



Europäisches Patentamt  
European Patent Office  
Office européen des brevets



(11) **EP 1 501 655 B1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:  
**05.04.2006 Patentblatt 2006/14**

(51) Int Cl.:  
**B24C 1/00<sup>(2006.01)</sup> B24C 5/04<sup>(2006.01)</sup>**  
**B24C 7/00<sup>(2006.01)</sup>**

(21) Anmeldenummer: **03807743.4**

(86) Internationale Anmeldenummer:  
**PCT/EP2003/007011**

(22) Anmeldetag: **01.07.2003**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:  
**WO 2004/033154 (22.04.2004 Gazette 2004/17)**

(54) **STRAHLVERFAHREN UND -VORRICHTUNG**

METHOD AND DEVICE FOR JET CLEANING

PROCEDE ET DISPOSITIF DE NETTOYAGE PAR PROJECTION

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HU IE IT LI LU MC NL PT RO SE SI SK TR**

(72) Erfinder: **KIPP, Jens-Werner**  
**33659 Bielefeld (DE)**

(30) Priorität: **20.09.2002 DE 10243693**  
**24.12.2002 DE 10261013**  
**07.02.2003 DE 10305269**

(74) Vertreter: **Wiebusch, Manfred**  
**Ter Meer-Müller-Steinmeister & Partner**  
**Artur-Ladebeck-Strasse 51**  
**33617 Bielefeld (DE)**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:  
**02.02.2005 Patentblatt 2005/05**

(56) Entgegenhaltungen:  
**US-A- 4 038 786** **US-A- 5 125 979**

(73) Patentinhaber: **KIPP, Jens-Werner**  
**33659 Bielefeld (DE)**

**EP 1 501 655 B1**

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).

## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Strahlverfahren zur Reinigung von Oberflächen, bei dem flüssiges CO<sub>2</sub> über eine Zuleitung in einen im Querschnitt erweiterten Entspannungsraum zugeführt, durch Entspannung in Trockenschnee umgewandelt und zusammen mit einem Trägergas unter Druck zu einer Strahldüse zugeführt wird, wobei für das Volumen V des Entspannungsraumes und die Innenquerschnittsfläche A der Zuleitung (32) die Beziehung  $V^{1/3}/A^{1/2} > 3$  erfüllt ist und das Gemisch aus Trägergas und Trockenschnee in der Strahldüse auf mindestens annähernd Schallgeschwindigkeit beschleunigt wird, sowie eine Vorrichtung zur Durchführung dieses Verfahrens.

**[0002]** Ein Strahlverfahren dieser Art wird in US 5 125 979 A beschrieben. Dieses Verfahren dient in der Halbleiterindustrie zur schonenden Reinigung von Oberflächen mit einem Strahl aus Trockenschnee. Die Strahldüse ist hier unmittelbar am stromabwärtigen Ende des Entspannungsraumes angeordnet und als konvergent/divergent-Düse ausgebildet. Durch einen Ringspalt etwa in Höhe der Engstelle der Strahldüse wird Luft als Trägergas angesaugt.

**[0003]** Ein ähnliches Verfahren wird in US 5 616 067 A beschrieben. Das CO<sub>2</sub> wird in flüssiger Form in eine Ringkammer eingeleitet, die eine von Druckluft durchströmte Strahlleitung umgibt, und wird von dort über einen Kranz konvergierender Kapillaren in die Strahlleitung zugeführt, so daß die Entspannung erst bei Eintritt in die Strahlleitung stattfindet. Der auf diese Weise entstehende Trockenschnee wird von der Druckluft mitgeführt und beschleunigt und über die Strahldüse auf das zu reinigende Werkstück abgegeben. Auch dieses Verfahren dient insbesondere zum schonenden Reinigen von druckempfindlichen Oberflächen, beispielsweise von elektronischen Schaltungsplatinen..

**[0004]** Aus US 5 679 062 ist ein Strahlverfahren bekannt, bei dem gasförmiges oder flüssiges CO<sub>2</sub> oder ein Gas-Flüssigkeits-Gemisch am Auslaß einer Düse entspannt und in eine erweiterte Wirbelkammer eingeleitet wird, in der ein Teil des gasförmigen und/oder flüssigen CO<sub>2</sub> in Trockenschnee umgewandelt wird. Der Auslaß der Wirbelkammer ist unmittelbar an eine Strahldüse angeschlossen. Als Trägergas dient hier nur das zugeführte oder durch Verdampfung entstehende gasförmige CO<sub>2</sub>.

**[0005]** In US 5 725 154 A wird ein Strahlverfahren beschrieben, bei dem Trockenschnee durch Entspannung von flüssigem CO<sub>2</sub> mit Hilfe eines Entspannungsventils erzeugt wird. Der Trockenschnee wird über einen dünnen Schlauch, der coaxial von einem Schlauch zur Zufuhr des Trägergases umgeben ist, einer Strahlpistole zugeführt, die dann ein Gemisch aus Trägergas und Trockenschnee abgibt.

**[0006]** Aus WO 00/74 897 A1 ist eine Strahlvorrichtung bekannt, bei der flüssiges CO<sub>2</sub> über eine Kapillare zugeführt wird, die in einer sich konisch erweiternden Düse mündet, deren Durchmesser zum Auslaß hin auf etwa

das 3-fache des Durchmessers der Kapillare zunimmt. Diese Düse ist von einer ringförmigen Laval-Düse umgeben, in der das unter Druck zugeführte Trägergas auf Überschallgeschwindigkeit beschleunigt wird. Die Mündungen der CO<sub>2</sub>-Düse und der Laval-Düse liegen auf gleicher Höhe, so daß zwei konzentrische Strahlen abgegeben werden, nämlich ein innerer Strahl, der vorwiegend aus Trockenschnee besteht, und ein Mantelstrahl, durch den der Trockenschnee außerhalb der Düse beschleunigt werden soll.

**[0007]** Auch in Anwendungsfällen, bei denen größere Oberflächen, beispielsweise die Innenflächen von Rohren oder Kesseln in Industrieanlagen, von festsitzenden Verkrustungen befreit werden sollen, ist je nach Beschaffenheit der Verkrustungen vielfach der Einsatz von Trockeneis oder Trockenschnee als Strahlmittel wünschenswert, weil die niedrige Temperatur des Trockeneises oder Trockenschnees zu einer Versprödung des abzulösenden Materials führt. Wenn Trockenschnee-Partikel mit genügend hoher kinetischer Energie in die abzulösende Schicht eindringen, entsteht ein zusätzlicher Reinigungseffekt dadurch, daß die Trockenschnee-Partikel beim Eindringen in die abzulösende Schicht schlagartig verdampfen und so Teile der abzulösenden Schicht absprengen. Ein weiterer Vorteil besteht darin, daß kein zusätzlicher Aufwand für die Entsorgung des gebrauchten Strahlmittels erforderlich ist, weil der Trockenschnee zu gasförmigem CO<sub>2</sub> verdampft.

**[0008]** Die Eingangs beschriebenen Strahlverfahren sind jedoch für diese Anwendungsfälle nicht geeignet, weil die erreichbaren Volumenleistungen und Strahlgeschwindigkeiten nicht ausreichen und/oder weil der Trockenschnee nicht in ausreichender Menge entsteht oder nicht die richtige Konsistenz hat, so daß die kinetische Energie der Trockenschnee-Partikel zu gering ist.

**[0009]** Für die Reinigung von größeren, stark verunreinigten Oberflächen werden deshalb bisher Strahlanlagen eingesetzt, bei denen Trockeneis oder Trockenschnee in fester Form in geeigneten Kühlbehältern bereitgestellt und in eine Druckluftströmung eidosiert wird. Die Druckluft und der als Strahlmittel dienende Trockenschnee werden dann gemeinsam über einen Druckschlauch abgegeben, der die Strahlanlage mit der Strahldüse verbindet. Strahlvorrichtungen und -verfahren dieser Art erfordern jedoch einen hohen Installationsaufwand und entsprechend hohe Anlagekosten sowie einen hohen Aufwand für die Bevorratung des Trockenschnees.

**[0010]** Aufgabe der Erfindung ist es deshalb, Strahlverfahren und Strahlvorrichtungen zu schaffen, mit denen bei geringem Aufwand hohe Strahlleistungen und eine hohe Reinigungswirkung erzielbar sind.

**[0011]** Diese Aufgabe wird mit den in den unabhängigen Patentansprüchen angegebenen Merkmalen gelöst.

**[0012]** Erfindungsgemäß wird bei einem Verfahren der eingangs genannten Art das CO<sub>2</sub> aus der Zuleitung über den erweiterten Entspannungsraum in eine Strahlleitung eingeleitet, durch die das Trägergas unter Druck zu der

Strahldüse zugeführt wird.

**[0013]** Überraschend hat sich gezeigt, daß durch geeignete Dimensionierung des Entspannungsraumes und/oder durch geeignete Verfahrensführung die Entstehung großer Mengen an Trockenschnee mit hoher Reinigungswirksamkeit erreicht werden kann. Dabei lassen sich insbesondere auch hohe Volumenleistungen von 0,75 bis 10 m<sup>3</sup>/min oder mehr erzielen, so daß auch größere oder stark verunreinigte Oberflächen effizient gereinigt werden können. Da der als Strahlmittel dienende Trockenschnee erst unmittelbar bei Anwendung des Strahlverfahrens aus flüssigem CO<sub>2</sub> erzeugt wird, lassen sich die bisher erforderlichen hohen Kosten für die Strahlanlagen und die für die Bereitstellung des Trockenschnees einsparen.

