

(19)



(11)

EP 3 233 397 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
29.08.2018 Patentblatt 2018/35

(51) Int Cl.:
B26F 3/00 ^(2006.01) **B24C 1/04** ^(2006.01)
B24C 5/02 ^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **15787556.8**

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/EP2015/074889

(22) Anmeldetag: **27.10.2015**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2016/096215 (23.06.2016 Gazette 2016/25)

(54) VERFAHREN ZUM FLÜSSIGKEITSSTRAHLSCHNEIDEN

METHOD FOR CUTTING WITH A FLUID JET

METHODE POUR LA DECOUPE AVEC UN JET DE FLUIDE

(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: **15.12.2014 DE 102014225904**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
25.10.2017 Patentblatt 2017/43

(73) Patentinhaber: **Robert Bosch GmbH**
70442 Stuttgart (DE)

(72) Erfinder:
• **NAGEL, Jens-Peter**
71672 Marbach (DE)
• **BICKELHAUPT, Malte**
70180 Stuttgart (DE)
• **IBEN, Uwe**
75365 Calw-Heumaden (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
WO-A1-92/13679 DE-A1-102012 224 397
DE-A1-102013 201 797 US-A- 5 020 724
US-A- 5 134 347 US-A- 5 927 329
US-A1- 2012 007 009

EP 3 233 397 B1

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).

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Flüssigkeitsstrahlschneiden, wie es vorzugsweise zum Zerteilen von festen Werkstoffen angewandt wird.

Stand der Technik

[0002] Aus dem Stand der Technik sind Verfahren zum Flüssigkeitsstrahlschneiden von festen Werkstoffen seit längerer Zeit bekannt. Hierbei wird vorzugsweise Wasser mit einer Verdichtereinheit auf einen sehr hohen Druck verdichtet, der üblicherweise einige tausend bar beträgt. Die Flüssigkeit strömt anschließend durch eine Düse, tritt durch eine Austrittsöffnung aus und bildet dadurch einen Flüssigkeitsstrahl, der auf den zu zerteilenden Werkstoff gerichtet wird. Auf Grund der hohen Geschwindigkeit und des hohen Impulses des Wassers zerkümmert der Wasserstrahl den Werkstoff im Bereich des Flüssigkeitsstrahls und zerteilt ihn dadurch. Mit diesem Verfahren lassen sich feste Werkstoffe bearbeiten, beispielsweise Metall, Glas, Kunststoff, Holz und ähnliche Werkstoffe. Da die Verdichtung des Wassers viel Energie benötigt und der Flüssigkeitsstrahl bzw. der Wasserstrahl im Dauerstrich betrieben wird, ist diese Werkstoffbearbeitung nur mit einer hohen Leistung möglich, die bei den üblichen bekannten Anlagen einige zehn Kilowatt betragen kann. Entsprechend hoch sind die Betriebskosten einer solchen Anlage.

[0003] Um die Wirkung des Wasserstrahls zu verbessern ist es ebenfalls bekannt, Abrasivstoffe dem Wasserstrahl zuzumischen, die vom Wasser mitgerissen werden und mit hoher Energie auf die Werkstückoberfläche auftreffen und so die Wirkung des Wasserstrahls verbessern. Durch die Zumischung der Abrasivstoffe werden allerdings die Kosten weiter erhöht und das verbrauchte Wasser lässt sich nicht mehr ohne Weiteres in den Kreislauf zurückführen, da die Abrasivstoffe erst in einem aufwendigen Verfahren herausgefiltert werden müssten.

[0004] Aus der gattungsgebenden DE 10 2013 201 797 A1 ist eine Vorrichtung zum Flüssigkeitsstrahlschneiden bekannt, die zum Zerteilen des Werkstoffs keinen kontinuierlichen Wasserstrahl verwendet, sondern einen gepulsten Wasserstrahl, bei dem der Flüssigkeitsstrahl in regelmäßigen Abständen unterbrochen wird. Der gepulste Flüssigkeitsstrahl hat insbesondere den Vorteil, dass die Schneideinrichtung mit einem relativ geringen Druck auskommt und vor allem deutlich energieeffizienter ist als die bekannten Dauerstrahlschneidverfahren. Für eine optimale Wirkung des Flüssigkeitsstrahlschneidens sind die Betriebsparameter jedoch von entscheidender Bedeutung.

