiß, so daß das hindurchtretende Kerosin verdampft wird und gasförmig in die Brennkammer **8** strömt.

[0022] Die Hochgeschwindigkeitsflammspritzkanone **10** kann in eine Peripherie montiert sein, die der aus der DE 197 32 815.6 entspricht. Die Offenbarung der DE 197 32 815.6 wird vollinhaltlich in die vorliegende Beschreibung aufgenommen. Die einzelnen Kanäle können variabel mit unterschiedlichen Brennkomponenten beaufschlagt sein.

[0023] Fig. 2: Entsprechende Merkmale sind mit den Bezugszeichen aus Fig. 1 versehen. Die Stirnseite **19** des Mundstücks **4** weist auf konzentrischen Ringen die Bohrungen **17**, die Anschlußbohrungen **15** und die Zentralbohrung **14** auf.

[0024] Fig. 3: Vor Inbetriebnahme wird einem Niedertemperatur-Hochgeschwindigkeits-Flammspritzsystem am Anschluss **3** Kühlwasser bei einem Zuströmdruck > 8 bar zugeführt. Das Kühlwasser gelangt über Kanal **21** über die Radialbohrungen **27** in den Kühlwasserringraum **18**, der durch die Zwischenhülse **53** und die Außenwand der Expansionsdüse **23** gebildet wird, strömt alsdann über den Ringraum, der durch die Zwischenhülse **53** und die Sekundärkammer-Außenwand **56** gebildet wird, um letztendlich über eine Abströmbohrung, die mit dem Anschluss **47** verbunden ist, auszuströmen. Durch die voran beschriebene Kühlwasserführung werden alle der Betriebstemperatur ausgesetzten Funktionsteile um die Mischkammer **28** während des Betriebes optimal gekühlt.

[0025] Nachdem das Kühlsystem des Niedertemperatur-Hochgeschwindigkeits-Flammspritzsystem aktiviert ist, wird an den Anschlussstutzen **1** über eine vorgeschaltete Explosionsschutzsicherung mit integrierter Gas-Rückstromsicherung Oxidationsgas (vorwiegend Sauerstoff) bei einem Zuströmdruck > 5 bar (max. 40 bar) zugeführt und gelangt über die Verteilernute **5** über eine axiale Bohrung in die radiale Sauerstoffverteiler-nute **54** des Mischbockträgers **39**. Von hier aus gelangt es über einen Vielzahl von Axialkanälen in den Ringraum **35**, um dann in axiale bzw. fokussierend in Strömungsrichtung angeordnete verengte Injektormischbohrungen **48**, **49** zu gelangen. Die hoch beschleunigten Sauerstoffströme durchströmen den mit Wasserstoff als Brenngas gefüllten Injektoringkanal **34**, der über den Anschluss **44** mit vorgeschaltetem Sicherheitsautomat mit integrierter Gasrückstromsicherung mittels der Zuführungskanäle **36** in den Injektoringkanal **34** bei einem Zuströmdruck > 8 bar eingespeist wird, um alsdann

stirnseitig aus den konzentrisch um die Zentralbohrung angeordneten Injektormischbohrungen **48** und **49** in den Brennkammerraum **30** als vorgemischtes Brenngas-Sauerstoffgemisch (vorwiegend Sauerstoff-Wasserstoffgemisch) einzumünden.

[0026] Das Brenngas-Sauerstoffgemisch wird bezüglich des Mischungsverhältnisses so gewählt, dass bei der Zündung des Gemisches eine stöchiometrische Verbrennung in der Brennkammer **30** stattfindet. Vor der Zündung strömt das Gemisch aus Sauerstoff und Brenngas aus der verengten Austrittsbohrung **29** und durchströmt die Mischkammer **28** (Sekundärkammer), um dann die zentrale Abgangsbohrung X der Mischkammer **28** zu durchströmen und schließlich als Brenngas-Sauerstoffgemisch aus der lavaldüsenförmig ausgebildeten Expansionsdüsenbohrung **26** stirnseitig auszutreten, wo das Brenngas-Sauerstoffgemisch elektrisch gezündet wird.

