(19) Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11) **EP 2 583 790 B1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
03.09.2014 Patentblatt 2014/36

(51) Int Cl.:
B24C 1/00 *(2006.01)* ***B24C 1/04*** *(2006.01)*
B24C 9/00 *(2006.01)*

(21) Anmeldenummer: **12007193.1**

(22) Anmeldetag: **17.10.2012**

(54) **Strahlschneidvorrichtung**

Jet cutting device

Dispositif de découpage au jet

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR

(30) Priorität: **17.10.2011 DE 102011116228**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
24.04.2013 Patentblatt 2013/17

(73) Patentinhaber:
- **Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V.**
  80686 München (DE)
- **Ruhr-Universität Bochum**
  44801 Bochum (DE)

(72) Erfinder:
- **Weidner, Eckhard**
  44795 Bochum (DE)
- **Pollak, Stefan**
  44795 Bochum (DE)
- **Kilzer, Andreas**
  58454 Witten (DE)
- **Engelmeier, Lena**
  44787 Bochum (DE)
- **Krieg, Mark**
  13505 Berlin (DE)
- **Bilz, Martin**
  10713 Berlin (DE)
- **Uhlmann, Eckart**
  25368 Kiebitzreihe (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
EP-A1- 0 569 708
WO-A1-97/06923
DE-A1- 4 402 247
US-A- 5 782 253

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

EP 2 583 790 B1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Strahlschneidvorrichtung zum Strahlspanen eines Werkstücks mittels eines Schneidfluids, wobei die Strahlschneidvorrichtung eine Zufuhreinrichtung für das Schneidfluid und eine Düse aufweist, durch die im Betrieb der Strahlschneidvorrichtung zugeführtes, unter Druck stehendes Schneidfluid gepresst wird, um einen Schneidstrahl zu erzeugen.

[0002] Allgemein bekannt ist seit vielen Jahren das sogenannte Wasserstrahlschneiden, bei dem als Schneidfluid Wasser verwendet wird, welches unter hohem Druck (bis zu mehreren Tausend bar) durch eine Düse gepresst wird, um einen Schneidstrahl aus Wasser zu erzeugen. Ein zu schneidendes Werkstück wird im Wasserstrahl stromabwärts der Düse platziert. Zum Erzeugen einer Schnittfuge muss entweder die Düse entlang der gewünschten Schnittbahn über das Werkstück bewegt werden oder es muss das Werkstück bezüglich einer feststehenden Düse entsprechend bewegt werden. Wasserstrahlschneiden wird heute in vielen Bereichen der Industrie eingesetzt, z.B. in der Lebensmittelindustrie, der Elektronikindustrie und auch im klassischen Maschinenbau.

[0003] Es sind bereits Versuche unternommen worden, andere Schneidfluide als Wasser zu verwenden. Es sind Vorrichtungen bekannt, die Trockeneisstrahlen und CO_2-Schneestrahlen verwenden, in denen feste Kohlendioxidpartikel das Strahlmedium bilden. Von Trockeneisstrahlen spricht man, wenn das Strahlmittel dem Prozess bereits in fester Form zugeführt wird. Die Trockeneispartikel werden durch Druckluft beschleunigt und auf die zu bearbeitende Oberfläche gestrahlt. Beim CO_2-Schneestrahlen hingegen wird flüssiges Kohlendioxid mit einem Druck von etwa 60 bar bis 280 bar über eine Zweistoffringdüse in einen Mantelstrahl eingedüst, der mittels der Zweistoffringdüse bei niedrigerem Druck (ca. 8 bar bis 16 bar) aus Stickstoff oder Druckluft erzeugt wird. Aufgrund der schlagartigen Expansion des flüssigen Kohlendioxids nach dem Austritt aus der Düse und der damit verbundenen Abkühlung entsteht ein Strahl aus Trockeneispartikeln und Gas. Der Mantelstrahl bündelt die Partikel und beschleunigt sie teilweise auf mehrfache Schallgeschwindigkeit. Treffen die ca. -70°C kalten Trockeneispartikel auf eine zu bearbeitende Oberfläche, platzen aufgrund der Impulsübertragung und des Versprödungseffekts Verschmutzungen auf der Oberfläche ab. Zudem werden Schmutzpartikel durch die Volumenzunahme als Folge der Phasenumwandlung abgelöst und abgetragen. Die Trockeneispartikel sublimieren sodann und lassen eine gereinigte, trockene Oberfläche zurück.

[0004] Aus der US 5,782,253 ist eine solche Vorrichtung zum Entschichten von Oberflächen bekannt. Die Vorrichtung verwendet eine Lichtquelle, die sichtbare und ultraviolette Lichtstrahlung hoher Intensität aussendet, mittels derer die chemische Bindung einer Beschichtung auf dem Substrat geschwächt wird. Genauer wird die Beschichtung durch die intensive Strahlung im Wesentlichen pyrolysiert. Auf die solchermaßen vorbehandelte Oberfläche wird ein Strom eines unter hohem Druck stehenden, trockenen Gases gerichtet, in dem sich gefrorene Kohlendioxidpartikel befinden. Dieser partikelbeladene Gasstrom entfernt die Beschichtung schonend von der Substratoberfläche, wobei die verdampfenden Kohlendioxidpartikel zugleich eine Kühlung der mit der Vorrichtung behandelten Substratoberfläche bewirken.

[0005] Aus den vorstehenden Erläuterungen wird deutlich, dass Trockeneisstrahlen und CO_2-Schneestrahlen aufgrund mangelnder Strahlleistung nur zum Entschichten und Abtragen von Verunreinigungen oder Oberflächenschichten eingesetzt werden können. Zur schneidenden Bearbeitung von Werkstücken eignen sich Trockeneisstrahlen und CO_2-Schneestrahlen nicht, da es bisher nicht gelungen ist, einen aus Kohlendioxid bestehenden oder Kohlendioxid enthaltenden Strahl zu erzeugen, der eine zum Einsatz als Schneidstrahl ausreichende Länge und Stabilität aufweist.