Vorteile der Erfindung

[0005] Das erfindungsgemäße Verfahren zum Flüssigkeitsstrahlschneiden weist demgegenüber den Vorteil

auf, dass ein effizientes und energiesparendes Schneidverfahren gewährleistet ist, was zusätzlich zu einer verbesserten Schnittkante führt, sodass besonders glatte Schnittkanten erreichbar sind. Dazu weist das Verfahren zum Flüssigkeitsstrahlschneiden eine Verdichtereinheit auf, die eine Flüssigkeit zur Erzeugung eines Flüssigkeitsstrahls verdichtet und eine Düse, die mit der Verdichtereinheit verbunden ist. Die Düse weist eine Austrittsöffnung auf, durch die die verdichtete Flüssigkeit in Form eines Flüssigkeitsstrahls austritt, und mit einer Unterbrechereinheit, die eine Strömung der verdichteten Flüssigkeit zu der Austrittsöffnung unterbrechen oder freigeben kann. Dabei werden folgende Verfahrensschritte durchgeführt: Die Flüssigkeit wird durch die Verdichtereinheit verdichtet, die Austrittsöffnung wird an das zu bearbeitende Werkstück bis auf eine Bearbeitungsdistanz herangeführt, der Flüssigkeitsstrahl wird durch die Unterbrechereinheit abwechselnd freigegeben und unterbrochen, wobei gleichzeitig die Düse gegenüber dem Werkstück in einer Bearbeitungsrichtung bewegt wird. Hierbei beträgt der Bearbeitungswinkel zwischen der Werkstückoberfläche und dem Flüssigkeitsstrahl 60° bis 80°.

[0006] Durch den kleineren Bearbeitungswinkel im Gegensatz zu dem bekannten rechten Winkel lässt sich die Wirkung der Bearbeitung vor allem bei relativ harten Werkstücken verbessern. Trifft der Flüssigkeitsstrahl in einem kleineren Bearbeitungswinkel auf die Werkstückoberfläche, so bildet sich am Schnittende eine Kante mit einem spitzen Bearbeitungswinkel im Werkstück, an dem der Flüssigkeitsstrahl angreifen kann und so den Werkstoff, insbesondere harte Werkstoffe, besser zerkümmern kann. Dabei ist es von Vorteil, einen umso kleineren Bearbeitungswinkel zu verwenden, je härter der zu bearbeitende Werkstoff ist.

[0007] In einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung beträgt die Pulsdauer 100 bis 1000 µs, wobei der Flüssigkeitsstrahl durch die Unterbrechereinheit periodisch zur Erzeugung von Flüssigkeitspulsen in vorteilhafter Weise geöffnet und geschlossen wird. Werden die Flüssigkeitspulse periodisch erzeugt, kann mit einer gleichmäßigen Geschwindigkeit das Werkstück in Bearbeitungsrichtung bewegt werden, sodass eine Schnittlinie im Werkstück entsteht.

[0008] In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung werden zwischen 25 und 500 Flüssigkeitspulse pro Sekunde erzeugt, die Flüssigkeitspulse also mit einer Frequenz von 25 bis 500 Hz auf das Werkstück gespritzt. Die Frequenz der Flüssigkeitspulse richtet sich nach der Bearbeitungsgeschwindigkeit, also der Geschwindigkeit, mit der sich die Düse relativ zum Werkstück bewegt und nach der Dicke und den Materialeigenschaften des Werkstücks.

[0009] In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung ist der Abstand der Düsenöffnung zur Werkstückoberfläche während der Bearbeitung 0,5 bis 2 mm, vorzugsweise 1 bis 2 mm. Durch diesen Abstand wird eine effiziente Bearbeitung des Werkstücks sichergestellt, ohne dass das

zurückspritzende Wasser zu einer Beschädigung der Düse führen könnte.

[0010] In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung wird die Düse relativ zum Werkstück mit einer Geschwindigkeit von 10 bis 1200 mm/min bewegt, wobei die Vorschubgeschwindigkeit von der Dicke des Werkstücks und den Materialeigenschaften des Werkstücks abhängt.