**[0014]** Gemäß einer Ausführungsform wird die Entstehung von stark abrasivem Trockenschnee oder Trockeneis einfach dadurch erreicht, daß der Entspannungsraum ein hinreichend großes Volumen aufweist. In Versuchen konnte durch Vergrößerung des Entspannungsraumes unter sonst gleichen Bedingungen eine Vervielfachung der Reinigungswirkung erreicht werden. Dieses überraschende Phänomen ist vermutlich darauf zurückzuführen, daß es in dem größeren Entspannungsraum zwischen der Mündung der Zuleitung und der Einspeisungsstelle in die Strahlleitung zu einer vorübergehenden Abnahme der Strömungsgeschwindigkeit und damit zu einer Zunahme der Partikeldichte kommt, so daß die zunächst bei der Entspannung fein zerstäubten Trockenschnee-Partikel zu größeren Partikeln agglomerieren oder kondensieren, bevor sie von der Strömung des Trägergases mitgerissen werden. Auf diese Weise entstehen Trockenschnee-Partikel mit größerer Masse, die dann aufgrund ihrer höheren kinetischen Energie eine hohe Reinigungswirkung entfalten.

**[0015]** Für das Volumen V des Entspannungsraumes bezogen auf die Querschnittsfläche A der Zuleitung für das flüssige CO<sub>2</sub> sollte dann die Beziehung gelten :  $V^{1/3}/A^{1/2} > 3$  oder vorzugsweise  $V^{1/3}/A^{1/2} > 10$ .

**[0016]** Vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen angegeben.

**[0017]** Weiterhin kann das Volumen V des Entspannungsraumes auch auf den Durchsatz  $\phi$  an flüssigem CO<sub>2</sub> bezogen werden. In diesem Fall sollte gelten :  $V/\phi > 0,2 \text{ m}^3 \text{ s/kg}$ , vorzugsweise  $V/\phi > 0,6 \text{ m}^3 \text{ s/kg}$ .

**[0018]** Als ein wesentlicher Faktor für die Entstehung von stark abrasiven Trockeneispartikeln wird die in dem Entspannungsraum herrschende Temperatur angesehen. Diese Temperatur sollte möglichst niedrig sein, vorzugsweise unter -40 °C. Wenn das erfindungsgemäße Verfahren mit einem hinreichend hohen Trägergasdurchsatz durchgeführt wird (z. B. 0,75 m<sup>3</sup>/min) und wenn der Durchsatz an flüssigem CO<sub>2</sub> in einem optimalen Verhältnis zum Luftdurchsatz steht, beispielsweise in der Größenordnung von 0.1 bis 0,4 kg CO<sub>2</sub> pro Kubikmeter Trägergas (Volumen unter Atmosphärendruck), ist die durch Verdampfung von CO<sub>2</sub> entstehende Kühlwir-

kung offenbar so groß, daß der Entspannungsraum auf einer hinreichend niedrigen Temperatur gehalten wird.

**[0019]** Durch eine gute Wärmeisolierung des Entspannungsraumes kann die Kühlwirkung effizienter genutzt und somit eine noch tiefere Temperatur im Entspannungsraum erreicht und/oder das Entspannungsvolumen verringert werden.

**[0020]** Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform des Verfahrens wird deshalb der Entspannungsraum thermisch gegenüber der Umgebung isoliert, so daß sich die gewünschte hohe Reinigungswirkung auch bei kleinem Entspannungsraumvolumen und kleinen Durchsätzen erzielen läßt. Dabei erweist es sich als vorteilhaft, wenn die Zuleitung für das flüssige CO<sub>2</sub> ebenfalls thermisch gegenüber der Umgebung isoliert ist und mit den Wänden des Entspannungsraumes in gutem thermischen Kontakt steht (z. B. durch einen Wärmetauscher), so daß schon in der Zuleitung eine gewisse Vorkühlung des flüssigen CO<sub>2</sub> stattfindet.

**[0021]** In Experimenten wurde beobachtet, daß sich an den Wänden des Entspannungsraumes und/oder an den Wänden der Strahlleitung, gegebenenfalls bis in die Strahldüse hinein, schon nach kurzer Betriebsdauer eine verhältnismäßig feste Kruste aus Trockeneis ablagert. Diese Trockeneiskruste verstärkt die thermische Isolierung und Kühlung des Entspannungsraumes und kann auch direkt an der Entstehung verhältnismäßig grobkörniger und harter Trockeneispartikel mit entsprechend hoher Reinigungswirkung beteiligt sein. Wenn der durch die Entspannung des flüssigen CO<sub>2</sub> zunächst entstehende Trockenschnee verwirbelt wird, prallt er mit hoher Geschwindigkeit auf die Wände des Entspannungsraumes und/oder der Strahlleitung, so daß sich dort die erwähnte, relativ stark verdichtete Kruste aufbaut. Andererseits bewirkt die Wärmezufuhr über die Wände des Entspannungsraumes und der Strahlleitung und die dadurch eintretende Sublimation des CO<sub>2</sub> eine Lockerung der Kruste. Insgesamt erhält die Kruste so eine inhomogene, körnige und relativ brüchige Struktur, mit der Folge, daß durch das mit hoher Geschwindigkeit vorbeiströmende Trägergas ständig grobe Trockeneispartikel von der Kruste abgelöst werden und einen Bestandteil des Strahlmittels bilden.

**[0022]** Die erwünschte Entstehung einer solchen Trockeneiskruste kann durch das Vorhandensein von Störkanten im Strömungsweg und durch die dadurch eintretende Verwirbelung des Trockenschnees herbeigeführt oder unterstützt werden. Gemäß einer vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung weist deshalb die Strahlvorrichtung mindestens eine Störkante im Strömungsweg zwischen der Einmündungsstelle der Zuleitung für das flüssige CO<sub>2</sub> und der Strahldüse auf.

**[0023]** Diese Störkante kann z. B. an der Übergangsstelle zwischen dem Entspannungsraum und der Strahlleitung gebildet werden, wenn der Entspannungsraum seitlich in die Strahlleitung mündet. Weiterhin können solche Störkanten auch durch ein Innengewinde in einem den Entspannungsraum bildenden Rohrstutzen oder

durch feste oder bewegliche Einbauten wie ein Flügelrad, eine Schnecke oder dergleichen im Entspannungsraum gebildet werden.

**[0024]** Es hat sich als vorteilhaft herausgestellt, wenn der Entspannungsraum unter einem Winkel von etwa 10° bis 90°, vorzugsweise 20° bis 45°, in Strömungsrichtung in die geradlinig durchgehende Strahlleitung mündet. Bei dieser Konfiguration wird durch die Strömung des Trägergases eine gewisse Sogwirkung erzielt, und der Trockenschnee wird schonend in die in der Strahlleitung herrschende Strömungsrichtung umgelenkt. Da die Strömung des Trägergases in der Strahlleitung eine Komponente quer zur Längsrichtung des Entspannungsraumes hat, ist zu erwarten, daß sich zumindest im stromabwärtigen Bereich des Entspannungsraumes ein Wirbel bildet, der die Verweilzeit des Trockenschnees im Entspannungsraum verlängert und damit die Agglomeration bzw. das Wachstum der Partikel bzw. der Trockeneiskruste begünstigt. Bei kleinerem Durchmesser der Strahlleitung ist der Eintrittswinkel vorzugsweise spitzer, damit das Trockeneis nicht auf die gegenüberliegende Wand der Strahlleitung prallt.

**[0025]** In einer zweckmäßigen Ausführungsform liegt die Einmündungsstelle des Entspannungsraumes in der Strahlleitung in geringem Abstand stromaufwärts der Strahldüse.

**[0026]** Die Strahldüse weist eine Engstelle auf, so daß das Trägergas und das Strahlmittel auf hohe Geschwindigkeit beschleunigt werden. Besonders bevorzugt ist die Ausbildung der Strahldüse als Laval-Düse, in der eine Beschleunigung auf annähernd Schallgeschwindigkeit oder Überschallgeschwindigkeit erreicht wird. Der Abstand zwischen der Mündung des Entspannungsraumes in die Strahlleitung und der Engstelle der Strahldüse sollte vorzugsweise größer sein als der Durchmesser der Strahlleitung.

**[0027]** Bei der Dimensionierung der Laval-Düse ist zu berücksichtigen, daß durch die Zufuhr von Trockeneis unmittelbar stromaufwärts der Düse die Temperatur des Mediums verringert und seine Dichte vergrößert wird, wodurch sich der Arbeitspunkt der Laval-Düse verschiebt. Um eine optimale Reinigungswirkung zu erzielen, sollte bei dem erfindungsgemäßen Verfahren der Querschnitt der Engstelle der Laval-Düse größer gewählt werden als in dem Fall, daß das Medium mit gleichem Druck und Durchsatz ausschließlich über die Strahlleitung zugeführt wird. Außerdem wird durch die Sublimation von Trockenschnee das Gasvolumen vergrößert und eine Beschleunigung der Strömung vor, in oder hinter der Engstelle der Düse erreicht. Je nach Druckverhältnissen können auch Tropfen aus flüssigem CO<sub>2</sub> in die Strahlleitung oder die Strahldüse gelangen und erst dort verdampfen. Die Position, an der diese Verdampfung und/oder Sublimation stattfindet, läßt sich durch Regulieren der Trägergasströmung so einstellen, daß eine optimale Strahlgeschwindigkeit erreicht wird.

**[0028]** Wenn der Durchsatz des Trägergases zu groß ist, so daß sich vor der Strahldüse ein hoher Staudruck

aufbaut, nimmt die Menge und die Reinigungswirksamkeit des erzeugten Trockenschnees ab. Deshalb ist es zweckmäßig, in der Strahlleitung stromaufwärts der Einmündungsstelle des Entspannungsraumes ein Drosselventil vorzusehen, mit dem sich der Durchsatz des Trägergases optimal einstellen läßt. Vorzugsweise ist auch in der Zuleitung für das flüssige CO<sub>2</sub> unmittelbar am Eintritt in die Strahlvorrichtung ein Dosierventil vorgesehen, so daß sich das Durchsatzverhältnis von Trägergas und CO<sub>2</sub> unmittelbar an der Strahlvorrichtung einstellen läßt.

