



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 602 11 027 T2** 2006.11.23

(12)

Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 1 463 607 B1**

(51) Int Cl.⁸: **B24C 5/04** (2006.01)

(21) Deutsches Aktenzeichen: **602 11 027.0**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US02/39125**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **02 805 547.3**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2003/053634**

(86) PCT-Anmeldetag: **06.12.2002**

(87) Veröffentlichungstag

der PCT-Anmeldung: **03.07.2003**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **06.10.2004**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **26.04.2006**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **23.11.2006**

(30) Unionspriorität:

10663 06.12.2001 US

(84) Benannte Vertragsstaaten:

**AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB,
GR, IE, IT, LI, LU, MC, NL, PT, SE, SI, SK, TR**

(73) Patentinhaber:

The Johns Hopkins University, Baltimore, Md., US

(72) Erfinder:

**ANAND, Umang, Baltimore, MD 21218, US; KATZ,
Joseph, Baltimore, MD 21228, US**

(74) Vertreter:

Scharlach und Kollegen, 80469 München

(54) Bezeichnung: **PORÖSES, GESCHMIERTES MISCHROHR FÜR ABRASIVEN FLUIDSTRAHL**

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

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

Beschreibung**HINTERGRUND DER ERFINDUNG****1. GEBIET DER ERFINDUNG**

[0001] Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf Verfahren und Vorrichtungen zur Materialabtragung mittels Fließmedien. Insbesondere betrifft die Erfindung ein verbessertes Rohr zum Vermischen und zum Fokussieren in einer Vorrichtung zum Schneiden mittels eines abrasiven Flüssigkeitsstrahls mit hoher Geschwindigkeit.

2. BESCHREIBUNG DES STANDES DER TECHNIK

[0002] Schneiden mit Hilfe von Wasser ist eine bekannte Technologie, die sich seit den 70er Jahren durchgesetzt hat. Das Schneiden mittels Wasserstrahlen ist eine von mehreren Technologien, die als Energiestrahlschnitten bekannt sind. Diese Techniken sind beispielsweise das Schneiden mittels Laserstrahlen, mittels Plasmabögen und auch mit Hilfe von Sauerstoff-Acetylen-Schneidbrennern.

[0003] Durch die Verwendung einer Hochdruckpumpe, um Wasser auf ultrahohe Drücke zu bringen und dann das Wasser durch eine feine Öffnung zu pressen, kann man Wasserstrahlen erzeugen, deren Geschwindigkeiten bis zur dreifachen Schallgeschwindigkeit reichen können. Ein derart konzentrierter Wasserstrahl besitzt eine ausreichende kinetische Energie, um die meisten schwierig zu trennenden Materialien zu schneiden, und wenn darüber hinaus noch Schleifeteilchen mit dem Wasserstrahl gemischt werden, um einen schleifmittelhaltigen Wasserstrahl zu bilden, so ist es möglich, praktisch jegliche Art von Materialien zu trennen.

[0004] Wegen ihrer erhöhten Schleifwirkung machen schleifmittelhaltige Wasserstrahlen fast 60% der Wasserstrahl-Schneidsysteme aus. Typische Anwendungen sind die Schneid- und Trennarbeiten bei der Herstellung von Strukturen aus ausserordentlich harten Materialien wie Titan und die Superlegierungen, und auch bei verschiedenen Anwendungen im Bergbau und in der Bohrtechnik, bei denen harte Gesteine auszubrechen sind. Mittlerweile werden schleifmittelfreie Wasserstrahlen in der Industrie zur Reinigung, zur Vorbereitung von Oberflächen und zum Abtragen von Anstrichen eingesetzt sowie zum Schneiden von Nahrungsmittelprodukten, Papier und Kunststoffen und auch von gewebten Erzeugnissen (beispielsweise Teppiche) und nicht gewebten Erzeugnissen (beispielsweise Filtermaterialien). Auch sind bereits Schneidstrahlen, die mit salzhaltigem Wasser arbeiten, in der Medizin angewendet worden.

[0005] Die allgemeine Installation eines typischen Schneidsystems mit Hilfe eines abrasiven Wasser-

strahls ist in [Fig. 1](#) gezeigt. Die Anlage besteht aus einem System zur Aufbereitung des eingespeisten Wassers, einer Druckpumpe für einen optimalen Betrieb der nachgeschalteten Filter, einer Verstärkerpumpe, welche den Wasserdruck auf ultrahohe Werte erhöht, weiterhin aus Hochdruckleitungen, welche das unter ultrahohem Druck stehende Wasser dem Schneidkopf des Systems zuführen, einer Zufuhr von Schleifeteilchen, die anschliessend im Schneidkopf mit dem unter ultrahohem Druck stehenden Wasser gemischt werden, sowie einem Wasser-Auffangbehälter und einem Aufbereitungssystem für das aufgefangene Wasser.

[0006] Der typische Schneidkopf eines abrasiven Wasserstrahls ist in [Fig. 2](#) dargestellt. Eine Bohrung in einem Saphir, einem Diamanten oder einem Rubin wird als Ausströmöffnung eingesetzt, um einen Wasserstrahl mit hoher Geschwindigkeit zu erzeugen. Der typische Durchmesser derartiger Bohrungen beträgt 0,07 bis 0,7 mm. Ein trockenes Schleifmittel, beispielsweise Granat, Kieselsäure oder Aluminiumoxyd (mit typischen Teilchengrößen im Bereich von 125 bis 180 Mikron), wird in die Mischkammer eingesaugt und in dieser mitgenommen, und zwar durch das Vakuum, welches vom Wasserstrahl erzeugt wird. Das Schleifmittel vermischt sich mit dem Wasserstrahl, und der Strahl in Form einer Suspension nach dem Aufschlännen wird dann in einem Mischrohr (welches auch Fokussierrohr genannt wird) konzentriert, bevor er den Schneidkopf durch die Ausgangsöffnung des Mischrohres verlässt. Die Durchmesser der Durchgänge durch das Mischrohr betragen 0,5 bis 3 mm bei Rohrlängen von 50 bis 150 mm.

[0007] Ein ähnlicher Schneidkopf ist im Dokument US-4'648'215 gezeigt, welches als der nächstliegende Stand der Technik bezüglich des Patentanspruchs 1 angesehen wird.