[0011] In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung weist die Düse einen Düsenkörper mit einer Längsbohrung auf, wobei die Längsbohrung einen Druckraum bildet, in den die verdichtete Flüssigkeit zugeführt wird. Die Unterbrechereinheit wird durch eine innerhalb des Druckraums längsbeweglich angeordnete Düsennadel gebildet, die durch ihre Längsbewegung die Austrittsöffnung öffnet und schließt. Durch diese beispielsweise aus der Kraftstoffhochdruckeinspritzung bekannte Düse lassen sich präzise Flüssigkeitspulse in der gewünschten Dauer und mit der gewünschten Frequenz erzeugen.

[0012] Weitere Vorteile und vorteilhafte Ausgestaltungen sind der Beschreibung, der Zeichnung und den Ansprüchen entnehmbar.

Zeichnung

[0013] In der Zeichnung ist zur Illustration des erfindungsgemäßen Verfahren Folgendes dargestellt:

In Figur 1 eine schematische Darstellung einer Vorrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Flüssigkeitsstrahl-Schneidverfahrens, in

Figur 2 eine ebenfalls schematische Darstellung der Düse zum Flüssigkeitsstrahlschneiden und die

Figur 3 zeigt einen vergrößerten, schematischen Querschnitt durch das Werkstück im Bereich, in dem der Flüssigkeitsstrahl das Werkstück zerteilt, und

Figur 4 eine schematische Darstellung des zeitlichen Verlaufs der abgegebenen Flüssigkeitsmenge der Vorrichtung.

Beschreibung der Ausführungsbeispiele

[0014] In Figur 1 ist eine Vorrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Flüssigkeitsstrahlschneidverfahrens dargestellt. In einem Tank 1 wird die Flüssigkeit vorgehalten, die zum Flüssigkeitsstrahlschneiden Verwendung findet, beispielsweise gereinigtes Wasser, jedoch sind auch andere Flüssigkeiten möglich. Die Flüssigkeit wird aus dem Flüssigkeitstank 1 über eine Leitung 2 einer Verdichtereinheit 3 zugeführt, beispielsweise einer Hochdruckpumpe, wo die Flüssigkeit verdichtet wird und über eine Hochdruckleitung 4 in einen Hochdrucksammelraum 5 eingespeist wird, wo die verdichtete Flüssigkeit vorgehalten wird. Der Hochdrucksammelraum 5 dient dazu, Druckschwankungen auszugleichen, um so

das Flüssigkeitsstrahlschneiden mit einem konstant hohen Druck durchführen zu können, ohne dass die Verdichtereinheit 3 in kurzen Zeitabständen nachgeregelt werden muss. Vom Hochdrucksammelraum 5 führt eine Druckleitung 7 zu einer Düse 10, wobei die Düse 10 eine Unterbrechereinheit 8, hier in Form eines 2/2-Wegeventils, und eine Austrittsöffnung 11 aufweist in Form eines verengten Durchgangs für die Flüssigkeit, sodass aus der Austrittsöffnung 11 ein Flüssigkeitsstrahl 14 austritt, der scharf gebündelt ist und während des Betriebs auf ein Werkstück 15 trifft.

[0015] Das erfindungsgemäße Verfahren wird folgendermaßen durchgeführt: In der Düse 10 liegt über die Druckleitung 7 hochverdichtete Flüssigkeit an, wobei die Unterbrechereinheit 8 zu Beginn geschlossen ist. Zur Erzeugung eines gepulsten Flüssigkeitsstrahls 14 wird die Unterbrechereinheit 8 nun in regelmäßigen Abständen geschlossen und geöffnet, sodass durch die Austrittsöffnung 11 ein gepulster Flüssigkeitsstrahl 14 austritt, der auf die Oberfläche des Werkstücks 15 trifft. Beim Auftreffen der Flüssigkeit auf dem Werkstück 15 werden die betroffenen Bereiche zertrümmert und die Bruchstücke über die abfließende Flüssigkeit weggespült. Dadurch wird das Werkstück zerteilt, wobei die Schnittlinie durch eine Bewegung des Werkstücks 15 in einer Bearbeitungsrichtung erzeugt wird, wobei auch vorgesehen sein kann, dass nicht das Werkstück 15, sondern die Düse 10 durch eine geeignete Vorrichtung relativ zum Werkstück 15 bewegt wird.