[0006] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Strahlschneidvorrichtung anzugeben, die mit unterschiedlichsten Schneidfluiden einen auch zum trennenden Bearbeiten geeigneten Schneidstrahl erzeugen kann.

[0007] Ausgehend von einer Strahlschneidvorrichtung der eingangs genannten Art ist diese Aufgabe erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass die Strahlschneidvorrichtung eine zum Umschließen des Schneidstrahls von seinem Austritt aus der Düse bis zu seinem Auftreffen auf das Werkstück druckdicht ausgeführte Kammer aufweist. Eine solche Kammer ermöglicht es, den Schneidstrahl insbesondere thermodynamisch, aber auch strömungsmechanisch zu beeinflussen und ihn auf diese Weise bei Verwendung unterschiedlichster Schneidfluide stabil und ausreichend lang zu erzeugen. Mit "druckdicht" ist vorliegend gemeint, dass die Kammer es erlaubt, in ihr einen Druck aufrechtzuerhalten, der sich vom Umgebungsdruck mehr als nur geringfügig unterscheidet. Beispielsweise kann die Kammer zur Aufrechterhaltung eines Drucks ausgebildet sein, der zwischen 1 bar und 15 bar über dem Umgebungsdruck liegt. Je nach Anwendungsfall kann der Druck in der Kammer aber auch niedriger als der Umgebungsdruck sein.

[0008] Gemäß einer Ausführungsform umschließt die Kammer nicht nur den Schneidstrahl, sondern auch das zu bearbeitende Werkstück. Eine solche Lösung vermeidet Abdichtungsprobleme zwischen der Kammer und dem zu bearbeitenden Werkstück, bedingt aber eine je nach zu bearbeitendem Werkstück relativ große Kammer zur Aufnahme des kompletten Werkstücks.

[0009] Gemäß einer anderen Ausführungsform ist die den Schneidstrahl umschließende Kammer zum Werkstück hin offen und wird an ihrer offenen Seite im Betrieb teilweise oder vollständig durch das zu bearbeitende Werkstück begrenzt. Bei einer solchen Ausführungsform kann die Kammer vorzugsweise aus elastischem Material bestehen, um sich einer zu bearbeitenden Kontur des

Werkstücks anzupassen. Alternativ oder zusätzlich kann ein zum Werkstück hin offenes Ende der Kammer eine Dichtungseinrichtung aufweisen, die die Kammer entlang ihres Umfangs zwischen dem offenen Ende der Kammer und einem in Bearbeitung befindlichen Werkstück abdichtet. Eine solche Dichtungseinrichtung kann z.B. eine federnd elastische Dichtlippe oder auch ein Dichtaufsatz sein, der gelenkig mit der Kammer aus starrem oder elastischem Material verbunden ist. Der Einsatz einer ausreichend nachgiebigen Dichteinrichtung ermöglicht auch ein Kippen der Schneidvorrichtung bezüglich des zu bearbeitenden Werkstücks und somit die Erzeugung schräger Schnitte oder Bohrungen.

[0010] Bei bevorzugten Ausgestaltungen der erfindungsgemäßen Strahlschneidvorrichtung wird während des Betriebs in der Kammer ein gegenüber dem Umgebungsdruck erhöhter Druck erzeugt und aufrechterhalten. Zur Erzeugung dieses Überdrucks kann ein Teil des Schneidfluids selbst verwendet werden, wenn es sich bei dem Schneidfluid um ein Fluid handelt, das unter den im Betrieb in der Kammer herrschenden Bedingungen zumindest teilweise in die Gasphase übergeht. Kommt hingegen ein Schneidfluid zum Einsatz, welches selbst keine Gasphase erzeugt, kann der Kammer ein Hilfsgas zugeführt werden, um einen gewünschten Überdruck einzustellen. Ein Hilfsgas kann auch dann verwendet werden, wenn das Schneidfluid selbst eine Gasphase erzeugt, beispielsweise um eine Schutzgasumhüllung des Schneidstrahls zu bilden. Bei bevorzugten Ausführungsformen der Strahlschneidvorrichtung ist daher die Kammer mit einer Zuführung für unter Druck stehendes Gas versehen.

[0011] Ferner steht bei der erfindungsgemäßen Strahlschneidvorrichtung eine Druckregeleinrichtung mit der Kammer in strömungsleitender Verbindung. Mit der Druckregeleinrichtung kann ein in der Kammer gewünschter Druck zuverlässig aufrechterhalten werden, indem durch die Druckregeleinrichtung jeweils nur soviel Gas aus der Kammer abströmt, dass der gewünschte Druck in der Kammer beibehalten wird. Bei einer einfachen Ausführungsform kann die Druckregeleinrichtung durch eine einfache Drossel, durch andere geeignete Strömungswiderstände oder durch eine Kombination solcher Elemente gebildet sein. Bei Ausführungsformen, bei denen die den Schneidstrahl umschließende Kammer ein zum Werkstück hin offenes Ende aufweist, kann als Drossel ein schmaler Ringspalt zwischen dem freien Ende der Kammer und dem zu bearbeitenden Werkstück fungieren.