[0008] Die weitaus grösste Schwierigkeit, die bei den abrasiven Wasserstrahlen auftritt und die gegenwärtig deren Anwendungen begrenzt, ist die Abtragung und die Abnutzung der Wandungen des Mischrohres. Da die Geschwindigkeit des Wasserstrahls Werte zwischen 100 und 500 m/s annimmt und die Schleifeteilchen eine Grösse haben, die bis zu 40% des Durchmessers des Mischrohres betragen können, müssen die Mischrohre oft ausgewechselt werden, manchmal sogar schon nach einigen Stunden.

[0009] Zusätzlich führt die Abnutzung der Wandungen des Mischrohres dazu, dass der Strahl unregelmässig wird, wodurch die Breite des Schnittes (der Einkerbung) am Werkstück, das vom Strahl zu bearbeiten ist, zunimmt; weiterhin tritt eine Abnahme der Qualität der Schneidoberfläche sowie ein Verlust an Schneidpräzision ein. Daher erfordert die Abnutzung der Wandungen des Mischrohres eine dauernde Wartung und Überwachung, was wiederum zum Still-

setzen der Maschine und zur Erhöhung der Betriebskosten solcher Systeme führt.

[0010] Fig. 3 zeigt eine schematische Darstellung der Vorgänge, die bei der Abnutzung eines Mischrohres auftreten. Im Anfangsbereich des Mischrohres wird als vorherrschender Vorgang eine Erosion durch schlagartiges Auftreffen der Schleifteilchen angesehen, da die Schleifteilchen mit unterschiedlichen Prallwinkeln auf die Wandungen des Mischrohres auftreffen. Weiter stromabwärts haben die Schleifteilchen die Tendenz, sich parallel zu den Rohrwandungen zu bewegen, und die Art der Abnutzung wechselt von einer Aufschlaggerosion zu einer schleifenden, abrasiven Erosion.

[0011] Gegenwärtige Versuche, das Problem der Abnutzung zu lösen, können wie folgt aufgezählt werden: (a) Verwendung von Mischrohren, die aus extrem harten Werkstoffen bestehen (beispielsweise aus Verbundwerkstoffen mit Wolframkarbid); (b) Modifizierung der Strömungsstruktur unter Verwendung eines ringförmigen Wasserstrahls und Einführung der Schleifteilchen durch ein zentrales Rohr, wobei versucht wird, die Schleifteilchen im Abstand von den Wandungen des Mischrohres zu halten; (c) Modifizieren der Struktur der Strahlströmung durch Zufuhr der Schleifteilchen durch ein zentrales Rohr und Einleiten des Druckwassers durch radial nach innen gerichtete Kanäle, wobei sich die Einzelströmungen zu einer Strahlsuspension vereinigen, die dann im Mischrohr konzentriert wird; (d) Verwendung eines zentral angeordneten Ablenk Körpers vor dem Mischrohr zur Bildung eines Nachlauf-Wirbelstroms in Stromabwärtsrichtung, der dazu beiträgt, die Schleifteilchen im Kern des Wasserstrahls zu bewegen; (e) Verwendung von Schleifteilchen, die weicher als die Wandungen des Mischrohres sind; und (f) Versuche, die allgemeine Gestalt des Mischrohres so auszugestalten, dass seine Abnutzung auf einen Mindestwert gebracht wird.

[0012] Ein weiterer Versuch ist im Dokument US-5'921'846 beschrieben, welches den nächstliegenden Stand der Technik bezüglich des Patentanspruchs 8 darstellt.

[0013] Sämtliche zur Zeit zugänglichen Techniken, die Abnutzung des Mischrohres zu vermindern, weisen grössere Nachteile auf. Die ultraharten Materialien, welche für Mischrohre verwendet werden, sind kostspielig. Eine Veränderung der Struktur der Strahlströmung durch Einstellen sekundärer Strömungen ist nur bei relativ langsamen Strömungen und mit kleinen Schleifteilchen von Vorteil, wobei derartige Änderungen ebenfalls eine Ausdehnung des Strahls und sekundäre Strömungserscheinungen erzeugen, wodurch die Möglichkeiten begrenzt werden, das Schneidverfahren steuern zu können. Die Verwendung von Schleifteilchen, die weicher sind als

die Wandungen des Mischrohres, vermindert die Schneideffizienz.

[0014] Demgemäss besteht trotz eingehender Anstrengungen, die Abnutzung im Mischrohr eines Schneidsystems mit Flüssigkeitsstrahlen zu vermindern, immer noch ein dauernder Bedarf an weiteren Verbesserungen auf diesem Gebiet. Die vorliegende Erfindung schafft eine derartige Verbesserung.

3. AUFGABEN UND VORTEILE

[0015] Im Vorstehenden wurde ganz allgemein der Stand der Technik besprochen, auf den sich die vorliegende Erfindung stützt, damit der Kontext der vorliegenden Erfindung besser verstanden und gewürdigt werden kann. In dieser Beziehung ist es lehrreich, die Aufgaben und Vorteile der vorliegenden Erfindung zu betrachten.

[0016] Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist die Schaffung eines Fluidstrahl-Schneidsystems und des zugehörigen Verfahrens zur Verminderung der Abnutzung und der Abtragung im Mischrohr des Schneidstrahls.

[0017] Diese und andere Aufgaben und Vorteile der vorliegenden Erfindung gehen aus der folgenden Beschreibung mit den zugehörigen Zeichnungen und der Zusammenfassung hervor, wodurch die vorliegende Erfindung besser verständlich wird.

ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

[0018] Unter Berücksichtigung des Bedarfs bezüglich der Entwicklung eines verbesserten Mischrohres, welches eine grössere Widerstandsfähigkeit gegen eine Abnutzung durch die Mischungen der abrasiven Suspensionen aufweist, die durch das Rohr strömen, richtet sich die vorliegende Erfindung allgemein auf eine Befriedigung dieses oben genannten Bedarfs und auf die Überwindung der Nachteile, die bei den Vorrichtungen des Standes der Technik auftreten.