[0016] Figur 2 zeigt dazu eine schematische Darstellung einer erfindungsgemäßen Düse 10 mit dem zugehörigen Werkstück 15. Die hier gezeigte Düse 10 weist einen Düsenkörper 12 auf, in dem eine Bohrung 13 ausgebildet ist, in dem eine Düsennadel 18 längsverschiebbar angeordnet ist. Zwischen der Wand der Bohrung 13 und der Düsennadel 18 ist ein Druckraum 17 ausgebildet, in den die hochverdichtete Flüssigkeit über die Druckleitung 7 zugeführt wird. Die Düsennadel 18 wirkt mit einem Düsensitz 20 zusammen, sodass bei Anlage der Düsennadel 18 auf dem Düsensitz 20 der Druckraum 17 von der Einspritzöffnung 11 getrennt ist, die als Bohrung im Düsenkörper 10 ausgebildet ist. Hebt die Düsennadel 18 vom Düsensitz 20 ab, so fließt Flüssigkeit aus dem Druckraum 17 durch die Austrittsöffnung 11 und bildet einen Flüssigkeitsstrahl 14, der auf das Werkstück 15 trifft.

[0017] Zum Zerschneiden des Werkstücks wird die Düsennadel 18 periodisch auf und ab bewegt und gibt so den Flüssigkeitsstrahl 14 frei oder unterbricht die Flüssigkeitszufuhr zwischen zwei Einspritzungen. Das Werkstück 15 wird in Bearbeitungsrichtung 22 bewegt, wobei es unerheblich ist, ob das Werkstück oder die Düse bewegt wird oder auch beide gleichzeitig.

[0018] Die Düsenkörper 10 und damit der Flüssigkeitsstrahl 14 sind in einem Bearbeitungswinkel α zur Werkstückoberfläche 115 des Werkstücks 15 geneigt, wobei der Bearbeitungswinkel α weniger als 90° beträgt. Der Bearbeitungswinkel α ist dabei zwischen dem Flüssig-

keitsstrahl 14 und der Werkstückoberfläche 115 in Bearbeitungsrichtung 22 definiert. Trifft der Flüssigkeitsstrahl 14 auf die Werkstückoberfläche 115, so zertrümmert der Flüssigkeitsstrahl 14 das Material des Werkstücks 15 in diesem Bereich. Durch die Schrägstellung des Flüssigkeitsstrahls 14 ergibt sich eine Kante 19 am Ende des Schnitts, die einen stumpfen Winkel zwischen der Werkstückoberfläche 115 und dem Schnitt durch den Flüssigkeitsstrahl 14 einschließt, der sich im Idealfall mit dem Bearbeitungswinkel α zu 180° ergänzt, wie dies in Fig. 3 vergrößert in einem Längsschnitt durch das Werkstück 15 dargestellt ist. Der Flüssigkeitsstrahl 14 kann durch den spitzen Winkel an der Kante 19 insbesondere bei sehr harten Materialien durch den Flüssigkeitsstrahl 14 leichter zertrümmert und damit leichter und in höherer Qualität zerschnitten werden.

[0019] Je härter ein Werkstoff ist, desto bessere Ergebnisse werden mit kleineren Bearbeitungswinkeln α erzielt. Bei weichen Werkstoffen kann die Bearbeitung auch mit einem größeren Bearbeitungswinkel durchgeführt werden, so dass der optimale Bearbeitungswinkel je nach Härte des Werkstücks optimiert werden kann.

[0020] In Figur 4 ist der zeitliche Verlauf des Flüssigkeitsstrahls schematisch dargestellt, wobei auf der Ordinate die ausgetretene Flüssigkeitsmenge pro Zeiteinheit Q abgetragen ist und auf der Abszisse die Zeit t . Durch das Öffnen und Schließen der Unterbrechereinheit 8 wird aus der Düse 10 periodisch ein Flüssigkeitsstrahl 14 ausgestoßen, wobei die einzelnen Pulse einer Zeit t_p aufweisen und einen zeitlichen Abstand zueinander von t_a . Die Pulse können, wie hier dargestellt, periodisch aufeinander folgen und alle gleich ausgebildet sein oder es können auch verschiedene Pulse erzeugt werden, die regelmäßig oder in variablen zeitlichen Abständen aufeinander folgen.