[0027] Bei dieser Operation wird der Zuströmdruck für Brenngas und Sauerstoff so gewählt, dass die Zündgeschwindigkeit des aus der Expansionsdüsenmündung austretenden Brenngas-Sauerstoffgemisches höher ist als die Ausströmgeschwindigkeit des Brenngas-Sauerstoffgemisches, so dass die Flamme in die Brennkammer **30** zurück zündet. Nun werden die Zuströmdrücke für beide Betriebsgase, Brenngas und Sauerstoff in einem vorgegebenen Zeitintervall von z. B. 5 sec auf die Sollwerte hochgefahren, so dass aus der Ausgangsbohrung "29" ein Hypersonic-Flammenstrahl mit einer Temperatur $> 2.600^{\circ}\text{C}$ entsteht, der mit sehr hoher Geschwindigkeit die Mischkammer **28** durchströmt, um über die zentrale Abgangsbohrung X in die Expansionsdüsenbohrung **26** zu gelangen und stirnseitig auszutreten.

[0028] Dann werden über die Anschlüsse **2** und/oder **43** ein oder zwei verschiedene nicht brennbare Gase mit einem Zuströmdruck > 10 bar eingespeist, die über entsprechende Bohrungen und Kanäle **14**, **31**, **51** gemischt oder auch ungemischt über die konzentrisch, teilweise fokussierend um die zentrale Austrittsbohrung **28** angeordneten Bohrungen **46**, **47** in die Sekundärkammer **28** einmünden und den Hypersonic-Flammenstrahl auf die gewünschte Temperatur absenken.

[0029] Der abgekühlte "HyperKinetic-Gasstrahl" besitzt nun die gewünschte Temperatur und strömt durch die zentrale Abgangsbohrung X, um dann die Expansionsdüsenbohrung **26** zu durchströmen und stirnseitig mit sehr hohem kinetischem Strahlgeschwindigkeit von > 1.000 m/sec., auszutreten.

[0030] Die Spritzpulverzuführung in den "HyperKinetic-Gasstrahl" erfolgt über zwei oder mehrere radial zur Strahlrichtung, zwischen der Abgangsbohrung X und der Expansionsdüsenbohrung **26** angeordnete

Injektoren **22** in die im Durchmesser erweiterte Expansionsdüsenbohrung **26** in dem "Hyper-Kinetic-Gasstrahl", in dem das Pulver auf die Gasstrahltemperatur aufgeheizt und mit der kinetischen Energie des "HyperKinetic-Gasstrahles" von > 1.000 m/sec, auf die Substratoberfläche aufgeschossen wird, um eine praktisch oxidfreie, dichte Spritzschicht mit hervorragender Interpartikelhaftung mit exzellenter Anbindung an den Grundwerkstoff zu bilden.

[0031] Die Zentralbohrung **45** kann zur Messung des Drucks in der Brennkammer **30** herangezogen werden. Die so ermittelten Messdaten werden über eine Prozesssteuerung (nicht dargestellt) digital angezeigt und u. a. als Parameter zur Prozesssteuerung herangezogen.

[0032] Fig. 4, 5: Ein an sich bekanntes Hochgeschwindigkeits-Flammspritzsystem mit Kerosin als Brennstoff weist zur Aufrüstung zum Niedertemperatur-Hochgeschwindigkeits-Flammspritzsystem einander gegenüber liegende Injektoren A1 für nichtbrennbares Gas auf, die mit einem Einsatz **62** an einen Endquerschnitt **37** des bekannten Hochgeschwindigkeits-Flammspritzsystems montierbar sind. Der Einsatz **62** bildet nach einem Durchlass eine Mischkammer X zu einer Expansionsdüse **55** mit einem Injektionssystem B2 für Pulverinjektoren **22**.