[0019] Erfindungsgemäss kann die vorstehend besprochene Aufgabe dadurch erfüllt werden, dass ein System zum Schneiden mittels eines abrasiven Flüssigkeitsstrahls und ein entsprechendes Verfahren gemäss den Ansprüchen 1 und 8 zur Verfügung gestellt werden.

[0020] Die vorliegende Erfindung ist in der oben stehenden Beschreibung eher allgemein zusammengefasst worden, und aufbauend auf dieser Zusammenfassung kann die Einzelbeschreibung, die nun folgt, besser verstanden und gewürdigt werden. Es sind natürlich zusätzliche Merkmale der Erfindung gegeben, die im Nachstehenden beschrieben werden und die zum Gegenstand eventueller Patentansprüche dieser Erfindung gemacht werden können.

KURZBESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0021] **Fig. 1** ist eine schematische Darstellung der einzelnen Bauelemente eines typischen Systems zum Schneiden mit einem abrasiven Wasserstrahl.

[0022] **Fig. 2** zeigt eine Querschnittsansicht eines typischen Schneidkopfes eines solchen abrasiven Flüssigkeitsstrahl-Schneidsystems.

[0023] **Fig. 3** zeigt schematisch die Vorgänge, die sich bei einer Abnutzung und Erosion an den Wandungen eines Mischrohres abspielen.

[0024] **Fig. 4** stellt eine Querschnittsansicht einer bevorzugten Ausführungsform einer Vorrichtung zum Schneiden mittels eines abrasiven Wasserstrahls gemäss vorliegender Erfindung dar.

BESCHREIBUNG DER BEVORZUGTEN AUSFÜHRUNGSFORM

[0025] Bevor nun mindestens eine Ausführungsform der vorliegenden Erfindung im Einzelnen erläutert wird, sollte darauf hingewiesen werden, dass die Erfindung in ihrer Anwendung bezüglich Einzelheiten der Konstruktion und Anordnung der in der folgenden Beschreibung oder in den Zeichnungen dargestellten Bestandteile nicht eingeschränkt ist. Vielmehr ist es möglich, die Erfindung in Form anderer Ausführungsformen zu realisieren bzw. auf verschiedene Arten auszuführen.

[0026] Es wird nun Bezug auf die Zeichnungen genommen, in welchen bevorzugte Ausführungsformen dargestellt sind und in denen die Bezugszeichen in allen Figuren gleiche oder ähnliche Elemente bezeichnen. In **Fig. 4** ist eine Vorrichtung **1** zum Schneiden mittels eines abrasiven Wasserstrahls der vorliegenden Erfindung dargestellt. Die Vorrichtung besteht aus einer Kammer **10** mit einer Eintrittsöffnung **12**, durch welche ein Wasserstrahl unter einem hohen Druck (50 bis 600 MPa bzw. 7,5 bis 90 kpsi) in die Kammer eintritt.

[0027] Der Wasserstrahl durchsetzt die Kammer **10** und reisst Schleifeteilchen mit, die unter einem niedrigen Druck durch einen Durchlass **14** in der Seitenwandung der Kammer zugeführt werden. Die Schleifeteilchen vermischen sich mit dem Wasser und bilden einen Suspensionsstrahl, der die Kammer durch den Auslass **16** verlässt und durch den Einlass **18** in das Fokussier- oder Mischrohr **20** der Vorrichtung eintritt.

[0028] Wie in **Fig. 4** dargestellt ist, verwendet diese Ausführungsform ein Mischrohr **20**, welches aus einem porösen Stab hergestellt ist, in den eine mittige Bohrung eingebracht worden ist oder welche beim Formen freigelassen wurde, und das Mischrohr weist demgemäss eine Umfangswandung **22** auf, die po-

rös ist, sowie eine Austrittsöffnung **24**, durch welche der Suspensionsstrahl das Mischrohr **20** verlässt. Die Aussenwandung **26** des Mischrohres ist von einem Behälter **28** für Öl oder eine Schmierflüssigkeit umgeben.

[0029] Der Behälter **28** für die Schmierflüssigkeit steht unter Druck, so dass die Schmierflüssigkeit durch die poröse Wandung gepresst wird und auf der Innenwandung des Mischrohres **20** einen dünnen Film eines Schmiermittels ausbildet, welcher dazu dient, die Wandung vor einer Abnutzung und einer Erosion zu schützen, die durch den Durchgang der Schleifmittelteilchen durch das Rohr verursacht werden.

[0030] Es wird darauf hingewiesen, dass die Querschnittsform des Strahls, der das Mischrohr verlässt, so konfiguriert werden kann, dass eine Vielzahl von Formen gebildet wird, indem die Querschnittsform des Mischrohres entsprechend ausgebildet wird. Beispielsweise ergibt die Verwendung eines kreisförmigen Durchgangs durch das Mischrohr einen Schneidstrahl mit kreisförmigem Querschnitt, wogegen die Anwendung eines ovalen Durchgangs durch das Mischrohr einen Schneidstrahl mit ovalem Querschnitt ergibt. Alle diese unterschiedlichen und möglichen Formen von Querschnitten sind im Geltungsbereich der vorliegenden Erfindung inbegriffen.

[0031] Beim Betrieb ist der Druck im Behälter für Schmierflüssigkeit höher als der Druck im Mischrohr **20**. Da das Schmiermittel vom Schmiermittelbehälter **28** ständig erneuert wird, werden Stellen, an denen Schleifmittelteilchen den Schutzfilm des Schmiermittels "angeknabbert" haben, wieder "repariert", und eine Beschädigung der Wandungen des Rohres wird vermindert oder ganz vermieden. Die Dicke des Schmiermittelfilms wird so gewählt, dass eine Berührung durch Aufschlagen von Teilchen im Strahl der Suspension auf die innere Umfangswandung des Mischrohres vermieden wird und die hohen Belastungskräfte auf die Wandung ausgeschlossen werden. Diese Kräfte würden zur Erosion der Wandung führen.