[0012] Zur strömungsmechanischen Beeinflussung des Schneidstrahls ist bei bevorzugten Ausgestaltungen eine Innenseite der den Schneidstrahl umschließenden Kammer nahe des Schneidstrahls angeordnet und zur Strömungsbeeinflussung ausgebildet, etwa zum Fokussieren des Schneidstrahls, zum Abtrennen oder Umlenken einzelner Schneidstrahlbereiche, z.B. eines sich um den eigentlichen Schneidstrahl herum ausbildenden Streukegels, zum Erzeugen einer Stützströmung (Mantelstrahl) mit oder ohne Zudosierung von Hilfsgas, zur Steuerung der örtlichen Verteilung von Flüssigkeit, Feststoff und Gas in Mehrphasenstrahlen, zur Erzielung einer Drallströmung etc. Die Innenseite der Kammer kann dazu beispielsweise sich kegelförmig verjüngend ausgestaltet sein, sie kann Längsnuten oder schraubenförmig angeordnete Nuten haben, sie kann Einlassöffnungen für Hilfsgas aufweisen und ähnliches mehr. Alternativ und/oder zusätzlich kann die Kammer strömungsbeeinflussende Einbauten enthalten, die der Erzielung einer gewünschten Strahlbeeinflussung dienen, etwa Blenden, Prall- und/oder Leitbleche, Strahlteiler und ähnliches.

[0013] Zur weiteren Beeinflussung des zu erzeugenden Schneidstrahls kann die den Schneidstrahl umschließende Kammer kühl- und/oder beheizbar ausgebildet sein, beispielsweise indem die Kammerwand doppelwandig ausgeführt ist, so dass ein Kühl- oder Heizmedium durch die Kammerwand zirkuliert werden kann. Zum Kühlen einer Kammer kann beispielsweise flüssiger Stickstoff verwendet werden.

[0014] Vorteilhafte Ausführungsformen der erfindungsgemäßen Strahlschneidvorrichtung weisen einen Wärmetauscher zur Einstellung einer gewünschten Temperatur des Schneidfluids vor seinem Austritt aus der Düse auf. Die Temperatur, die das verwendete Schneidfluid vor seinem Austritt aus der Düse hat, die sogenannte Vorexpansionstemperatur kann die Beschaffenheit des erzeugten Schneidstrahls maßgeblich beeinflussen. Insbesondere dann, wenn als Schneidfluid ein hochverdichtetes Gas verwendet wird, ist der erzeugte Schneidstrahl schärfer und fokussierter, wenn die Temperatur des Schneidfluids vor seinem Austritt aus der Düse niedrig ist, wohingegen der Schneidstrahl diffuser und damit aufgefächerter wird, wenn die Temperatur des Schneidfluids vor seinem Austritt aus der Düse höher gewählt wird. Im Zusammenspiel mit der erfindungsgemäß vorgesehenen, zum Umschließen des Schneidstrahls von seinem Austritt aus der Düse bis zu seinem Auftreffen auf das Werkstück ausgeführten Kammer bieten solche Ausführungsformen erfindungsgemäßer Strahlschneidvorrichtungen somit mehr Freiheitsgrade als bisher üblich, um in Abhängigkeit eines gewählten Schneidfluids eine bestimmte, dem vorgesehenen Verwendungszweck optimal angepasste Schneidstrahlcharakteristik zu erzeugen. Insbesondere durch geeignetes Variieren der Vorexpansionstemperatur und des Drucks in der den Schneidstrahl umschließenden Kammer lassen sich die Schneidstrahleigenschaften deutlich verändern und somit wunschgemäß einstellen. Die erfindungsgemäße Strahlschneidvorrichtung ist aufgrund der mannigfaltigen Möglichkeiten der thermodynamischen und/oder strömungsmechanischen Beeinflussbarkeit des zu erzeugenden Schneidstrahls für eine Vielzahl unterschiedlicher Schneidfluide mit unterschiedlichsten physikalischen Eigenschaften geeignet. Vorzugsweise besteht das Schneidfluid aus oder umfasst eine Flüssigkeit oder ein Gas in unterkritischem oder überkritischem

Zustand. Wie aus dem Stand der Technik bekannt, können dem Schneidfluid auch feste Partikel zugegeben werden, um die Schneidleistung bei bestimmten Anwendungen zu verbessern. Bei einer besonders bevorzugten Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Schneidvorrichtung enthält der Schneidstrahl Kohlendioxid in zumindest teilweise flüssiger oder zumindest teilweise fester Form. Ein gasförmiger Anteil des Schneidstrahls kann dabei zum Aufbau und Erhalt eines gewünschten Überdrucks in der den Schneidstrahl umschließenden Kammer verwendet werden. Aufgrund der erfindungsgemäß den Schneidstrahl umschließenden Kammer ist es durch Aufrechterhalten eines Überdrucks in der Kammer möglich, aus Kohlendioxid bestehende oder Kohlendioxid umfassende Schneidstrahlen stabil und mit einer zum trennenden Bearbeiten ausreichenden Länge zu erzeugen. Hierzu reicht bereits ein relativ geringer Überdruck in der Kammer aus, etwa 1,5 bar Überdruck, wobei höhere Überdrücke die Stabilität eines aus Kohlendioxid bestehenden oder Kohlendioxid umfassenden Schneidstrahls noch verbessern.

[0015] Ausführungsbeispiele der erfindungsgemäßen Schneidvorrichtung werden im Folgenden anhand der beigefügten, schematischen Zeichnungen näher erläutert. Es zeigt:

Fig. 1 ein Schaubild einer ersten grundsätzlichen Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Schneidvorrichtung, bei der eine den Schneidstrahl umschließende Kammer auch ein zu bearbeitendes Werkstück vollständig umschließt,

Fig. 2 ein Schaubild einer zweiten grundsätzlichen Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Schneidvorrichtung, bei der eine den Schneidstrahl umschließende Kammer nur bis an die Oberfläche eines zu bearbeitenden Werkstücks reicht, und

Fig. 3 ein detaillierter ausgeführtes Anlagenfließbild einer erfindungsgemäßen Schneidvorrichtung gemäß der ersten grundsätzlichen Ausführungsform.

[0016] Fig. 1 zeigt schematisch eine erste grundsätzliche Ausführungsform einer Strahlschneidvorrichtung 10 zum Bearbeiten eines Werkstücks mittels eines Schneidstrahls, der durch Pressen eines Schneidfluids unter hohem Druck durch eine Düse erzeugt wird.