**[0029]** All die vorgenannten Maßnahmen können zweckmäßig miteinander kombiniert werden.

**[0030]** Bei einer vorteilhaften Weiterbildung des Verfahrens wird in die Trägergasströmung und/oder in den Entspannungsraum eine geringe Menge an Wasser oder eines anderen festen oder flüssigen Strahlmittels (z. B. feste Trockeneis-Pellets) eindosiert, um den Reinigungseffekt weiter zu steigern.

**[0031]** Im folgenden werden Ausführungsbeispiele anhand der Zeichnung näher erläutert.

**[0032]** Es zeigen :

Figur 1 einen Schnitt durch eine Strahlvorrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens ;

Figur 2 einen Schnitt durch eine Strahlvorrichtung gemäß einem abgewandelten Ausführungsbeispiel ;

Figur 3 eine Detailvergrößerung zu Figur 2 ;

Figur 4 einen schematischen Schnitt durch eine sich stufenweise verjüngende Strahlleitung; und

Figuren 5 bis 7 Schnitte und eine Frontansicht einer Düse der Strahlvorrichtung.

**[0033]** Gemäß Figur 1 wird eine Strahlleitung 10 durch ein gerades zylindrisches Rohr gebildet, das einen Innendurchmesser DL von 39 mm hat. Ein Einlaß 12 der Strahlleitung ist mit einem nicht gezeigten Kompressor verbunden, über den Druckluft mit einem Druck von beispielsweise 1,1 MPa zugeführt wird. An die Mündung der Strahlleitung 10 ist eine als Laval-Düse ausgebildete Strahldüse 14 angekuppelt. Diese Strahldüse hat einen konvergierenden Abschnitt 16, dessen Innendurchmesser von 32 mm am stromaufwärtigen Ende auf 12,5 mm an einer Engstelle 18 abnimmt, und einen divergenten Abschnitt 20, dessen Innendurchmesser von der Engstelle 18 aus auf 19 mm am stromabwärtigen Ende zunimmt. Die Gesamtlänge LL der Strahldüse beträgt 224 mm. Die Länge LC des konvergierenden Abschnitts 16 beträgt 83 mm.

**[0034]** Eine Verbindungsmuffe 22 zwischen der Strahlleitung 10 und der Laval-Düse 14 hat einen Innendurchmesser von etwa 32 mm, entsprechend dem Ein-

laßdurchmesser der Strahldüse.

**[0035]** Unmittelbar stromaufwärts der Verbindungsmuffe 22 weist das die Strahlleitung 10 bildende Rohr einen Abzweig 24 auf, der unter einem Winkel von 45° in Strömungsrichtung in die Strahlleitung 10 mündet. Der Abstand D zwischen dem Abzweig 24 und der Einlaßöffnung der Strahldüse 14 beträgt etwa 66 mm.

**[0036]** Stromaufwärts des Abzweigs 24 ist in der Strahlleitung 10 ein Drosselventil 26, beispielsweise ein Kugelhahn, angeordnet.

**[0037]** In den Abzweig 24 ist ein rohrförmiges Übergangsstück 28 eingeschraubt, dessen freies Ende über ein Reduzierstück 30 mit einer flexiblen Zuleitung 32 für flüssiges CO<sub>2</sub> verbunden ist.

**[0038]** Die Zuleitung 32 ist an eine nicht gezeigte Druckflasche angeschlossen, die einen Vorrat an CO<sub>2</sub> unter einem solchen Druck hält, daß das CO<sub>2</sub> bei Umgebungstemperatur flüssig bleibt. Dieser Druck beträgt beispielsweise bei einer Umgebungstemperatur von 20 °C etwa 5.5 MPa. Die Zuleitung 32 hat einen Innendurchmesser von 3 mm. Das flüssige CO<sub>2</sub> strömt aufgrund des Druckgefälles, ohne das irgendwelche Fördereinrichtungen erforderlich sind, über die Zuleitung 32 aus. Der Durchsatz wird dabei durch den geringen Querschnitt der Zuleitung 32 begrenzt.

**[0039]** Das Übergangsstück 28 bildet einen Entspannungsraum 34, der zwei zylindrische Abschnitte 36. 38 mit unterschiedlichen Durchmessern aufweist. Der stromaufwärtige Abschnitt 36, der sich unmittelbar an die Zuleitung 32 anschließt, hat einen Innendurchmesser DC1 von 20 mm und eine Länge L1 von 85 mm. Über einen kurzen konischen Abschnitt schließt sich der stromabwärtige Abschnitt 38 mit einem Innendurchmesser DC2 von 32 mm und einer Länge L2 von 105 mm an. Die Gesamtlänge LE des Entspannungsraumes 34 beträgt somit 190 mm. Der Abzweig 24 hat einen Innendurchmesser DC3 von 39 mm, übereinstimmend mit dem Innendurchmesser DL der Strahlleitung 10.

**[0040]** An der Stelle, an der die Zuleitung 32 im Reduzierstück 30 in den Entspannungsraum 34 mündet, kann sich das flüssige CO<sub>2</sub> schlagartig entspannen.

**[0041]** Dabei wird ein Teil des CO<sub>2</sub> verdampft. Durch die Verdampfung und durch die Druckentlastung kommt es zu einer Abkühlung, so daß ein anderer Teil des flüssigen CO<sub>2</sub>, der beim Eintritt in den Entspannungsraum fein zerstäubt wird, zu feinen Trockenschnee-Partikeln kondensiert. Da die Querschnittsfläche des stromaufwärtigen Abschnitts 36 des Entspannungsraumes 34 etwa das 44-fache der Querschnittsfläche der Zuleitung 32 beträgt, durchströmt das Gemisch aus gasförmigem CO<sub>2</sub> und Trockenschnee den stromaufwärtigen Abschnitt 36 des Entspannungsraumes mit mäßiger Geschwindigkeit. Bei Eintritt in den stromabwärtigen Abschnitt 38 wird die Geschwindigkeit weiter reduziert. Auf ihrem Weg durch den verhältnismäßig langen Entspannungsraum 34 können sich die feinen Trockeneis-Partikel zu größeren Partikeln zusammenballen (Agglomeration). Da bei Eintritt in den stromabwärtigen Abschnitt 38 die Strö-

mungsgeschwindigkeit abnimmt und entsprechend der dynamische Druck zunimmt, können die Partikel zum Teil auch durch Rekondensation von gasförmigem CO<sub>2</sub> wachsen. Bei Eintritt in den nochmals erweiterten Abzweig 24 haben sich daher relativ große Trockenschnee-Partikel gebildet, die nun durch die Sogwirkung der durch die Strahlleitung 10 strömenden Druckluft abgesaugt und zur Strahldüse 14 mitgenommen werden. In der Strahldüse 14 werden die Druckluft und der Trockenschnee auf hohe Geschwindigkeit, eventuell Überschallgeschwindigkeit beschleunigt, so daß ein Strahl mit hoher Reinigungswirkung aus der Strahldüse austritt. Wenn dieser Strahl auf eine zu reinigende Oberfläche gerichtet wird, wirkt der Trockenschnee als Strahlmittel, mit dem die Oberfläche effizient gereinigt werden kann.

**[0042]** In Versuchen hat sich gezeigt, daß die Reinigungswirkung des in dieser Weise erzeugten Strahls von der Dimensionierung des Entspannungsraumes 34 und vom Durchsatz der Druckluft durch die Strahlleitung 10 abhängt. Ohne Entspannungsraum ergibt sich eine deutlich verringerte Reinigungswirkung. Ebenso nimmt die Reinigungswirkung drastisch ab, wenn der Durchsatz der Druckluft durch die Strahlleitung 10 zu groß ist. Deshalb wird mit Hilfe des Drosselventils 26 der Durchsatz so dosiert, daß eine optimale Erzeugung von Trockenschnee und eine optimale Reinigungswirkung erzielt werden.

**[0043]** Das beschriebene Ausführungsbeispiel läßt sich in vielfältiger Weise abwandeln.

**[0044]** Beispielsweise ist es möglich, anstelle einer geraden Strahlleitung 10 eine abgewinkelte Strahlleitung zu verwenden, so daß der Entspannungsraum und der stromaufwärtige Abschnitt der Strahlleitung symmetrisch in den stromabwärtigen Abschnitt der Strahlleitung münden. Denkbar ist auch eine Anordnung, bei der die Strahlleitung 10 zu einem Ringraum erweitert ist, die den Entspannungsraum coaxial aufnimmt.

**[0045]** In einer anderen Ausführungsform kann zwischen der Stelle, an der der Entspannungsraum in die Strahlleitung mündet, und der Strahldüse 14 noch ein längerer Schlauchabschnitt vorgesehen sein.

**[0046]** Um größere Mengen an Trockenschnee zu erzeugen, ist es möglich, mehrere Zuleitungen 32 über jeweilige Entspannungsräume in die Strahlleitung 10 münden zu lassen. Die Einmündungen der Entspannungsräume in die Strahlleitung können dabei auf dem Umfang der Strahlleitung verteilt und/oder in Axialrichtung versetzt sein. Weiterhin ist es möglich, mehrere Zuleitungen 32 in einen gemeinsamen Entspannungsraum münden zu lassen.