[0032] Eine ungefähre Analyse zur Bestimmung der erforderlichen Dicke der Schmiermittelschicht zeigt, dass beispielsweise eine Ölschicht mit einer Dicke von etwa 10 bis 20 Mikron ausreicht, um eine Berührung zwischen den Schleifmittelteilchen und der Rohrwandung zu verhindern, wobei der Strahl der Suspension einen Durchmesser von 500 Mikron und eine Geschwindigkeit von 200 m/s aufweist und die Schleifmittelteilchen einen Durchmesser von 150 Mikron und ein spezifisches Gewicht von 4 haben, und wobei die Flüssigkeit im Strahl Wasser ist. In diesem Beispiel sollte die kinetische Viskosität des Schmiermittels etwa das 1000fache derjenigen von Wasser (bei 25°C) betragen. Im allgemeinen hängt die erforder-

derliche Dicke des Schmiermittelfilms von den Strömungsbedingungen einschliesslich der Geschwindigkeit der Suspension, der Geometrie des Mischrohres, des spezifischen Gewichtes der Schleifmittelteilchen, deren Form und deren Schüttvolumen ab, sowie von der Viskosität der Schmiermittelflüssigkeit. In den meisten Fällen braucht die Dicke des Schmiermittelfilms nur wenige Prozent (etwa 0,5 bis 6%) des Durchmessers des Mischrohres ausmachen.

[0033] Auf Grund der Unterschiede der Viskositäten der Strömungsflüssigkeit und des Schmiermittels sowie der geringen Dicke des Schmiermittelfilms kann die Durchflussmenge an Schmierflüssigkeit auf sehr niedrigen Werten gehalten werden (üblicherweise unter 1 bis 5% des Durchsatzes der Trägerflüssigkeit, und in manchen Fällen sogar nur 0,01). Daher ist der Verbrauch an Schmiermittel relativ minimal.

[0034] Das Schmiermittel kann eine beliebige gewünschte Zusammensetzung aufweisen, solange das Schmiermittel einen schützenden Film auf der Innenwand des Mischrohres **20** aufbaut. Die Verwendung von flüssigen Polymeren schafft dort einen zusätzlichen Vorteil, wo hohe Scherbelastungen (größer als 107) auftreten, beispielsweise diejenigen im Mischrohr **20**, da flüssige Polymere die Neigung haben, unter solchen Bedingungen zu "härten" (d.h. sie verlieren die Eigenschaften einer viskosen Substanz und nehmen diejenigen eines plastischen Festkörpers an). Daher können flüssige Polymere viel mehr Energie und Belastungen von Schleifmittelteilchen aufnehmen, die sich seitlich bewegen. Synthetische, leichte Schmiermittel (beispielsweise Poly-alpha-Olefine), welche leicht durch ein poröses Medium gesaugt oder gedrückt werden können, üben bei niedrigen Strömungsbedingungen eine gewisse Schutzwirkung auf die Wandungen des Mischrohres **20** aus. Im allgemeinen steigt der Schutz gegen Abnutzung und Abtragung im Mischrohr **20** mit steigender Viskosität des Schmiermittels und mit steigenden Durchtrittsmengen an Schmierflüssigkeit.

[0035] Bei der bevorzugten Ausführungsform erhalten der Schmiermittelbehälter **28** und die Flüssigkeit des Schneidstrahles ihren Druck aus derselben Quelle. Auf Grund der hohen Strömungsgeschwindigkeit der Suspension durch das Mischrohr **20** und das fast unveränderliche Niveau der Flüssigkeit im Schmiermittelbehälter **28** entsteht eine Druckdifferenz zwischen der Innenseite und der Aussenseite der porösen Wandung des Mischrohres **20**, die im allgemeinen zum Durchdrücken der Schmierflüssigkeit durch die poröse Wandung ausreicht. Es kann aber auch der Schmiermittelbehälter **28** über eine getrennte Pumpe mit Druck beaufschlagt werden, wenn es erforderlich ist, höhere Durchflussmengen zu erhalten.

[0036] Das Mischrohr **20** kann aus den unterschied-

lichsten porösen Materialien hergestellt werden, wobei jedoch eine Herstellung aus einem harten, formbaren oder leicht bearbeitbaren porösen Material vorgezogen wird. Es wurde bei der vorstehenden Anwendung gefunden, dass nominale Porengrößen von 0,2 bis 20 Mikron gut geeignet sind. weiterhin ist es nicht erforderlich, dass das Mischrohr **20** zur Gänze aus porösem Material besteht. Beispielsweise ist es möglich, stromaufwärts einer Austrittsspitze einen porösen Ring eines nicht porösen Mischrohres anzuordnen, wodurch eine ausreichende Schmierung der Innenflächen des spitzen Austrittsbereiches erzielt wird, die die Erosion wesentlich vermindert. Bei einer anderen Ausbildung kann sich der poröse Ring stromabwärts eines nicht porösen Bereiches befinden, wo die Abnutzung am grössten ist. Anderenfalls kann ein Mischrohr aus aufgeschichteten porösen und nicht porösen Ringen bestehen. Als noch andere Alternative kann ein Mischrohr mit übereinander liegenden mehreren porösen Ringen aufgebaut werden, in denen unterschiedliche Durchsatzmengen an Schmiermittel vorliegen (beispielsweise aufgrund unterschiedlicher Porositäten oder Dicken).

[0037] Während ein gleichförmig poröses Material für das Mischrohr **20** bevorzugt wird, kann gemäss einer anderen Ausführungsform eine Anzahl sehr feiner bis äusserst feiner Löcher in ein Mischrohr, welches aus einem nicht porösen Material besteht, gebohrt werden (beispielsweise mittels eines Laserbohrers), um dieses Rohr porös zu machen.

[0038] Es wurden verschiedene Versuche unternommen, um das optimale poröse Material für diese Anwendung zu finden. Es wurde gefunden, dass sich unter Schwerkraft gesinterte Materialien bei der vorliegenden Anwendung besser eignen als Materialien, die zunächst komprimiert und anschliessend gesintert wurden. Dies beruht auf der Tatsache, dass poröse Materialien während der Bearbeitung für die vorliegende Anwendung zu einem "Zuschmieren" oder "Blockieren" der Poren neigen, selbst wenn eine Bearbeitung durch Funkenerosion (EDM) vorgenommen wird. Wiederholte Bearbeitungsversuche mit verschiedenen nominalen Porengrößen im Bereich von 0,2 bis 20 Mikron haben gezeigt, dass eine EDM-Bearbeitung des Werkstoffes, der unter Schwerkraft gesintert war, mit optimierten EDM-Betriebsparametern (siehe unten) ein beträchtlich geringeres Zuschmieren ergaben als die Bearbeitung von porösen Werkstoffen, die zuvor unter Druck verdichtet worden waren.