[0017] Die in Fig. 1 dargestellte Strahlschneidvorrichtung 10 verwendet als Schneidfluid flüssiges Kohlendioxid, welches einem Vorratsbehälter 12 entnommen und anschließend in einem Verdichter 14 auf einen gewünschten, hohen Druck gebracht wird und zur Einstellung einer gewünschten Temperatur einen Wärmetauscher 16 durchströmt. Das solchermaßen vorkonditionierte, als Schneidfluid dienende Kohlendioxid wird dann dem Einlass einer Düse 18 zugeführt, an deren Auslass sich unter gleichzeitiger Entspannung des Kohlendioxids ein Schneidstrahl 20 bildet, der zum Bearbeiten eines Werkstücks 22 dient.

[0018] Bei der Ausführungsform gemäß Fig. 1 umschließt eine Kammer 24a die Düse 18 und das zu bearbeitende Werkstück 22 vollständig. In der Kammer 24a wird im Betrieb der Schneidvorrichtung 10 mittels des durch die Düse 18 strömenden Kohlendioxids ein Überdruck aufgebaut, der bei der Verwendung von Kohlendioxid als Schneidfluid beispielsweise in einem Bereich von 1,5 bis 15 bar über dem Umgebungsdruck liegt. Ein in der Kammer 24a gewünschter Arbeitsdruck kann auch durch eine Einleitung eines Hilfsgases in die Kammer 24a aufgebaut und/oder feinjustiert werden. Auf diese Weise lässt sich ein Anfahrvorgang der Schneidvorrichtung 10 verkürzen oder eliminieren, der ansonsten erforderlich ist, bis der Arbeitsdruck in der Kammer 24a mittels des durch die Düse 18 strömenden Kohlendioxids den gewünschten Wert erreicht hat. Das Hilfsgas kann Kohlendioxid oder ein anderes Gas sein.

[0019] Während eines Betriebs der Strahlschneidvorrichtung 10 wird der Arbeitsdruck in der Kammer 24a mittels einer Druckregeleinrichtung 26 konstant gehalten, die in strömungsleitender Verbindung mit dem Innenraum der Kammer 24a steht und nur so viel Gas abströmen lässt, dass der gewünschte Arbeitsdruck in der Kammer 24a zumindest im Wesentlichen beibehalten wird. Die Druckregeleinrichtung 26 kann dazu mit einer hier nicht dargestellten Mess- und Steuerungseinrichtung verbunden sein.

[0020] In der Kammer 24a befindet sich eine hier ebenfalls nicht dargestellte, geeignete Verfahreinrichtung zum relativen Verändern der Position der Düse 18 zum zu bearbeitenden Werkstück 22. Diese Verfahreinrichtung wird hier nicht näher erläutert, da es sich bei ihr um eine dem Fachmann zu diesem Zweck bekannte Vorrichtung handeln kann.

[0021] In Fig. 2 ist schematisch eine zweite grundsätzliche Ausführungsform einer Strahlschneidvorrichtung 10 wiedergegeben, die sich von der Ausführungsform in Fig. 1 dadurch unterscheidet, dass nicht das gesamte Werkstück 22 von der Kammer 24b umschlossen ist, sondern lediglich die Düse 18 und eine aktuell zu bearbeitende Stelle auf dem Werkstück 22. Mit anderen Worten ist bei der Ausführungsform gemäß Fig. 2 die Kammer 24b zum Werkstück 22 hin offen und wird an ihrer offenen Seite im Betrieb vollständig oder zumindest teilweise durch das zu bearbeitende Werkstück 22 begrenzt. Zur Abdichtung des offenen Endes der Kammer 24b ist die Kammer 24b an ihrem offenen Ende mit einer hier nur angedeuteten Dichtungseinrichtung 28 versehen, die das freie Ende der Kammer 24b entlang ihres Umfangs gegenüber dem in Bearbeitung befindlichen Werkstück 22 abdichtet. Überschüssiger Druck kann wie bei der in Fig. 1 gezeigten Ausführungsform durch die Druckregeleinrichtung 26 abströmen, wobei es je nach Anwendungsfall ausreichen kann, überschüssigen Druck durch eine im Werkstück 22 mittels des Schneid-

strahls 20 erzeugte Schnittfuge (nicht gezeigt) und/oder durch einen schmalen Ringspalt zwischen dem freien Ende der Kammer 24b und der der Kammer 24b zugewandten Oberfläche des zu bearbeitenden Werkstücks 22 abströmen zu lassen. Gegebenenfalls kann dann die Druckregeleinrichtung 26 entfallen. Strömt im Betrieb abhängig vom Anwendungsfall zuviel Gas aus der Kammer 24b ab, kann es erforderlich sein, zur Aufrechterhaltung des gewünschten Arbeitsdrucks in der Kammer 24b letzterer Hilfsgas zuzuführen (nicht dargestellt), beispielsweise aus dem Vorratsbehälter 12.

[0022] Die in der Fig. 2 gezeigte zweite grundsätzliche Ausführungsform der Strahlschneidvorrichtung 10 ist universeller einsetzbar als die Ausführungsform gemäß Fig. 1, weil die Limitierung einer auch das zu bearbeitende Werkstück 22 umschließenden Kammer 24a entfällt. Der Schneidstrahl 20 und das zu bearbeitende Werkstück 22 können einfacher relativ zueinander bewegt und auch verkippt werden. Eine Erzeugung schräger Schnitte oder schräger Bohrungen ist damit einfacher möglich.