[0033] Vor Inbetriebnahme wird dem Niedertemperatur-Hochgeschwindigkeits-Flammspritzsystem an einem Anschlussstutzen **33** Kühlwasser bei einem Zuströmdruck > 5 bar mit ca. $16-20^{\circ}\text{C}$ Eingangstemperatur zugeführt. Brennkammer **30** und Flanschmutter **58** bilden einen Kühlwasserringraum. Das Kühlwasser gelangt über Kanäle zwischen einem Wassermantel **61** und einer Zwischenhülse **53** bis zur Austrittsmündung der Expansionsdüse **55**, strömt dann durch eine Vielzahl von Radialbohrungen in der Zwischenhülse **53** und kühlt die Wandung der Expansionsdüse **55**, die Wandung der zylindrischen Mischkammer X mit den Injektoren A1 für nichtbrennbares, kaltes Gas. Beim Rückströmen kühlt das Kühlwasser die Außenwand der Brennkammer **30** und einen Sauerstoff-Kerosin-Gemischblock **17**, um letztendlich über Kanäle aus dem Anschlussstutzen **57** auszuströmen über eine Schlauchleitung zu einem externen Kühlsystem (nicht dargestellt). Durch die voran beschriebene Kühlwasserführung erwärmt sich das Kühlwasser auf über 60°C . Brennkammer **30** wird während des Betriebes optimal gekühlt. Im externen Kühlsystem des Kreislaufs wird das Kühlwasser auf $16-20^{\circ}\text{C}$ abgekühlt, bevor es wieder in den Anschlussstutzen **33** eingespeist wird.

[0034] Nachdem das Kühlsystem des Niedertemperatur-Hochgeschwindigkeits-Flammspritzsystem aktiviert ist, wird das Kerosin-Sauerstoffgemisch mit einer in die Brennkammer **30** ragenden Spezial-Zündkerze **59** gezündet. Sauerstoff wird bei einem Zu-

strömdruck > 8 bar über Anschlussstutzen **52** zugeführt und gelangt über konzentrisch um die Zentralbohrung des Düsenträgers **20** angeordnete axiale Bohrungen und radial-axiale Druckausgleichskammern für Sauerstoff und Kerosin über eine Vielzahl von axial bzw. fokussierend in Strömungsrichtung angeordneten Bohrungen in die Brennkammer **30**.

[0035] Über den Anschluss **60** wird Kerosin mittels einer Kraftstoffpumpe mit einem Zuströmdruck > 8 bar eingespeist und gelangt über die radial-axiale Druckausgleichskammer des Düsenträgers **20** über konzentrisch, axial um die Zentralbohrung des Düsenträgers **20** angeordnete Kanäle in mindestens vier Zerstäuberbohrungen des Mischblocks **17**, die auf einem inneren Teilkreis konzentrisch fokussierend um die Zentralbohrung **20** mit Spezial-Zündkerze **59** angeordnet sind und in die Brennkammer **30** münden. In der Brennkammer **30** wird das fein zerstäubte Kerosin mit dem Sauerstoff gemischt und gezündet.

[0036] Die bei der Verbrennung des Kerosin-Sauerstoffgemisches entstehende Hochgeschwindigkeitsflamme durchströmt die zentrale Austrittsbohrung der Brennkammer **30** und die Mischkammer X mit mindestens zwei Injektoren A1 für nichtbrennbares Gas und gelangt dann in den Bereich des Injektionssystems B2 für Pulverinjektoren **22** der injektorförmigen, wassergekühlten Expansionsdüse **55**, wo die Flamme stirnseitig austritt.

[0037] Nach Zündung des Kerosin-Sauerstoffgemisches werden die jeweiligen Zuströmdrücke für das Kerosin und den Sauerstoff auf die Sollwerte größer 8 bar hochgefahren und das Mischungsverhältnis so gewählt, dass bei der Zündung des Gemisches eine stöchiometrische Verbrennung in der Brennkammer **30** stattfindet. Der Brennkammerdruck steigt dabei auf Werte größer 8 bis größer 20 bar an. Die extreme Gasexpansion bei der Verbrennung führt zu einem Hypersonic-Gasstrahl, der mit einer Gasstrahltemperatur von ca. 2 600–2 900° C aus der verengten Zentralbohrung der wassergekühlten Brennkammer **30**, der Mischkammer X (Sekundärkammer), und durch die zylindrisch- oder lavaldüsenförmig ausgebildete Expansionsdüsenbohrung **55** stirnseitig austritt.

[0038] Über die Injektoren A1 können nicht brennbare Gase mit beliebigen Zuströmdrücken und Mengen in die zylindrische Mischkammer X in den hochenergetischen Hypersonic-Flammstrahl eingebracht werden, um diesen auf die gewünschte Temperatur ab zu senken.