[0039] Die optimalen EDM-Betriebsparameter zur Herstellung der unter Schwerkraft gesinterten porösen Materialien bestanden in niedriger Schneidgeschwindigkeit, niedrigen Energiewerten und niedrigen Funkenfrequenzen bei einer Draht-Funkenerosionsmaschine. Beispielsweise kann die Herstellung von porösen Mischrohren aus rostfreiem Stahl 316

mit geringem Verschmieren durch Anwendung der folgenden EDM-Parametern ausgeführt werden: Schneidgeschwindigkeit = 0,38 mm/min, Funkenzyklus = 30 μ s, Drahtdurchmesser (Messing) = 0,25 mm, wobei die anderen Parameter maschinenspezifische Einstellungen waren (d.h. Funkenenergie = 20% des Höchstwertes, Drahtgeschwindigkeit = 20% des Höchstwertes, Drahtspannung = 80% des Höchstwertes, sowie Leitfähigkeit des Wassers = 67% des Höchstwertes). Nach der Bearbeitung werden die Mischrohre in eine leicht verdampfbare Flüssigkeit eingebracht, beispielsweise Methanol, und dann unter Verwendung von Ultraschall gereinigt, um Bearbeitungsrückstände und Kohlenstoffteilchen zu entfernen, die bei der Bearbeitung gebildet werden.

[0040] Als Alternative zur Bearbeitung eines porösen, durch Schwerkraftsinterung erzeugten Werkstoffes kann man die Verwendung eines porösen keramischen Materials wählen und dieses Material derart behandeln, dass der Kanal, welcher den Eingang mit dem Ausgang eines Mischrohres verbindet, beim ursprünglichen Formen des Rohres gebildet wird.

[0041] Der Durchsatz an eingebrachtem Schmiermittel wird durch den Druckunterschied über die Wandung des Mischrohres **20** eingestellt, weiterhin über die Viskosität des Schmiermittels, die Durchlässigkeit des porösen Mediums und die Dicke der Wandung des Mischrohres. Der Druck im Inneren des Mischrohres **20** ist wegen der Änderung der Viskosität der Suspension, die auf Änderungen der Querschnittsfläche des Mischrohres **20** beruht, nicht konstant, wobei auch Scherbeanspruchungen entlang der Umfangswandung der Düse des Mischrohres **20** eine Rolle spielen. Um an jedem Punkt eine erwünschte Durchflussmenge an Schmiermittel zu gewährleisten, kann die Dicke der porösen Wandungen des Mischrohres **20** verändert werden. Die exakte Form des Mischrohres **20** kann durch Lösen der Bewegungsgleichungen einer Flüssigkeitsströmung im porösen Medium mit der vorgeschriebenen Durchflussgeschwindigkeit an jedem Punkt als Grenzbedingungen bestimmt werden. Es ist daher möglich, eine relativ exakte Zufuhrgeschwindigkeit zu erzielen.

[0042] Es wurde gefunden, dass die Effizienz dieser porösen Mischrohre im Betrieb beträchtlich verbessert werden kann, wenn man die Schmiermittelflüssigkeit vor ihrem Eintritt in das poröse Material filtert. Ohne eine solche Filterung ist das poröse Material in hohem Masse gegen ein Verstopfen mit Fremdkörpern, die sich in der Schmierflüssigkeit befinden, anfällig. Zum Filtern der Schmiermittelflüssigkeit wurden Teile aus dem gleichen porösen Material verwendet.

[0043] Wenn man die Wandungen des Mischrohres schmiert, kann der Durchmesser des Mischrohres **20**

beträchtlich vermindert werden, auf Werte, die nur etwas oberhalb des Durchmessers der Schleifmittelteilchen liegen. Wenn beispielsweise der grösste Teilchendurchmesser etwa 150 Mikron beträgt, kann der Durchmesser des Mischrohres im Prinzip auf etwa 300 Mikron vermindert werden, den Ölfilm eingeschlossen. Typische Rohrdurchmesser liegen in der Größenordnung des Dreifachen des Durchmessers der Kammereintrittsöffnung bzw. in der Größenordnung von 50 bis 3000 Mikron. Ein kleinerer Durchmesser des Mischrohres schafft schärfere und genauere Schnitte mit weniger Materialverlust am Werkstück. Als weitere Folge des Schmierens der Wandung des Mischrohres, die der Suspension ausgesetzt ist, kann die Geschwindigkeit dieser Suspension auf beträchtlich höhere Werte beschleunigt werden, ohne dass die Wandungen des Rohres beschädigt werden, was wiederum die Schleifwirkung der Suspension und ausserdem die Schneidausbeute des Systems erhöht.

[0044] Die vorstehende Beschreibung bezieht sich auf bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung; es soll jedoch darauf hingewiesen werden, dass diese Einzelheiten lediglich zum Zwecke der Erklärung aufgeführt wurden. Der Geltungsbereich der Erfindung wird von den Patentansprüchen definiert.