[0023] Obwohl in den Fig. 1 und 2 das zu bearbeitende Werkstück 22 plattenförmig dargestellt ist, eignet sich die Strahlschneidvorrichtung 10 selbstverständlich auch zur Bearbeitung nicht-plattenförmiger Werkstücke. Sicherzustellen ist bei einer Ausgestaltung gemäß Fig. 2 lediglich eine ausreichende Abdichtung des offenen Endes der Kammer 24b zum zu bearbeitenden Werkstück. Dies ist mit ausreichend nachgiebigen Dichtlippen oder gelenkig am Ende der Kammer 24b montierter Dichteinrichtungen ohne besondere Schwierigkeiten zu erreichen.

[0024] In Fig. 3 ist ein Fließbild einer Versuchsanlage wiedergegeben, mit der Versuche zur grundsätzlichen Eignung von Kohlendioxid als Schneidfluid unternommen worden sind. Die Strahlschneidvorrichtung 10 der Fig. 3 ist ähnlich der in Fig. 1 gezeigten ersten grundsätzlichen Ausführungsform aufgebaut. Wie bereits zuvor erläutert, wird flüssiges Kohlendioxid aus dem Vorratsbehälter 12 entnommen, wobei der im Vorratsbehälter 12 vorhandene Druck mittels einer Druckmesseinrichtung 30 gemessen werden kann.

[0025] Das dem Vorratsbehälter 12 entnommene Kohlendioxid passiert einen hier wassertemperierten Hochdruckwärmetauscher 16 und wird dabei auf eine gewünschte Temperatur gebracht, die mittels einer dem Wärmetauscher 16 nachgeschalteten Temperaturmesseinrichtung 32 überprüft werden kann. Anschließend wird das Kohlendioxid in dem hier als Membrankompressor ausgeführten Verdichter 14 auf einen gewünschten Vorexpansionsdruck komprimiert, wobei die Temperatur und der Druck des Kohlendioxids nach passieren des Verdichters 14 mittels einer zweiten Temperaturmesseinrichtung 34 und einer zweiten Druckmesseinrichtung 36 überprüft werden können.

[0026] Zur Expansion des als Schneidfluid dienenden Kohlendioxids wird hier eine handelsübliche Wasserstrahlschneiddüse 18 verwendet, die mit ihrer Düsenaustrittsöffnung in die Kammer 24a hineinragt, in der sich das zu bearbeitende Werkstück 22 befindet. Durch eine mit dem Innenraum der Kammer 24a in strömungsleitender Verbindung stehende Druckregeleinrichtung 26, die hier als einfaches Überströmventil ausgebildet ist, wird der sogenannte Nachexpansionsdruck, d.h. der gewünschte Arbeitsdruck in der Kammer 24a, zumindest annähernd konstant gehalten.

[0027] Die Bedingungen innerhalb der Kammer 24a können mittels einer dritten Temperaturmesseinrichtung 38 und einer dritten Druckmesseinrichtung 40 überwacht werden.

[0028] Mit der Strahlschneidvorrichtung 10 gemäß Fig. 3 wurden eine Reihe von Versuchen durchgeführt, von denen einige im Folgenden genauer beschrieben sind.

Versuchsbeispiel 1

[0029] Flüssiges Kohlendioxid wurde mittels des Verdichters 14 auf einen Vorexpansionsdruck von 1800 bar und eine Vorexpansionstemperatur von 25°C gebracht und zur Erzeugung eines Schneidstrahls 20 durch eine Düse 18 mit einem Düsendurchmesser von 0,08 mm entspannt. Mit dem so erzeugten Schneidstrahl 20 wurde ein 10 mm dickes Holzstück bearbeitet. Der Abstand des Werkstücks 22 zur Düse betrug 1 mm, der Arbeitsdruck in der Kammer 24a (Nachexpansionsdruck) betrug 12 bar.

[0030] Nach einigen Sekunden Bearbeitungszeit hatte der Schneidstrahl 20 ein Loch von 2,4 mm Tiefe und 1,4 mm Durchmesser in das Holzstück geschnitten. Die Schnittkante zeichnete sich durch eine scharfe Grenze ohne sichtbare Beschädigung der nicht bearbeiteten Bereiche aus.

Versuchsbeispiel 2

[0031] Flüssiges Kohlendioxid wurde auf einen Vorexpansionsdruck von 1600 bar und eine Vorexpansionstemperatur von 25°C gebracht und zur Erzeugung eines Schneidstrahls 20 durch eine Düse 18 mit einem Düsendurchmesser von 0,1 mm entspannt. Mit dem Schneidstrahl 20 wurde eine 1 mm dicke Aluminiumplatte bearbeitet. Der Abstand des Werkstücks 22 zur Düse 18 betrug 1 mm, der Nachexpansionsdruck betrug 3 bar.

[0032] Nach einigen Sekunden Bearbeitungszeit wurde ein Loch von 0,3 mm Tiefe und 0,8 mm Durchmesser in der als Werkstück 22 dienenden Aluminiumplatte erhalten. Trotz eines unterhalb des Tripelpunktdrucks von CO_2 (5,18 bar) liegenden Nachexpansionsdrucks wurde durch ein Sichtfenster in der Kammer 24a ein flüssiger Anteil im Kohlendioxidschneidstrahl 20 beobachtet. Die erhaltene Schnittkante zeichnete sich durch eine scharfe Grenze ohne sichtbare Beschädigung der nicht bearbeiteten Bereiche aus.

Versuchsbeispiel 3

[0033] Flüssiges Kohlendioxid wurde auf einen Vorexpansionsdruck von 2000 bar und eine Vorexpansions-

temperatur von 30°C gebracht und durch die Düse des Versuchsbeispiels 2 entspannt, um einen Schneidstrahl 20 zu erzeugen. Mit diesem Schneidstrahl wurde eine 1 mm dicke Aluminiumplatte bearbeitet, wobei der Abstand der Aluminiumplatte zur Düse 1 mm betrug und der Nachexpansionsdruck 10 bar betrug. Nach einigen Sekunden Bearbeitungszeit war in die Aluminiumplatte ein Loch von 0,5 mm Tiefe und 0,5 mm Durchmesser geschnitten. Die Schnittkante zeichnete sich durch eine scharfe Grenze ohne sichtbare Beschädigung der nicht bearbeiteten Bereiche aus.