[0039] Der abgekühlte "HyperKinetic-Gasstrahl" besitzt nun die gewünschte Temperatur und strömt durch die zentrale Abgangsbohrung X, um dann die Expansionsdüsenbohrung **55** zu durchströmen und stirnseitig mit sehr hoher kinetischer Strahlgeschwin-

digkeit von > 1.000 m/sec auszutreten.

[0040] Die Spritzpulverzuführung in den "HyperKinetic-Gasstrahl" erfolgt über die zwei oder mehrere radial zur Strahlrichtung, zwischen der Abgangsbohrung X und der Expansionsdüsenbohrung **55** angeordnete Injektoren B2, in die Expansionsdüse **55** in den "HyperKinetic-Gasstrahl", in dem das Pulver auf die Gasstrahltemperatur aufgeheizt und mit der kinetischen Energie des "HyperKinetic-Gasstrahles" von > 1.000 m/sec auf die Substratoberfläche aufgeschossen wird, um eine superdichte oxidfreie, Spritzschicht mit hervorragender Interpartikelhaftung mit exzellenter Anbindung an den Grundwerkstoff zu bilden.

Patentansprüche

1. Niedertemperatur-Hochgeschwindigkeits-Flammstritzsystem zum thermischen Spritzen von pulverförmigen Spritzzusatzwerkstoffen mit mindestens einem Anschluß zum Einleiten von Betriebsmedien aus gasförmigen und flüssigen Brennstoffen in eine Brennkammer, wobei dieser mindestens eine Anschluß so ausgebildet ist, daß flüssiger und gasförmiger Brennstoff und Oxidationsgas jeweils separat in die Brennkammer geführt werden können, und mit einer Expansionsdüse, wobei stromabwärts der Brennkammer (**30**) eine zusätzliche Kammer als Mischkammer (**28**, X) mit einem Injektionssystem (**43**, **2**, A1) für nichtbrennbare Gase vorgesehen ist, die Temperatur des aus der Brennkammer ausströmenden und in die Mischkammer mit einer Gastemperatur von 1600 bis 3,165°C einströmenden Hypersonic-Flammstrahls durch Zumischen von nichtbrennbaren Gasen in steuerbaren Mengen und mit wählbaren Zuströmdruck mit einer Gastemperatur, die der Entnahmetemperatur aus Stahlflaschen, Flaschenbündeln oder Tankanlagen entspricht, einstellbar absenkbar ist, und der Mischkammer (**28**, X) mindestens zwei Injektoren (**22**, B2) zum Einleiten von pulverförmigen Spritzzusatzwerkstoffen und die Expansionsdüse (**26**, **55**) nachgeschaltet sind.

2. Niedertemperatur-Hochgeschwindigkeits-Flammstritzsystem gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Injektionssystem (**43**, **2**, A1) mindestens einen radial- und/oder axial in Strömungsrichtung angeordneten Zuführungskanal aufweist, durch den mit steuerbarem Zuströmdruck die nichtbrennbaren Gase zuführbar sind.

3. Niedertemperatur-Hochgeschwindigkeits-Flammstritzsystem gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die nicht brennbaren Gase Argon, Helium, Stickstoff sind sowie Formiergase, die mengen- und druckmäßig steuerbar sind.

4. Niedertemperatur-Hochgeschwindigkeits-Flammstritzsystem gemäß Anspruch 1, dadurch ge-

kennzeichnet, dass der aus der Mischkammer (28, X) in die nachgeschaltete, wahlweise zylindrisch, konisch und/oder laval förmig ausgebildete Expansionsdüse (26, 55) einströmende, auf seine Solltemperatur abgekühlte Gasstrahl aus mindestens zwei radialen oder mit eingestelltem Winkel zwischen 45° bis 90° der Mischkammeraustrittsmündung nachgeordneten Injektoren (22, B2) mit dem entsprechenden pulverförmigen Spritzzusatzwerkstoff beschickbar ist.

5. Niedertemperatur-Hochgeschwindigkeits-Flammspritzsystem gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Zuströmdrücke der gasförmigen und/oder flüssigen Brennstoffe und der nichtbrennbaren Kühlgase zwischen 5 und 20 bar, sowie die Primär- und Sekundärkammerdrücke in der gleichen Größenordnung liegen.