Patentansprüche

1. Fluidstrahl-Schneidsystem, welches einen Strahl eines unter Druck stehenden, mitgeführten Schleifkörperteilchen enthaltenden Trägerfluids verwendet und eine Schneidapparatur begreift, wobei die Schneidapparatur:

Abgabemittel, welche das unter Druck stehende Trägerfluid in eine Kammer (**10**) abgeben, wobei die Kammer (**10**) eine Eintrittsöffnung (**12**) zur Erzeugung eines Strahls des Trägerfluids im Inneren der genannten Kammer (**10**), einen Anschluss (**14**) zum Einleiten eines Stroms von Schleifkörperteilchen, die in den genannten Strahl des Trägerfluids eingezogen werden, einen Auslass (**16**), durch welchen der genannte Strahl des Trägerfluids und die mitgeführten Schleifkörperteilchen aus der genannten Kammer (**10**) austreten

und ein Mischrohr (**20**) mit einer Innenwandung (**22**) und einer Aussenwandung (**26**), wobei die Innenwandung einen Durchgang mit einem Einlass (**18**) zur Aufnahme des genannten Strahls des Trägerfluids mit den Schleifkörperteilchen sowie mit einem Auslass (**24**) definiert, durch welchen der genannte Strahl des Trägerfluids mit den Schleifkörperteilchen das genannte Rohr (**20**) verlässt und wobei der genannte Einlass (**18**) des Rohres in der Nähe des genannten Auslasses (**16**) der Kammer angeordnet ist, aufweist, **dadurch gekennzeichnet,**

dass das genannte Fluidstrahl-Schneidsystem zusätzlich ein Schmierfluid einbegreift, welches eine kinematische Viskosität aufweist, deren Verhältnis zur

kinematischen Viskosität des genannten Trägerfluids des Fluidstrahls im Bereich von 100:1 bis 40'000:1 liegt, dass die genannte Schneidapparatur mit einem Schmierfluid-Behälter (28) versehen ist, welcher zumindest einen Teil der Aussenwandung (26) des genannten Mischrohrs (20) umgibt und ein genanntes Schmierfluid enthält, wobei mindestens ein Teil des genannten Mischrohrs (20) porös ist, und wobei der genannte poröse Teil derart ausgebildet ist, dass das genannte Schmierfluid durch die genannte poröse Wandung hindurchtreten kann und dadurch mindestens einen Teil der Oberfläche der genannten Innenwandung (22) schmiert, damit die genannte Wandung beim Durchströmen des genannten Trägerstrahls mit mitgeführten Schleifkörperteilchen durch den genannten Durchlass des genannten Mischrohrs (20) gegen eine Abtragung widerstandsfähig wird, und wobei der genannte poröse Teil des genannten Rohres (20) eine Nennweite der Poren im Bereich von 0,2 bis 20 µm aufweist.

2. Fluidstrahl-Schneidsystem nach Anspruch 1, bei dem der genannte poröse Teil des genannten Mischrohres (20) aus einem unter der Schwerkraft gesinterten, porösen Werkstoff hergestellt ist.

3. Fluidstrahl-Schneidsystem nach Anspruch 2, bei dem der poröse Werkstoff ein Metall ist.

4. Fluidstrahl-Schneidsystem nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem die Dicke der Wandung des genannten Mischrohres über deren Länge veränderlich ist, um die Durchflussmenge des Schmierfluids zu regeln.

5. Fluidstrahl-Schneidsystem nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem die Wandung des genannten Mischrohres eine veränderliche Porosität über dessen Länge aufweist, um die Durchflussmenge des Schmierfluids zu regeln.

6. Fluidstrahl-Schneidsystem nach Anspruch 1, bei dem das Schmierfluid ein Öl ist.

7. Fluidstrahl-Schneidsystem nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem die kleinste Dimension des Querschnitts des Durchgangs, der den Einlass des genannten Mischrohrs mit dessen Auslass verbindet, im Bereich von 50 bis 3000 µm liegt.

8. Verfahren zur Verminderung einer Abtragung der Innenwandung (22) des Mischrohrs (20) eines Strahlschneiders durch einen Fluidstrahl, welcher aus einem Trägerfluid und mitgeführten Schleifkörperteilchen besteht und das Rohr durchströmt, bei dem das genannte Mischrohr (20) derart erstellt wird, dass es eine Innenwandung (22) und eine Aussenwan-

dung (26) aufweist, wobei die Innenwandung einen Durchgang mit einem Einlass (18) zur Aufnahme des genannten Strahls des Trägerfluids mit den Schleifkörperteilchen sowie mit einem Auslass (24) definiert, durch welchen der genannte Strahl des Trägerfluids mit den Schleifkörperteilchen das genannte Rohr (20) verlässt, und wobei mindestens ein Teil des genannten Mischrohrs porös ist, mindestens ein Teil der Aussenwandung (26) des genannten Mischrohres von einem Schmierfluidbehälter (28) umgeben wird, der ein Schmierfluid enthält, das genannte Schmierfluid aus dem genannten Schmierfluidbehälter (28) durch den genannten porösen Teil gedrückt wird, um einen Schmierfilm zwischen der genannten Innenwandung (22) und der Strömung des genannten Schmierfluids auszubilden, dadurch gekennzeichnet, dass das genannte Schmierfluid eine kinematische Viskosität besitzt, deren Verhältnis zur kinematischen Viskosität des genannten Trägerfluids des Fluidstrahls im Bereich von 100:1 bis 40'000:1 liegt, und dass der genannte poröse Teil des genannten Rohres (20) eine Nennweite der Poren im Bereich von 0,2 bis 20 µm aufweist.

9. Verfahren zur Verminderung einer Abtragung der Innenwandung (22) des genannten Mischrohrs (20) nach Anspruch 8, bei dem der genannte poröse Teil des genannten Mischrohres (20) aus einem durch Schwerkraft gesinterten, porösen Werkstoff hergestellt wird.

10. Verfahren zur Verminderung einer Abtragung der Innenwandung (22) des genannten Mischrohrs (20) nach Anspruch 9, bei dem der genannte Durchlass des Rohres durch Anwendung einer Bearbeitung mittels Elektro-Erosion ausgearbeitet wird.

11. Verfahren zur Verminderung einer Abtragung der Innenwandung (22) des genannten Mischrohrs (20) nach Anspruch 10, bei dem die Betriebsparameter der genannten Elektro-Erosionsbearbeitung derart eingestellt werden, dass die Werte der Schneidgeschwindigkeit und der Funkenenergie der Maschine etwa gleich oder kleiner als 20% der einstellbaren Höchstwerte betragen.

12. Verfahren zur Verminderung einer Abtragung der Innenwandung (22) des genannten Mischrohrs (20) nach Anspruch 10 oder 11, weiterhin gekennzeichnet durch die Anwendung einer Ultraschall-Reinigung zwecks Entfernung von Spänen aus dem genannten Durchlass, die bei der genannten Bearbeitung durch Elektro-Erosion im genannten Durchlass verblieben sind.