Versuchsbeispiel 4

[0034] Flüssiges Kohlendioxid wurde auf einen Vorexpansionsdruck von 1600 bar und eine Vorexpansionstemperatur von 25°C gebracht und durch die Düse der Versuchsbeispiele 2 und 3 entspannt. Mit dem erzeugten Schneidstrahl wurde eine 1,2 mm dicke Polycarbonatscheibe, eine sogenannte Compact Disc, bearbeitet, wobei der Abstand zur Düse 1 mm betrug und der Nachexpansionsdruck auf 10 bar eingestellt war. Nach einigen Sekunden Bearbeitungszeit wurde ein die Polycarbonatscheibe durchsetzendes Loch mit einem Durchmesser von 0,3 mm erhalten.

Patentansprüche

1. Strahlschneidvorrichtung (10) zum Strahlspanen eines Werkstücks (22) mittels eines Schneidfluids, mit

- einer Zufuhreinrichtung für das Schneidfluid,
- einer Düse (18), durch die im Betrieb der Strahlschneidvorrichtung zugeführtes, unter Druck stehendes Schneidfluid gepresst wird, um einen Schneidstrahl (20) zu erzeugen, **gekennzeichnet durch**
- eine zum Umschließen des Schneidstrahls (20) von seinem Austritt aus der Düse (18) bis zu seinem Auftreffen auf das Werkstück (22) ausgeführte Kammer (24a; 24b), die zum thermodynamischen und/oder strömungsmechanischen Beeinflussen des Schneidstrahls (20) druckdicht ausgebildet ist, und **durch**
- eine Druckregeleinrichtung (26), die mit der Kammer (24a; 24b) in strömungsleitender Verbindung steht.

2. Strahlschneidvorrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Kammer (24a) auch das Werkstück (22) umschließt.

3. Strahlschneidvorrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Kammer (24b) zum Werkstück (22) offen ist und im Betrieb teilweise oder vollständig durch das Werkstück (22) begrenzt ist.

4. Strahlschneidvorrichtung nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Kammer (24a; 24b) aus elastischem Material besteht.

5. Strahlschneidvorrichtung nach Anspruch 3 oder 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein zum Werkstück (22) offenes Ende der Kammer (24b) eine Dichtungseinrichtung (28) aufweist, die die Kammer (24b) entlang ihres Umfangs zwischen dem offenen Ende und einem in Bearbeitung befindlichen Werkstück (22) abdichtet.

6. Strahlschneidvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Druckregeleinrichtung (26) mit der Kammer (24a; 24b) in strömungsleitender Verbindung steht.

7. Strahlschneidvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Kammer (24a; 24b) mit einer Zuführung für unter Druck stehendes Gas versehen ist.

8. Strahlschneidvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Innenseite der Kammer (24a; 24b) im strahlnahen Bereich angeordnet und zur Strömungsbeeinflussung des Schneidstrahls (20) ausgebildet ist und/oder die Kammer (24a; 24b) strömungsbeeinflussende Einbauten enthält.

9. Strahlschneidvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Kammer (24a; 24b) kühl- und/oder beheizbar ausgebildet ist.

10. Strahlschneidvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Schneidfluid eine Flüssigkeit oder ein Gas in unterkritischem oder überkritischem Zustand umfasst.

11. Strahlschneidvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Schneidstrahl (20) CO_2 in zumindest teilweise flüssiger oder zumindest teilweise fester Form enthält.

12. Strahlschneidvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Wärmetauscher (16) zur Einstellung einer gewünschten Temperatur des Schneidfluids vor seinem Austritt aus der Düse (18) vorhanden ist.

Claims

1. Jet cutting device (10) for the jet machining of a work-

piece (22) by means of a cutting fluid, comprising

- a feed mechanism for the cutting fluid,
- a nozzle (18) through which pressurized cutting fluid supplied during operation of the jet cutting device is pressed in order to generate a cutting jet (20),

characterized by

- a chamber (24a; 24b) for the enclosure of the cutting jet (20)extending from the discharge of the cutting jet (20) from the nozzle (18) up to its impingement upon the workpiece (22) which, for the thermodynamic and/or fluidic influencing of the cutting jet (20) is designed to be pressure-tight,

and by

- a pressure regulating device (26), which is fluidically connected to the chamber (24a; 24b).

2. Jet cutting device according to Claim 1, **characterized in that** the chamber (24a) also encloses the workpiece (22).

3. Jet cutting device according to Claim 1, **characterized in that** the chamber (24b) is open towards the workpiece (22) and, during operation, is partially or fully bounded by the workpiece (22).

4. Jet cutting device according to Claim 3, **characterized in that** the chamber (24a; 24b) consists of elastic material.

5. Jet cutting device according to Claim 3 or 4, **characterized in that** an end of the chamber (24b), which end is open towards the workpiece (22), has a sealing device (28), which seals off the chamber (24b) along its periphery between the open end and a workpiece (22) currently being machined.

6. Jet cutting device according to one of the preceding claims, **characterized in that** a pressure regulating device (26) is fluidically connected to the chamber (24a; 24b).

7. Jet cutting device according to one of the preceding claims, **characterized in that** the chamber (24a; 24b) is provided with a supply for pressurized gas.

8. Jet cutting device according to one of the preceding claims, **characterized in that** an inner side of the chamber (24a; 24b) is disposed in the proximity of the jet and is designed to influence the flow of the cutting jet (20), and/or the chamber (24a; 24b) contains flow-influencing fittings.

9. Jet cutting device according to one of the preceding claims, **characterized in that** the chamber (24a; 24b) is designed to be coolable and/or heatable.