6. Niedertemperatur-Hochgeschwindigkeits-Flammspritzsystem gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass an einen Endquerschnitt eines Hochgeschwindigkeits-Flammspritzsystems einander gegenüberliegende Injektoren (A1) für nichtbrennbares Gas vorgesehen sind, die mit einem Einsatz (2) des Hochgeschwindigkeits-Flammspritzsystems montierbar sind, der nach einem Durchlass die Mischkammer (X) zu der Expansionsdüse (55) mit dem Injektionssystem (B2) für Pulverinjektoren (22) aufweist.

7. Niedertemperatur-Hochgeschwindigkeits-Flammspritzsystem gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Spritzzusatzwerkstoffe Cr-Stahl, CrNi-Stahl oder Superlegierungen "M-CrAlY" sind.

8. Niedertemperatur-Hochgeschwindigkeits-Flammspritzsystem gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Spritzzusatzwerkstoffe Teflon, Halar oder andere fluorhaltige Kunststoffe sind.

9. Niedertemperatur-Hochgeschwindigkeits-Flammspritzsystem gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Spritzzusatzwerkstoffe metallische, karbidische und/oder oxidkeramische, pulverförmige Werkstoffe mit Anteilen von fluorhaltigen Kunststoffen von 5% bis 30% Gewichtsanteilen sind.