Es folgen 4 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

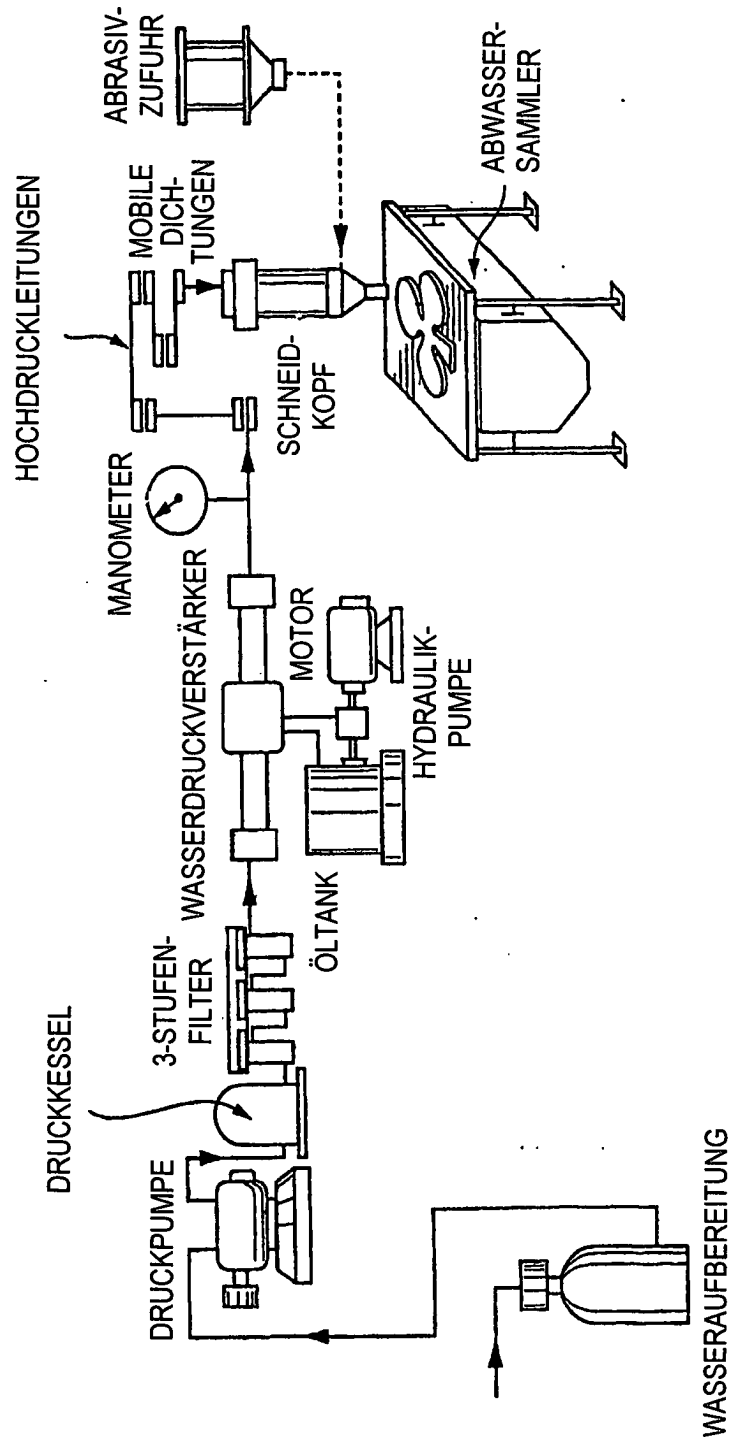


FIG. 1