10. Jet cutting device according to one of the preceding claims, **characterized in that** the cutting fluid comprises a liquid or a gas in subcritical or supercritical state.

11. Jet cutting device according to one of the preceding claims, **characterized in that** the cutting jet (20) contains CO_2 in at least partially liquid or at least partially solid form.

12. Jet cutting device according to one of the preceding claims, **characterized in that** a heat exchanger (16) for setting a desired temperature of the cutting fluid prior to its discharge from the nozzle (18) is present.

Revendications

1. Dispositif de découpage au jet (10) pour l'usinage au jet d'une pièce (22) au moyen d'un fluide de coupe, avec

- un dispositif d'alimentation pour le fluide de coupe,
- une buse (18), par laquelle un fluide de coupe se trouvant sous pression fourni pendant le fonctionnement du dispositif de découpage au jet est pressé, afin de produire un jet de découpage (20),

caractérisé par

- une chambre (24a; 24b) réalisée de façon à entourer le jet de découpage (20) depuis sa sortie hors de la buse (18) jusqu'à son impact sur la pièce (22), qui est étanche à la pression afin d'influencer le jet de découpage (20) au point de vue thermodynamique et/ou fluidique, et par
- un dispositif de régulation de pression (26), qui est en communication d'écoulement avec la chambre (24a; 24b).

2. Dispositif de découpage au jet selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** la chambre (24a) entoure aussi la pièce (22).

3. Dispositif de découpage au jet selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** la chambre (24b) est ouverte vers la pièce (22) et est, en fonctionnement, partiellement ou totalement limitée par la pièce (22).

4. Dispositif de découpage au jet selon la revendication 3, **caractérisé en ce que** la chambre (24a; 24b) se compose de matériau élastique.

5. Dispositif de découpage au jet selon la revendication 3 ou 4, **caractérisé en ce qu'**une extrémité de la chambre (24b) ouverte vers la pièce (22) présente un dispositif d'étanchéité (28), qui assure l'étanchéité de la chambre (24b) le long de son pourtour entre l'extrémité ouverte et une pièce (22) se trouvant en cours d'usinage.

6. Dispositif de découpage au jet selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'**un dispositif de régulation de pression (26) est en communication d'écoulement avec la chambre (24a; 24b).

7. Dispositif de découpage au jet selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la chambre (24a; 24b) est munie d'une arrivée pour un gaz se trouvant sous pression.

8. Dispositif de découpage au jet selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'**une face intérieure de la chambre (24a; 24b) est disposée dans la région proche du jet et est configurée de façon à influencer l'écoulement du jet de découpage (20) et/ou la chambre (24a; 24b) contient des obstacles influençant l'écoulement.

9. Dispositif de découpage au jet selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la chambre (24a; 24b) est apte à être refroidie et/ou chauffée.

10. Dispositif de découpage au jet selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le fluide de coupe comprend un liquide ou un gaz à l'état hypocritique ou supercritique.

11. Dispositif de découpage au jet selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le jet de coupe (20) contient du CO_2 sous forme au moins partiellement liquide ou au moins partiellement solide.

12. Dispositif de découpage au jet selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'**il se trouve un échangeur de chaleur (16) pour le réglage d'une température désirée du fluide de coupe avant sa sortie hors de la buse (18).