**[0047]** Über die Strahlleitung 10 kann anstelle von Druckluft auch ein anderes Trägergas zugeführt werden. Diesem Trägergas oder der Druckluft kann auch ein anderes Strahlmittel zugesetzt sein. Ebenso ist es denkbar, zusätzliche feste oder flüssige Strahlmittel über seitliche Zuführungen in die Strahlleitung stromaufwärts oder stromabwärts des Abzweigs 24 oder gegebenenfalls auch in den Entspannungsraum 34 münden zu lassen.

**[0048]** Figur 2 zeigt eine Strahlvorrichtung gemäß einem abgewandelten Ausführungsbeispiel. Hier wird der Entspannungsraum 34 nur durch das Innere des Abzweigs 24 gebildet. Dieser Abzweig hat ein Innengewinde 40, in den das Reduzierstück 30 eingeschraubt ist. In der Zuleitung 32 ist in geringem Abstand stromaufwärts des Reduzierstücks 30 ein Dosierventil 42 angeordnet, mit dem sich der Durchsatz an flüssigem CO<sub>2</sub> einstellen läßt. Als günstig hat sich eine Einstellung erwiesen, bei der der Durchsatz an flüssigem CO<sub>2</sub> etwa 0,1 bis 0,3 kg pro Kubikmeter Trägergas (Luft) beträgt (der Trägergasdurchsatz bezieht sich auf das Trägergasvolumen unter Atmosphärendruck).

**[0049]** Der Teil der Strahlleitung 10, der den Abzweig 24 enthält, und der sich unmittelbar an das Reduzierstück 30 anschließende Abschnitt der Zuleitung 32 sind in eine Umhüllung 44 aus wärmeisolierendem Material eingebettet, die in der Zeichnung strichpunktiert angedeutet ist. Hierdurch wird zum einen die Handhabung der als Stahlpistole ausgebildeten Strahlvorrichtung erleichtert und zum anderen die thermische Isolierung des Entspannungsraumes 34 und des sich daran anschließenden Abschnitts der Zuleitung verbessert, so daß eine niedrigere Temperatur im Entspannungsraum erreicht wird.

**[0050]** In Figur 3 ist der Abzweig 24 vergrößert dargestellt. Man erkennt, daß das Innengewinde 40 über das Reduzierstück 30 hinausreicht und einen Teil der Innenwand des Entspannungsraumes 34 bildet. Der Strömungsweg für den Trockenschnee von der Mündung der Zuleitung 32 bis in die Strahlleitung 10 wird durch eine Anzahl von Störkanten begrenzt. Eine erste Störkante wird unmittelbar durch die abrupte Querschnittserweiterung von der Zuleitung 32 auf den Innenquerschnitt des Entspannungsraumes 34 an der Innenfläche des Reduzierstücks 30 gebildet. Weitere Störkanten befinden sich an der Einmündungsstelle des Abzweigs 24 in die Strahlleitung 10. Schließlich wirken auch die Gewindegänge des Innengewindes 40 als Störkanten. Diese Störkanten bewirken eine Verwirbelung des Trockenschnees, der sich im Entspannungsraum 34 bildet, und insbesondere das Innengewinde 40 begünstigt das Anhaften des Trockenschnees an den Wänden des Abzweigs 24, so daß sich im Entspannungsraum und teilweise auch in der Strahlleitung 10 eine verhältnismäßig kompakte, jedoch brüchige Kruste 46 aus Trockeneis bildet. Das aus der Zuleitung 34 verdüστε und dabei verdampfende CO<sub>2</sub> bahnt sich einen Weg durch die Trockeneiskruste. Dadurch und durch das Trägergas, das in der Strahlleitung 10 mit hoher Geschwindigkeit an der Kruste 46 aus Trockeneis vorbeiströmt, werden ständig kleine Partikel aus Trockeneis aus der Kruste herausgelöst. Diese verhältnismäßig grobkörnigen und festen Partikel bilden dann ein sehr wirksames Strahlmittel, durch daß eine hohe Reinigungswirkung der Strahlvorrichtung erreicht wird. Diese Trockeneispartikel können auch auf dem Weg durch die Strahldüse 14 noch weiter anwachsen, da sie dort von dem Trägergas umströmt und beschleunigt werden, das feinere Trockenschnee-Partikel enthält. Der ge-

naue Ort, an dem die Agglomeration des Trockeneises und die Bildung der Kruste 46 stattfindet, ist von den jeweiligen Verfahrensbedingungen abhängig und kann sich (in beiden Richtungen) mehr oder weniger tief in die Strahlleitung 10 und gegebenenfalls die Strahldüse 14 verlagern.

**[0051]** Der Entspannungsraum 34 hat im gezeigten Beispiel den gleichen Innendurchmesser wie die Strahlleitung 10, kann jedoch wahlweise auch einen kleineren Innendurchmesser haben. Auch der Winkel, unter dem der Abzweig 24 in die Strahlleitung 10 mündet, kann variiert werden, vorzugsweise im Bereich zwischen 20° und 45°.

**[0052]** Bei dem in Figur 2 gezeigten Beispiel beträgt die Länge LE des Entspannungsraumes (auf der Mittelachse gemessen) etwa 49 mm, und der Durchmesser DC3 des Entspannungsraumes beträgt 32 mm. Der Entspannungsraum 34 hat dann ein Volumen V von etwa 39 cm<sup>3</sup>. Wenn die Zuleitung 32 einen Innenquerschnitt von etwa 7 mm<sup>2</sup> hat, entsprechend einem Durchmesser von 3 mm, beträgt das Verhältnis  $V^{1/3}/A^{1/2}$  etwa 12,8. Der Luftdurchsatz durch die Strahlleitung 10 beträgt in der Praxis vorzugsweise etwa 3-10 m<sup>3</sup>/min, mit einem Optimum bei etwa 4.5 m<sup>3</sup>/min. Bei einem Verhältnis CO<sub>2</sub> zu Luft von 0,3 kg/m<sup>3</sup> betragen die entsprechenden Durchsätze  $\phi$  des CO<sub>2</sub> etwa 0.0015 kg/s bis 0,05 kg/s bzw. 0,023 kg/s für das Optimum. Die entsprechenden Werte für das Verhältnis  $V/\phi$  sind dann 0,0026 - 0,0008 m<sup>3</sup> s/kg bzw. 0,0018 m<sup>3</sup> s/kg für das Optimum. Die Engstelle 18 der Strahldüse 14 hat einen Durchmesser von 13,1 mm.

**[0053]** Bei einer weiteren, nicht gezeigten Ausführungsform hat die Strahlleitung 10 einen kleineren Innendurchmesser von 12.7 mm, der Durchmesser DC3 des Entspannungsraumes 34 beträgt ebenfalls 12,7 mm, und die Länge LE des Entspannungsraumes beträgt etwa 37 mm. In diesem Fall hat der Entspannungsraum ein Volumen V von etwa 4,7 cm<sup>3</sup>. Der Luftdurchsatz liegt dann vorzugsweise zwischen 1.5 und 2.5 m<sup>3</sup>/min. Wenn das Verhältnis von CO<sub>2</sub> zu Luft wieder 0.3 kg/m<sup>3</sup> beträgt, erhält man für das Verhältnis  $V/\phi$  einen Wert zwischen 0.00062 und 0.00037 m<sup>3</sup> s/kg. Der Wert  $V^{1/3}/A^{1/2}$  beträgt in diesem Falle etwa 6,3. Die Engstelle 18 der Strahldüse 14 hat in diesem Fall vorzugsweise einen Durchmesser von 8 mm.

**[0054]** Unter diesen Umständen kann stromabwärts der Strahldüse 14 Überschallgeschwindigkeit erreicht werden.

**[0055]** Zur Geräuschminderung ist es zweckmäßig, an der Mündung der Strahldüse einen Schalldämpfer anzubringen.

**[0056]** Während bei den oben beschriebenen Ausführungsbeispielen der Innenquerschnitt der Strahlleitung 10 im wesentlichen konstant bleibt, sind auch Ausführungsformen möglich, bei denen dieser Innenquerschnitt variiert. Beispielsweise kann sich der Innenquerschnitt der Strahlleitung in der in Figur 4 gezeigten Weise in zwei Stufen, jedoch mit fließenden Übergängen verengen.

[0057] Mögliche Positionen für den Abzweig 24 sind ebenfalls in Figur 4 eingezeichnet.

[0058] Wie aus den obigen Beispielen hervorgeht, sollte der Entspannungsraum ein nicht zu kleines Volumen und insbesondere eine nicht zu kleine Länge haben. In einer derzeit als bevorzugt angesehenen Ausführungsform beträgt die Länge des Entspannungsraumes 100 mm oder mehr.

[0059] Während in den gezeigten Beispielen die Zuleitung 32 einen Innendurchmesser von 3 mm hat, sind auch Ausführungsformen denkbar, bei denen die Zuleitung 32 stromaufwärts oder vorzugsweise an der Einmündung in den Entspannungsraum 34 eine Engstelle mit einem Durchmesser auf von nur 1.0 oder 1.3 mm aufweist.

[0060] Für die Zufuhr des flüssigen CO<sub>2</sub> über die Zuleitung 32 kann wahlweise auch ein Kalttank vorgesehen sein, in dem das CO<sub>2</sub> bei einer Temperatur von etwa -20 °C unter einem Druck von weniger als 2,2 MPa, beispielsweise etwa 1,8 MPa, flüssig gehalten wird.

[0061] Figuren 5 bis 7 zeigen eine modifizierte Ausführungsform der Strahldüse 14, die die Funktion einer Laval-Düse hat, jedoch als Flachdüse ausgebildet ist und es gestattet, einen fächerförmig aufgeweiteten Strahl zu erzeugen, der über seine Breite ein relativ gleichmäßiges Dichte- und Geschwindigkeitsprofil aufweist.