Es folgen 4 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

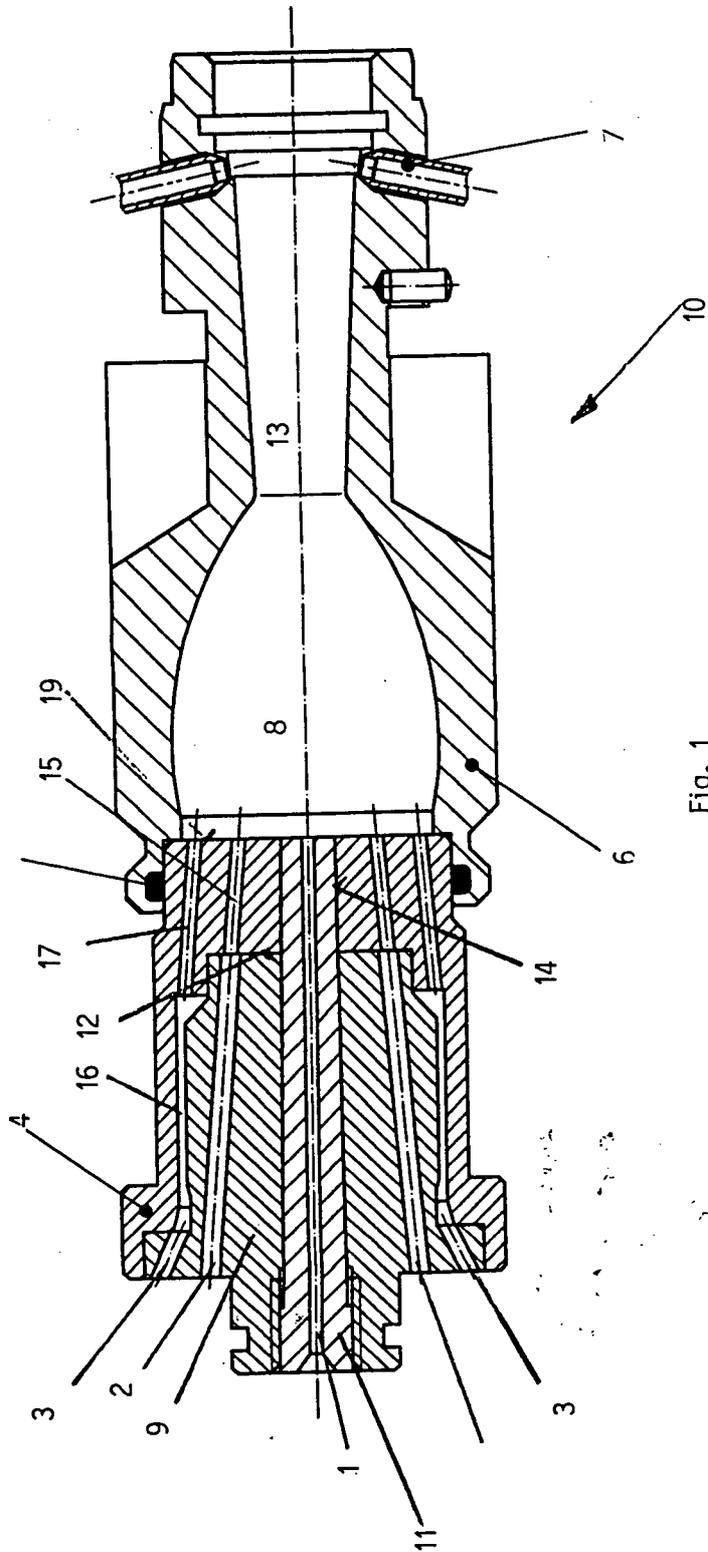


Fig. 1