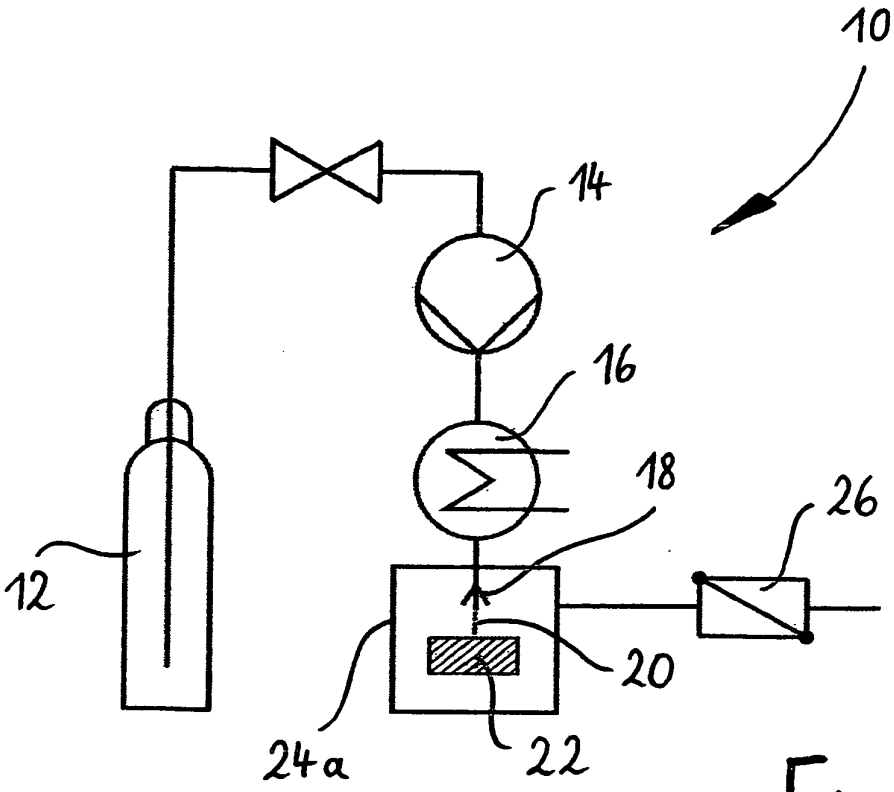


Fig. 1

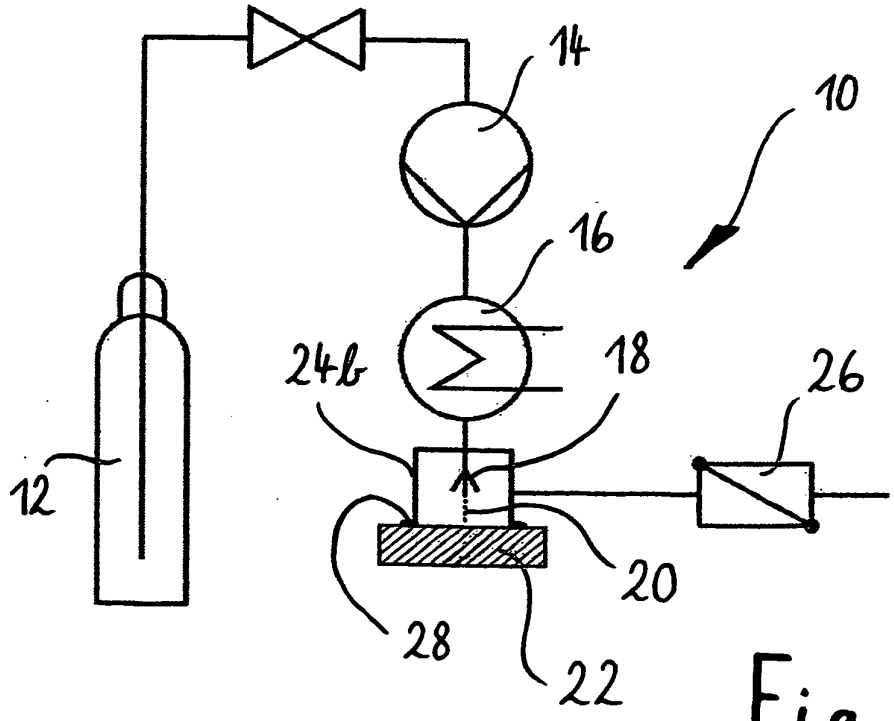


Fig. 2

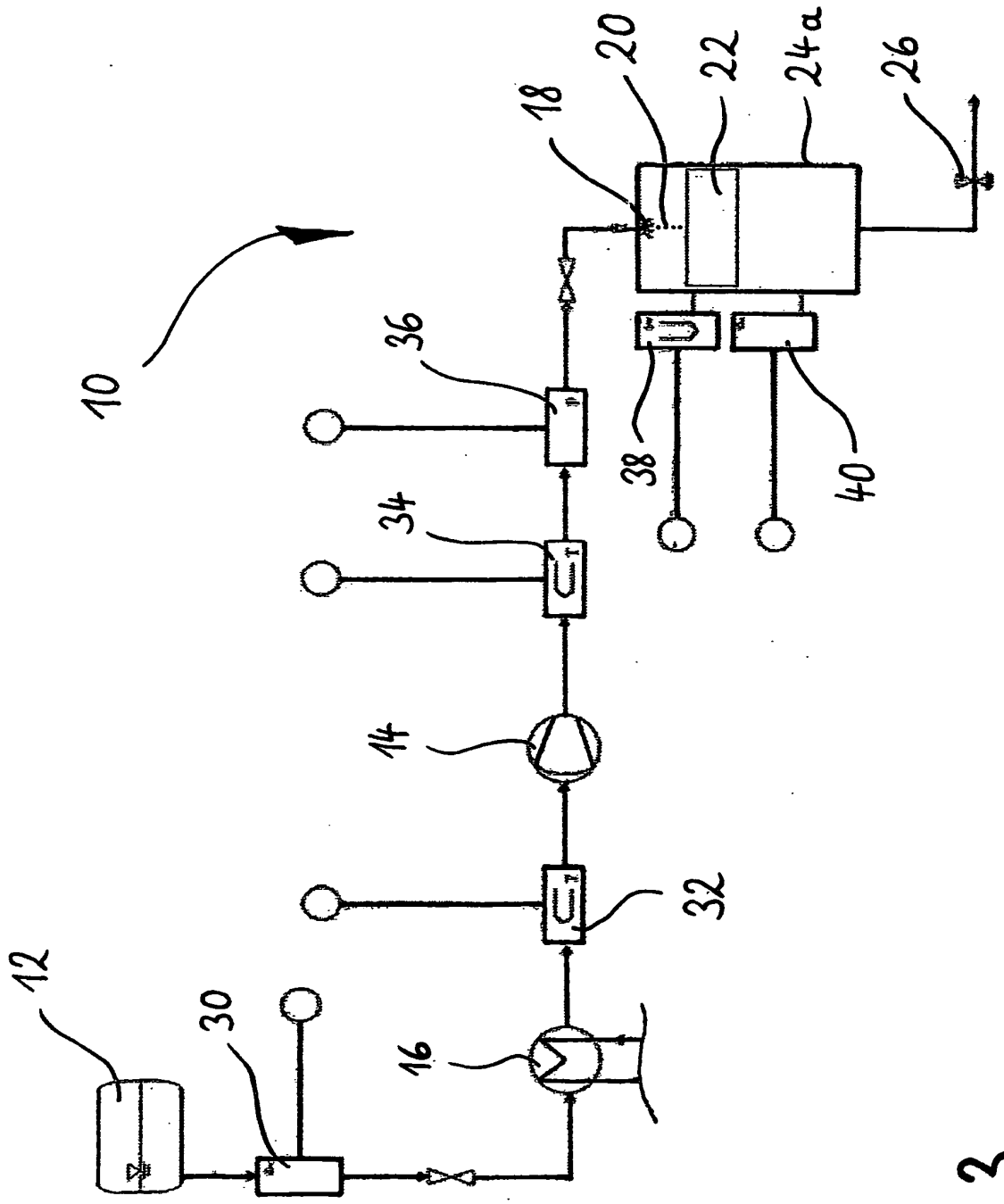


Fig. 3

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- US 5782253 A **[0004]**