[0062] Diese Strahldüse weist stromaufwärts einen zylindrischen Abschnitt 14a mit der Länge La und dem Innendurchmesser Da auf, an den sich ein Übergangsstück 14b mit der Länge Lb anschließt. Stromabwärts folgt ein abgeflachter Abschnitt 14c mit der Länge Lc, der einen rechteckigen Innenquerschnitt hat. Das Übergangsstück 14b dient zur Anpassung des zylindrischen Innenquerschnitts des Abschnitts 14a an den rechteckigen Innenquerschnitt des Abschnitts 14c. Dieser rechteckige Innenquerschnitt hat eine im wesentlichen konstante Breite W und eine Höhe, die von einem Wert H1 an der Engstelle, am Ende des Übergangsstücks 14b, auf einen etwas größeren Wert H2 an der Mündung zunimmt.

[0063] Auf diese Weise wird die Querschnittserweiterung entsprechend dem Laval-Prinzip erreicht, obgleich die Breite W praktisch konstant ist. Allenfalls im Mündungsbereich kann die Breite W geringfügig zunehmen.

[0064] In einer praktischen Ausführungsform hat die Strahldüse 14 nach Figuren 5 bis 7 die folgenden Abmessungen : La = 55 mm Lb = 55 mm Lc = 130 mm Da = 27 mm W = 45 mm H1 = 3, 0-4, 0 mm H2 = 7, 5 mm. In einer anderen Ausführungsform gilt für die Abmessungen:

La = 34 mm  
 Lb = 76 mm  
 Lc = 130 mm  
 Da = 12 mm  
 W = 16 mm  
 H1 = 2.25-2.60 mm

Tabelle fortgesetzt

H2 = 3, 75 mm

5 [0065] In dem abgeflachten Abschnitt 14c weist die Innenfläche Unebenheiten auf, die im gezeigten Beispiel durch Längsrippen 14d gebildet werden. Solche Unebenheiten führen insbesondere im Überschallbetrieb zu einer deutlichen Reduzierung der Lärmbelastung.

10

#### Patentansprüche

- 15 1. Strahlverfahren zur Reinigung von Oberflächen, bei dem flüssiges CO<sub>2</sub> über eine Zuleitung (32) in einen im Querschnitt erweiterten Entspannungsraum (34) zugeführt, durch Entspannung in Trockenschnee umgewandelt und zusammen mit einem Trägergas unter Druck zu einer Strahldüse (14) zugeführt wird, wobei für das Volumen V des Entspannungsraumes und die Innenquerschnittsfläche A der Zuleitung (32) die Beziehung  $V^{1/3}/A^{1/2} > 3$  erfüllt ist und das Gemisch aus Trägergas und Trockenschnee in der Strahldüse (14) auf mindestens annähernd Schallgeschwindigkeit beschleunigt wird, **dadurch gekennzeichnet, daß** das Trägergas unter Druck durch eine Strahlleitung (10) zu der Strahldüse (14) zugeführt wird, und das CO<sub>2</sub> aus dem Entspannungsraum (34) stromaufwärts der Strahldüse (14) in die Strahlleitung (10) eingeleitet wird.
- 20 2. Strahlverfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, daß** für das Volumen V des Entspannungsraumes und die Innenquerschnittsfläche A der Zuleitung (32) die Beziehung  $V^{1/3}/A^{1/2} > 10$  erfüllt ist.
- 25 3. Strahlverfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, daß** das Durchsatzverhältnis zwischen CO<sub>2</sub> und Trägergas mindestens 0, 1 kg/m<sup>3</sup>, vorzugsweise mindestens 0,25 kg/m<sup>3</sup> beträgt.
- 30 4. Strahlverfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, daß** das Verhältnis zwischen dem Volumen V des Entspannungsraumes (34) und dem Durchsatz an CO<sub>2</sub> mindestens 0,0002 m<sup>3</sup>s/kg beträgt.
- 35 5. Strahlverfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Entspannungsraum (34) thermisch gegenüber der Umgebung isoliert wird.
- 40 6. Strahlverfahren nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, daß** auch der sich an den Entspannungsraum (34) anschließende Abschnitt der Zuleitung (32) thermisch gegenüber der Umgebung isoliert wird.
- 45
- 50
- 55

7. Strahlverfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, daß** durch im Entspannungsraum oder am stromabwärtigen Ende desselben angeordnete Störkanten (40) eine Ablagerung von festem Trockeneis an den Wänden des Entspannungsraumes (34) und/oder der Strahlleitung (10) herbeigeführt wird. 5
8. Strahlverfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Strahldüse (14) eine Engstelle (18) aufweist, daß im Entspannungsraum ein Gemisch aus gasförmigem, flüssigem und festem CO<sub>2</sub> entsteht und ein Teil der festen und flüssigen Anteile in der Strahlleitung oder der Strahldüse verdampft, und daß durch Regulierung der Trägergasströmung die Position der Verdampfungszone relativ zur Engstelle (18) bestimmt wird. 10
9. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Strömung des Trägergases stromaufwärts der Einmündungsstelle des Entspannungsraumes (34) in die Strahlleitung (10) mit Hilfe eines Drosselventils (26) gedrosselt wird. 15
10. Verfahren nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet, daß** das Trägergas mit einem Druck von mindestens 0.1 MPa, vorzugsweise etwa 1,0 bis 2,0 MPa zum Drosselventil (26) zugeführt wird. 20
11. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, daß** das CO<sub>2</sub> bei Umgebungstemperatur unter einem zur Aufrechterhaltung des flüssigen Aggregatzustands erforderlichen Druck über die Zuleitung (32) zugeführt wird. 25
12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, **dadurch gekennzeichnet, daß** das CO<sub>2</sub> bei einer Temperatur von weniger als -15 °C unter einem zur Aufrechterhaltung des flüssigen Aggregatzustands erforderlichen Druck über die Zuleitung (32) zugeführt wird. 30
13. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Volumendurchsatz des Trägergases mindestens 0,75 m<sup>3</sup>/min beträgt. 35
14. Vorrichtung zur Reinigung von Oberflächen, mit einer Zuleitung (32) für flüssiges CO<sub>2</sub>, die in einen Entspannungsraum (34) mündet, wobei für das Volumen V des Entspannungsraumes und die Innenquerschnittsfläche A der Zuleitung (32) die Beziehung  $V^{1/3}/A^{1/2} > 3$  erfüllt ist, und mit einer konvergent/divergenten Strahldüse (14) zur Abgabe eines Gemisches aus einem Trägergas und CO<sub>2</sub> in der Form von Trockenschnee, **dadurch gekennzeichnet, daß** eine Strahlleitung (10) zur Zufuhr des Trägergases unter Druck vorgesehen ist, daß der Entspannungsraum (34) in die Strahlleitung (10) mündet und daß die Strahldüse (14) an das stromabwärtige Ende der Strahlleitung (10) angeschlossen ist. 40
15. Vorrichtung nach Anspruch 14, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Strahldüse (14) eine Laval-Düse ist. 45
16. Vorrichtung nach Anspruch 14 oder 15, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Querschnitt des Entspannungsraumes (34) von der Zuleitung (32) zur Strahlleitung (10) zunimmt. 50
17. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 14 bis 16, **dadurch gekennzeichnet, daß** im Entspannungsraum (34) und/oder an der Übergangsstelle zwischen dem Entspannungsraum (34) und dem Inneren der Strahlleitung (10) mindestens eine Störkante (40) ausgebildet ist. 55
18. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 14 bis 17, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Innenquerschnitt eines stromabwärtigen Abschnitts (38) des Entspannungsraumes (34) annähernd mit dem Innenquerschnitt der Strahlleitung (10) übereinstimmt.
19. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 14 bis 18, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Entspannungsraum (34) von einer Seite her in einen geraden Abschnitt der Strahlleitung (10) mündet.
20. Vorrichtung nach Anspruch 19, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Entspannungsraum (34) unter einem Winkel von 5° bis 90° in Strömungsrichtung in die Strahlleitung (10) mündet.
21. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 14 bis 20, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Entspannungsraum (34) eine Länge von mindestens 15 mm, vorzugsweise mindestens 49 mm hat.
22. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 14 bis 21, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Innendurchmesser der Strahldüse (14) an ihrer Einlaßöffnung etwa mit dem Innendurchmesser der Strahlleitung (10) übereinstimmt und daß der Innendurchmesser einer Engstelle (18) der Strahldüse etwa 15 bis 75%, vorzugsweise etwa 35 bis 45 % des Durchmessers der Einlaßöffnung beträgt.
23. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 14 bis 22, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Abstand zwischen der Mündung des Entspannungsraumes (34) in die Strahlleitung (10) und der Engstelle (18) der Strahldüse (14) größer ist als der Durchmesser (DL) der Strahlleitung (10).

24. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 14 bis 23, **dadurch gekennzeichnet, daß** in der Strahlleitung (10) stromaufwärts der Einmündungsstelle des Entspannungsraumes (34) ein Drosselventil (26) angeordnet ist.
25. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 14 bis 24, **dadurch gekennzeichnet, daß** in der Zuleitung (32) unmittelbar stromaufwärts des Entspannungsraumes (34) ein Dosierventil (42) angeordnet ist.
26. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 14 bis 25, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Länge des Entspannungsraumes (34) mindestens 15 mm, vorzugsweise mindestens 30 mm beträgt.
27. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 14 bis 26, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Strahldüse (14) eine Flachdüse ist, mit einem zylindrischen Abschnitt (14a), einem Übergangsstück (14b) und einem abgeflachten Abschnitt (14c), der einen annähernd rechteckigen Innenquerschnitt aufweist.