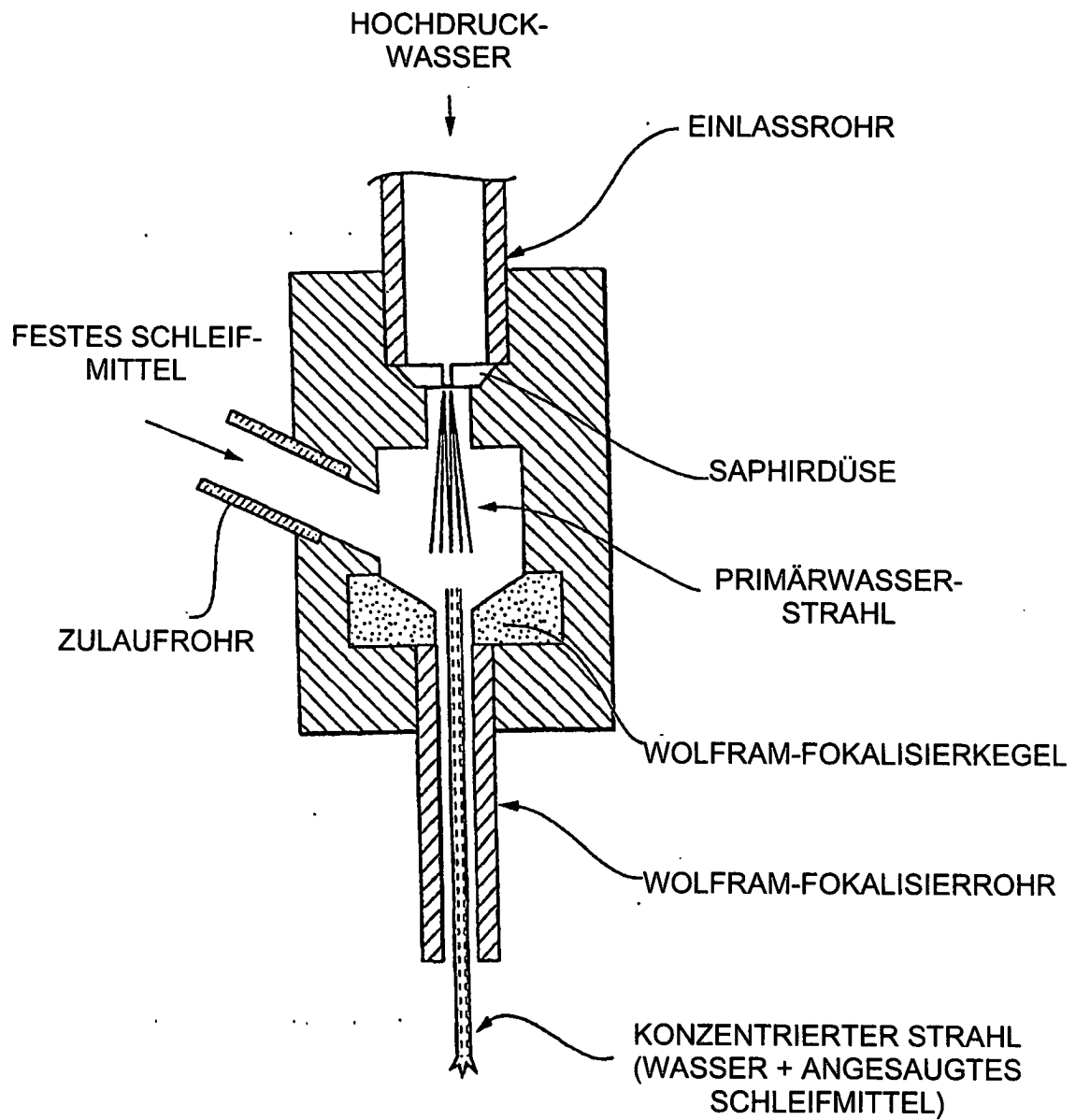


FIG. 2

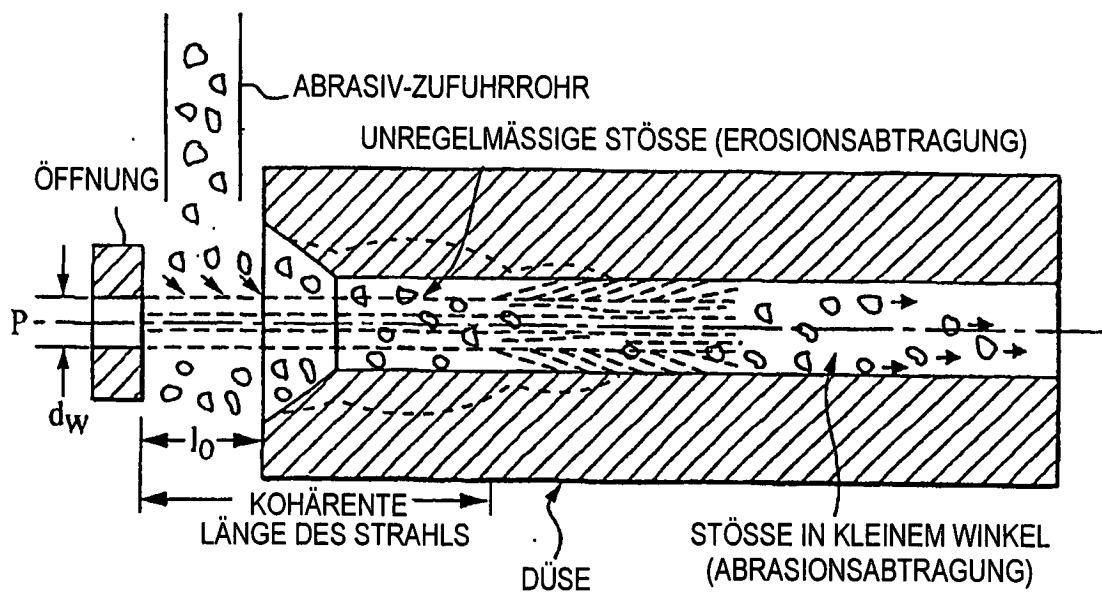


FIG. 3

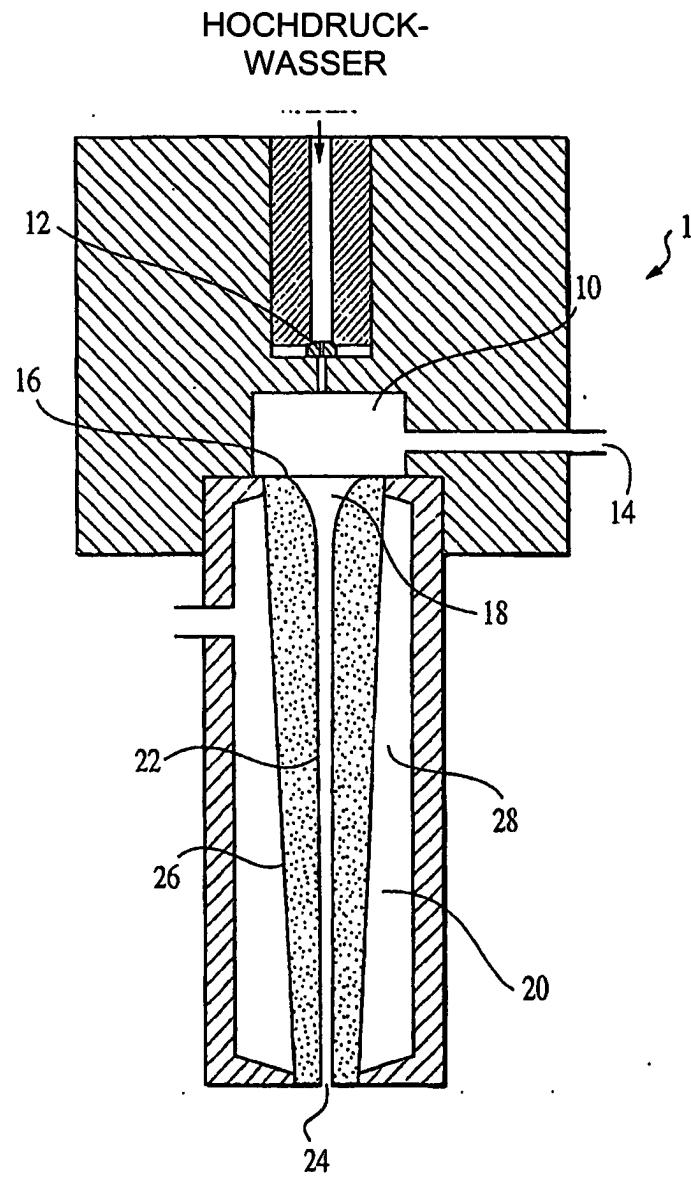


FIG. 4