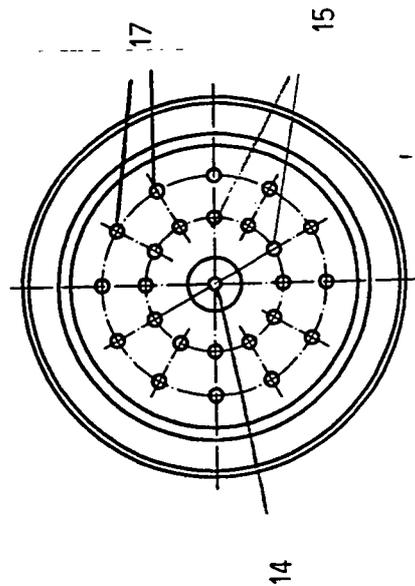


Fig. 2

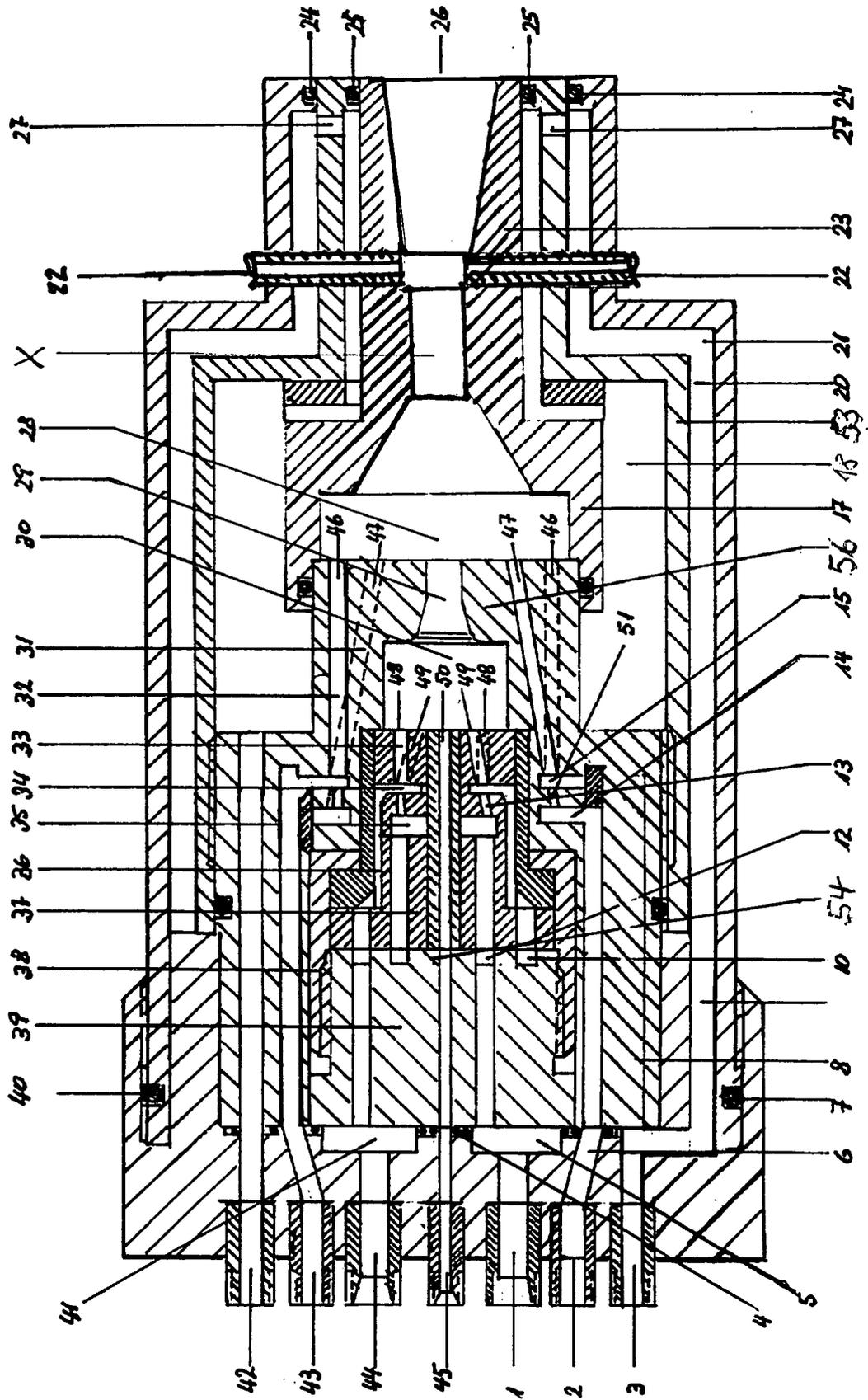


Fig. 3

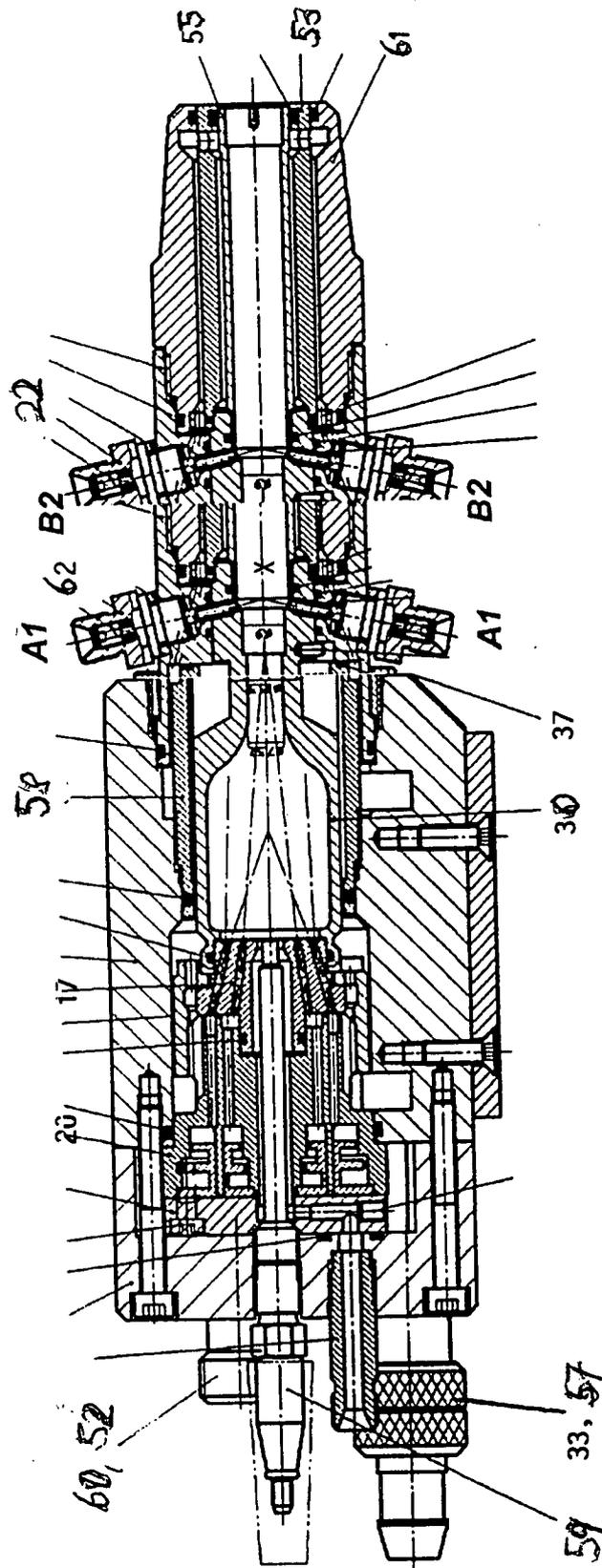


Fig. 4