#### Claims

1. Blasting method for cleaning surfaces, wherein liquid CO<sub>2</sub> is supplied via a feed line (32) into an expansion volume (34) having an enlarged cross section, is transformed into dry snow by expansion, and is fed under pressure, together with a carrier gas, to a blasting nozzle (14), wherein the volume V of the expansion volume and the internal cross-sectional area A of the feed line (32) fulfill the relation  $V^{1/3}/A^{1/2} > 3$ , and the mixture of carrier gas and dry snow is accelerated in the blasting nozzle (14) to at least approximately sonic speed, **characterised in that** the carrier gas is supplied under pressure through a blasting line (10) to the blasting nozzle (14), and the CO<sub>2</sub> is introduced from the expansion volume (34) into the blasting line (10) upstream of the blasting nozzle (14).
2. Blasting method according to claim 1, **characterised in that** the volume V of the expansion volume and the internal cross-sectional area A of the feed line (32) fulfill the relation  $V^{1/3}/A^{1/2} > 10$ .
3. Blasting method according to claim 1 or 2, **characterised in that** the flow rate ratio between CO<sub>2</sub> and carrier gas is at least 0.1 kg/m<sup>3</sup>, preferably at least 0.25 kg/m<sup>3</sup>.
4. Blasting method according to any of the preceding claims, **characterised in that** the ratio between the volume V of the expansion volume (34) and the flow rate of CO<sub>2</sub> amounts to at least 0.0002 m<sup>3</sup> s/kg.
5. Blasting method according to any of the preceding claims, **characterised in that** the expansion volume (34) is thermally insulated from the environment.
6. Blasting method according to claim 5, **characterised in that** the portion of the feed line (32) adjacent to the expansion volume (34) is also thermally insulated from the environment.
7. Blasting method according to any of the preceding claims, **characterised in that** a deposition of solid dry ice at the walls of the expansion volume (34) and/or the blasting line (10) is caused by swirl edges (40) in the expansion volume or at the downstream end thereof.
8. Blasting method according to any of the preceding claims, **characterised in that** the blasting nozzle (14) has a constriction (18), a mixture of gaseous, liquid and solid CO<sub>2</sub> is produced in the expansion volume, and a part of the solid and liquid components evaporate in the blasting line or the blasting nozzle, and **in that** the position of the evaporation zone relative to the constriction (18) is determined by regulating the flow of carrier gas.
9. Method according to one of the preceding claims, **characterised in that** the flow of carrier gas is throttled by means of a metering valve (26) upstream of the point of entry of the expansion volume (34) into the blasting line (10).
10. Method according to claim 9, **characterised in that** the carrier gas is supplied to the metering valve (26) with a pressure of at least 0.1 MPa, preferably about 1.0 to 2.0 MPa.
11. Method according to any of the preceding claims, **characterised in that** the CO<sub>2</sub> is supplied via the feed line (32) at environmental temperature and under a pressure necessary for maintaining the liquid state.
12. Method according to one of the claims 1 to 10, **characterised in that** the CO<sub>2</sub> is supplied through the feed line (32) at a temperature of less than -15° C and at a pressure necessary for maintaining the liquid state.
13. Method according to any of the preceding claims, **characterised in that** the volume flow rate of the carrier gas is at least 0.75 m<sup>3</sup>/min.
14. Apparatus for cleaning surfaces, comprising: a feed line (32) for liquid CO<sub>2</sub>, which opens into an expansion volume (34), the volume V of the expansion volume and the internal cross-sectional area A of the

- feed line (32) fulfilling the relation  $V^{1/3}/A^{1/2} > 3$ , and a convergent/divergent blasting nozzle for discharging a mixture of a carrier gas and CO<sub>2</sub> in the form of dry snow, **characterised in that** a blasting line (10) is provided for supplying the carrier gas under pressure, the expansion volume (34) opens into the blasting line (10), and the blasting nozzle (14) is connected to the downstream end of the blasting line (10).
- 5
15. Apparatus according to claim 14, **characterised in that** the blasting nozzle (14) is a Laval nozzle.
- 10
16. Apparatus according to claim 14 or 15, **characterised in that** the cross section of the expansion volume (34) increases from the feed line (32) towards the blasting line (10).
- 15
17. Apparatus according to one of the claims 14 to 16, **characterised in that** at least one swirl edge (40) is formed in the expansion volume (34) and/or at the transition between the expansion volume (34) and the interior of the blasting line (10).
- 20
18. Apparatus according to one of the claims 14 to 17, **characterised in that** the internal cross section of a downstream section (38) of the expansion volume (34) is approximately equal to the internal cross section of the blasting line (10).
- 25
19. Apparatus according to one of the claims 14 to 18, **characterised in that** the expansion volume (34) enters into a straight section of the blasting line (10) from one side.
- 30
20. Apparatus according to claim 19, **characterised in that** the expansion volume (34) enters into the blasting line (10) at an angle from 5 to 90° in flow direction.
- 35
21. Apparatus according to one of the claims 14 to 20, **characterised in that** the expansion volume (34) has a length of at least 15 mm, preferably at least 49 mm.
- 40
22. Apparatus according to one of the claims 14 to 21, **characterised in that** the internal diameter of the blasting nozzle (14) at its inlet opening is approximately equal to the internal diameter of the blasting line (10), and **in that** the internal diameter of a constriction (18) of the blasting nozzle is approximately 15 to 75 %, preferably about 35 to 45 % of the diameter at the inlet opening.
- 45
- 50
23. Apparatus according to one of the claims 14 to 22, **characterised in that** the distance between the point of entry of the expansion volume (34) into the blasting line (10) and the constriction (18) of the blasting nozzle (14) is larger than the diameter (DL) of the blasting line (10).
- 55
24. Apparatus according to one of the claims 14 to 23, **characterised in that** a metering valve (26) is arranged in the blasting line (10) upstream of the point of entry of the expansion volume (34).
25. Apparatus according to one of the claims 14 to 24, **characterised in that** a metering valve (42) is arranged in the feed line (32) directly upstream of the expansion volume (34).
26. Apparatus according to one of the claims 14 to 25, **characterised in that** the length of the expansion volume (34) amounts to at least 15 mm, preferably at least 30 mm.
27. Apparatus according to one of the claims 14 to 26, **characterised in that** the blasting nozzle (14) is a flat nozzle, having a cylindrical section (14a), a transition piece (14b) and a flattened section (14c). the flattened section having an approximately rectangular internal cross section.

#### Revendications

1. Procédé par projection pour le nettoyage de surfaces, dans lequel du CO<sub>2</sub> liquide est amené par une conduite d'alimentation (32) dans un espace de détente (34) de section élargie, est transformé en neige carbonique par détente et, avec un gaz porteur sous pression, est acheminé à une buse de projection (14), sachant que pour le volume V de l'espace de détente et pour la section intérieure A de la conduite d'alimentation (32), la relation  $V^{1/3}/A^{1/2} > 3$  est vérifiée et que le mélange de gaz porteur et de neige carbonique est accéléré dans la buse de projection (14) au moins jusqu'à environ la vitesse du son, **caractérisé en ce que** le gaz porteur est acheminé sous pression par une conduite de projection (10) à la buse de projection (14) et **en ce que** le CO<sub>2</sub> est introduit dans la conduite de projection (10) depuis l'espace de détente (34) en amont de la buse de projection (14).
2. Procédé par projection selon la revendication 1, **caractérisé en ce que**, pour le volume V de l'espace de détente et pour la section intérieure A de la conduite d'alimentation (32), la relation  $V^{1/3}/A^{1/2} > 10$  est vérifiée.
3. Procédé par projection selon la revendication 1 ou 2, **caractérisé en ce que** le rapport de débit entre CO<sub>2</sub> et le gaz porteur est d'au moins 0,1 kg/m<sup>3</sup>, de préférence d'au moins 0,25 kg/m<sup>3</sup>.
4. Procédé par projection selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le rapport entre le volume V de l'espace de détente (34) et le

- débit de CO<sub>2</sub> est d'au moins 0,0002 m<sup>3</sup>s/kg.
5. Procédé par projection selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** l'espace de détente (34) est isolé thermiquement par rapport à l'environnement. 5
  6. Procédé par projection selon la revendication 5, **caractérisé en ce que** le tronçon de conduite d'alimentation (32) se raccordant à l'espace de détente (34) est également isolé thermiquement par rapport à l'environnement. 10
  7. Procédé par projection selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** par des arêtes perturbatrices (40) disposées dans l'espace de détente ou à l'extrémité aval de ce dernier ou provoque un dépôt de glace carbonique solide sur les parois de l'espace de détente (34) et/ou de la conduite de projection (10). 15
  8. Procédé par projection selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la buse de projection (14) comporte un rétrécissement (18), **en ce que** dans l'espace de détente est formé un mélange de CO<sub>2</sub> gazeux, liquide et solide et **en ce qu'**une partie des fractions solides et liquides se vaporise dans la conduite de projection ou dans la buse de projection, et **en ce que** par réglage de l'écoulement du gaz porteur, la position de la zone de vaporisation est déterminée par rapport au rétrécissement (18). 20
  9. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** l'écoulement du gaz porteur est étranglé à l'aide d'une soupape d'étranglement (26) en amont de l'emplacement où l'espace de détente (34) débouche dans la conduite de projection (10). 25
  10. Procédé selon la revendication 9, **caractérisé en ce que** le gaz porteur est acheminé à la soupape d'étranglement (26) à une pression d'au moins 0,1 MPa, de préférence d'environ 1,0 à 2,0 MPa. 30
  11. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le CO<sub>2</sub> est acheminé par la conduite d'alimentation (32) à la température ambiante sous une pression nécessaire pour la conservation de l'état physique liquide. 35
  12. Procédé selon l'une des revendications 1 à 10, **caractérisé en ce que** le CO<sub>2</sub> est acheminé par la conduite d'alimentation (32) à une température de moins de -15 °C sous une pression nécessaire pour la conservation de l'état physique liquide. 40
  13. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le débit volumique du gaz porteur est d'au moins 0,75 m<sup>3</sup>/min. 45
  14. Dispositif pour le nettoyage de surfaces, avec une conduite d'alimentation (32) pour du CO<sub>2</sub> liquide, qui débouche dans un espace de détente (34), sachant que pour le volume V de l'espace de détente et pour la section intérieure A de la conduite d'alimentation (32), la relation  $V^{1/3}/A^{1/2} > 3$  est vérifiée, et avec une buse de projection (14) convergente/divergente pour délivrer un mélange d'un gaz porteur et de CO<sub>2</sub> sous la forme de neige carbonique, **caractérisé en ce qu'**une conduite de projection (10) est prévue pour l'amenée du gaz porteur sous pression, **en ce que** l'espace de détente (34) débouche dans la conduite de projection (10) et **en ce que** la buse de projection (14) est raccordée à l'extrémité aval de la conduite de projection (10). 50
  15. Dispositif selon la revendication 14, **caractérisé en ce que** la buse de projection (14) est une buse de Laval. 55
  16. Dispositif selon la revendication 14 ou 15, **caractérisé en ce que** la section de l'espace de détente (34) augmente de la conduite d'alimentation (32) à la conduite de projection (10).
  17. Dispositif selon l'une des revendications 14 à 16, **caractérisé en ce qu'**au moins une arête perturbatrice (40) est formée dans l'espace de détente (34) et/ou à l'emplacement de transition entre l'espace de détente (34) et l'intérieur de la conduite de projection (10).
  18. Dispositif selon l'une des revendications 14 à 17, **caractérisé en ce que** la section intérieure d'un tronçon aval (38) de l'espace de détente (34) coïncide à peu près avec la section intérieure de la conduite de projection (10).
  19. Dispositif selon l'une des revendications 14 à 18, **caractérisé en ce que** l'espace de détente (34) débouche depuis un côté dans un tronçon droit de la conduite de projection (10).
  20. Dispositif selon la revendication 19, **caractérisé en ce que** l'espace de détente (34) débouche dans la conduite de projection (10) sous un angle de 5° à 90° dans la direction de l'écoulement.
  21. Dispositif selon l'une des revendications 14 à 20, **caractérisé en ce que** l'espace de détente (34) a une longueur d'au moins 15 mm, de préférence d'au moins 49 mm.
  22. Dispositif selon l'une des revendications 14 à 21, **caractérisé en ce que** le diamètre intérieur de la

buse de projection (14) coïncide à peu près à son orifice d'entrée avec le diamètre intérieur de la conduite de projection (10) et **en ce que** le diamètre intérieur d'un rétrécissement (18) de la buse de projection est d'environ 15 à 75 %, de préférence d'environ 35 à 45 % du diamètre de l'orifice d'entrée.

- 5
23. Dispositif selon l'une des revendications 14 à 22, **caractérisé en ce que** la distance entre l'embouchure de l'espace de détente (34) dans la conduite de projection (10) et le rétrécissement (18) de la buse de projection (14) est plus grand que le diamètre (DL) de la conduite de projection (10).
- 10
24. Dispositif selon l'une des revendications 14 à 23, **caractérisé en ce qu'**une soupape d'étranglement (26) est disposée dans la conduite de projection (10), en amont de l'emplacement où débouche l'espace de détente (34).
- 15
25. Dispositif selon l'une des revendications 14 à 24, **caractérisé en ce qu'**une soupape de dosage (42) est disposée dans la conduite d'alimentation (32), juste en amont de l'espace de détente (34).
- 20
26. Dispositif selon l'une des revendications 14 à 25, **caractérisé en ce que** la longueur de l'espace de détente (34) est d'au moins 15 mm, de préférence d'au moins 30 mm.
- 25
27. Dispositif selon l'une des revendications 14 à 26, **caractérisé en ce que** la buse de projection (14) est une buse plate avec un tronçon cylindrique (14a), une pièce de transition (14b) et un tronçon aplati (14c) qui présente une section intérieure à peu près rectangulaire.
- 30
- 35

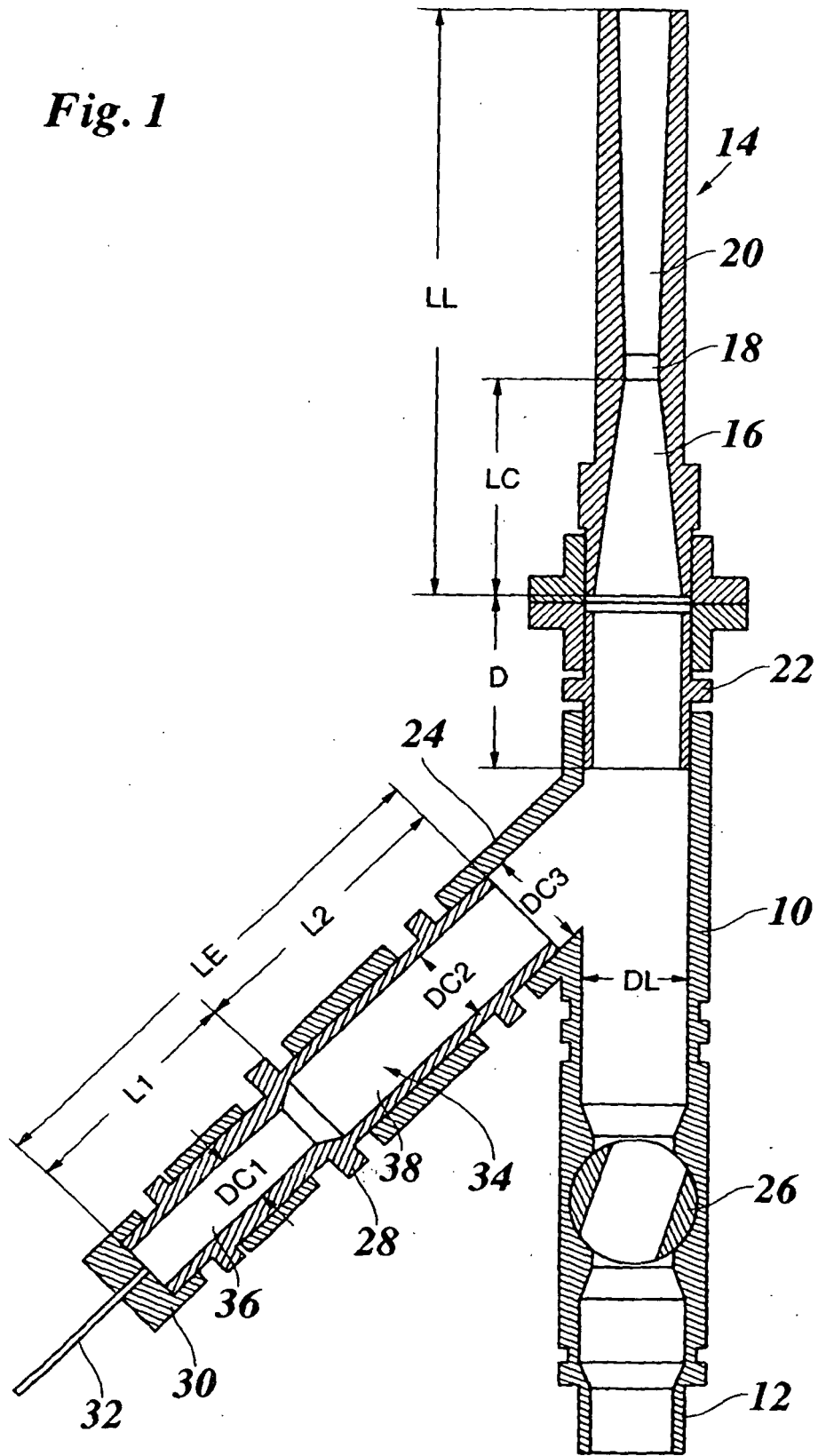
40

45

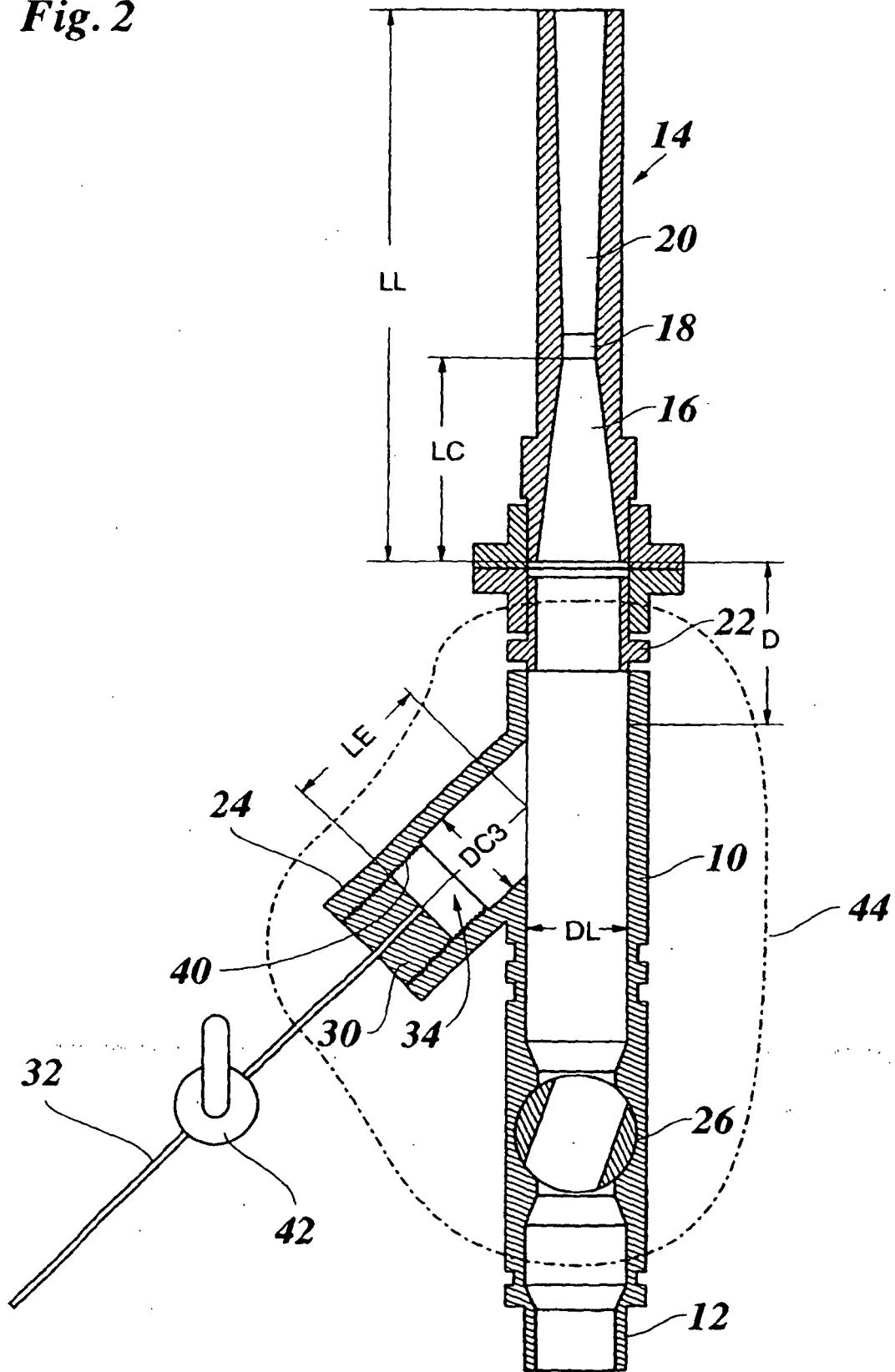
50

55

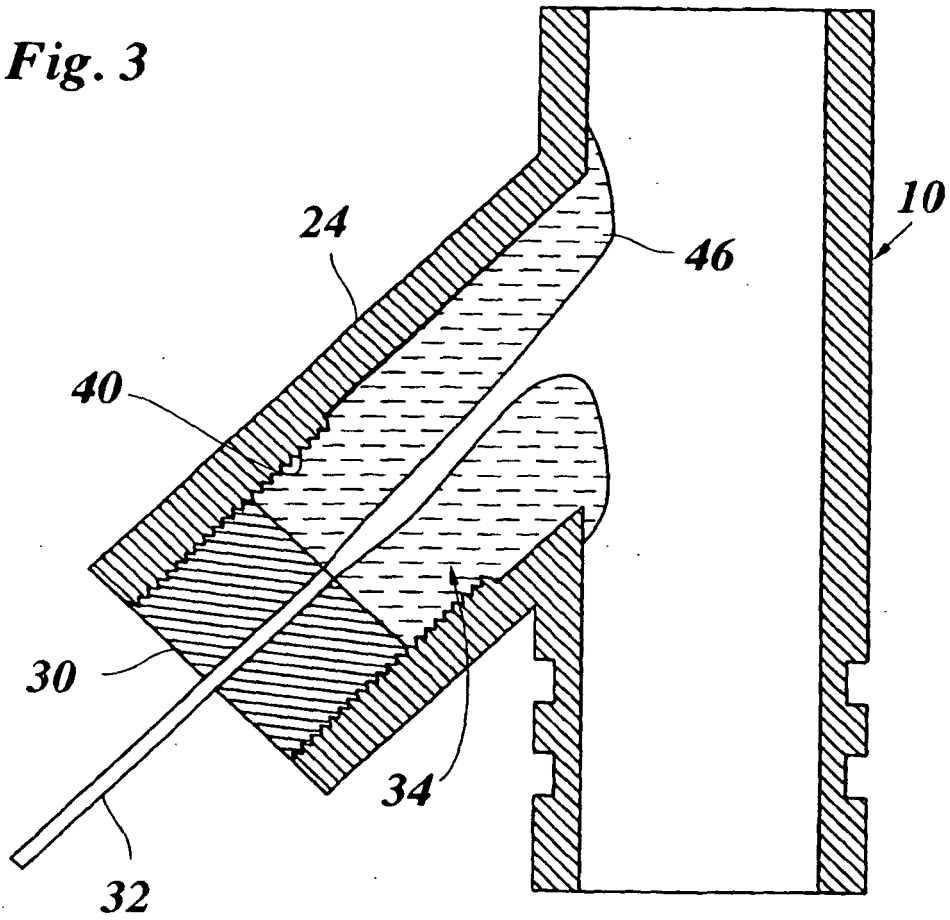
*Fig. 1*



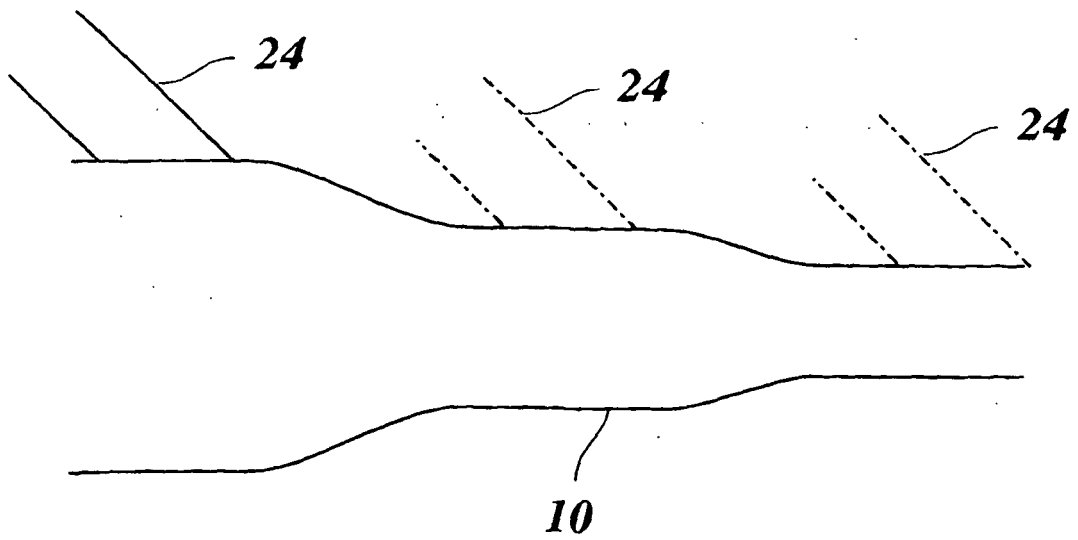
**Fig. 2**



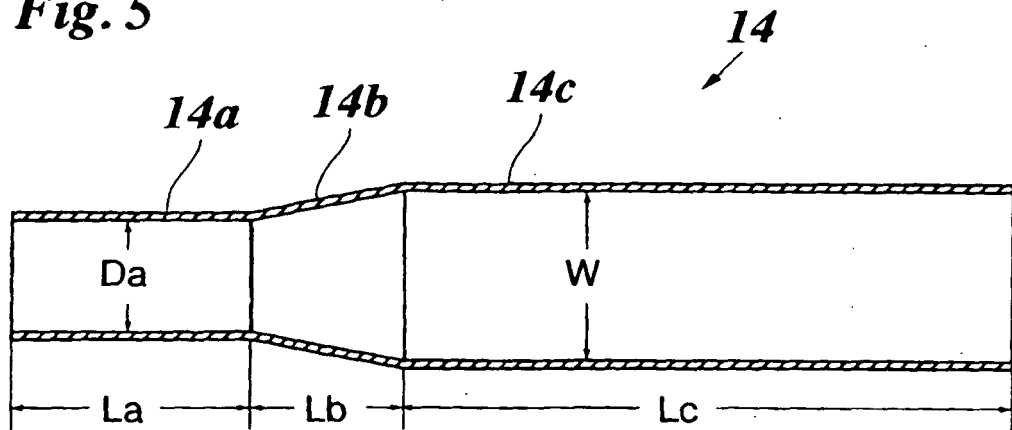
**Fig. 3**



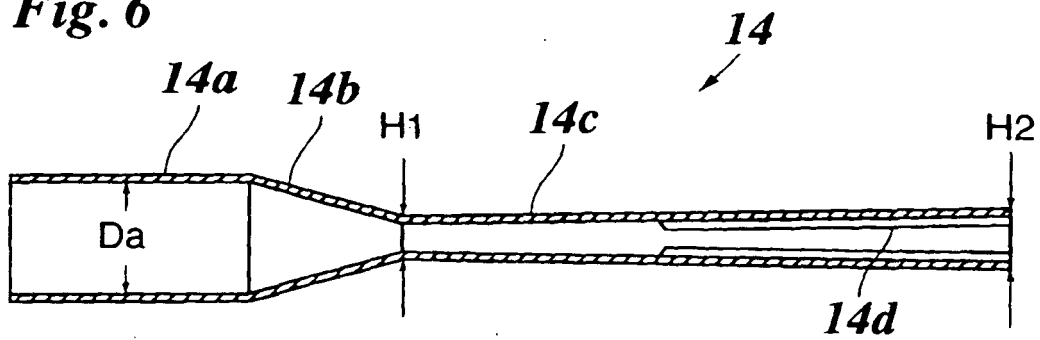
**Fig. 4**



**Fig. 5**



**Fig. 6**



**Fig. 7**