[0021] Die Dauer der Flüssigkeitspulse t_p beträgt weniger als $1000 \mu s$, vorzugsweise 100 bis $1000 \mu s$, um je nach Werkstoff eine optimale Schnittkante zu erreichen. Besonders gut eignet sich das gepulste Flüssigkeitsstrahlschneiden zum Zerteilen von Glasfaser- oder Kohlefaserplatten (CFK) oder von Metallblechen, beispielsweise Aluminium. Gerade bei der Bearbeitung von CFK-Werkstoffen bietet das gepulste Flüssigkeitsstrahlschneiden einen Vorteil gegenüber dem Dauerstrahl-Flüssigkeitsstrahlschneiden mit deutlich glatteren Schnittkante, d. h. das Ausfransen der Kohlefasern am Rand der Schnittkante wird weitgehend verhindert. Gleichzeitig kann der Energieeinsatz beim Zerteilen einer CFK-Platte bis zu einem Faktor 20 gesenkt werden. Darüber hinaus kommt das gepulste Wasserstrahlschneiden mit einem geringeren Druck aus. Die Flüssigkeit wird innerhalb der Düse 12 mit einem Druck von beispielsweise 2500 bar vorgehalten, was gegenüber den sonst bekannten Dauerstrich-Flüssigkeitsstrahlschneidverfahren, die üblicherweise bei bis zu 6000 bar arbeiten, deutlich reduziert ist mit entsprechend geringerem Energieaufwand.

[0022] Die Bearbeitungsdistanz der Düse 10 zum

Werkstück 15, in Figur 1 und Figur 2 mit d bezeichnet, beträgt vorzugsweise $0,5$ bis 2 mm, bevorzugt 1 bis 2 mm. Bei dieser Bearbeitungsdistanz d erreicht man eine optimale Wirkung, ohne dass durch zurückspritzende Flüssigkeit mit einer Beschädigung der Düse gerechnet werden muss.

[0023] Das gepulste Flüssigkeitsstrahlschneiden eignet sich bei CFK-Werkstoffen insbesondere für Platten mit einer Dicke a bis zu 2 mm, wobei der Durchmesser des Flüssigkeitsstrahls ca. $150 \mu m$ beträgt. Die verwendeten Drücke betragen etwa 2500 bar, wobei auch mit geringerem Flüssigkeitsdruck gearbeitet werden kann. Optimale Bearbeitungswinkel α betragen 60° bis 80° , Taktraten bei einer Pulsfrequenz von mehr als 40 Hz und einer Pulsdauer von $1000 \mu s$ oder weniger, wobei die Taktrate auf die Vorschubgeschwindigkeit der Bearbeitung abgestimmt werden muss, d. h. die Taktrate muss umso höher sein, je schneller die Vorschubgeschwindigkeit ist.

[0024] Der Flüssigkeitsstrahl wird zur Erzielung der Flüssigkeitspulse periodisch mittels der Unterbrechereinheit unterbrochen. Im Kontext dieser Erfindung bezeichnet der Begriff "unterbrechen" jedoch nicht notwendigerweise ein völliges Verschließen der Austrittsöffnung an der Düse. Es kann auch vorgesehen sein, dass die Unterbrechereinheit den Flüssigkeitsstrahl nur sehr stark drosselt, jedoch zwischen den Flüssigkeitspulsen noch etwas Flüssigkeit mit geringem Druck austritt. Die beschriebenen Effekte werden auch dann erreicht, vorausgesetzt, dass die Drosselung ausreichend stark ist. Dabei ist eine Drosselung auf 80 bis 90% der Flüssigkeitsmenge pro Zeiteinheit Q ausreichend, die ungedrosselt aus der Düse 10 austritt.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Flüssigkeitsstrahlschneiden mit einer Verdichtereinheit (3), die eine Flüssigkeit zur Erzeugung eines Flüssigkeitsstrahls verdichtet, und mit einer Düse (10), die mit der Verdichtereinheit (3) verbunden ist und die eine Austrittsöffnung (11) aufweist, durch die die verdichtete Flüssigkeit in Form eines Flüssigkeitsstrahls (14) austritt, und mit einer Unterbrechereinheit (8), die eine Strömung der verdichteten Flüssigkeit zu der Austrittsöffnung (11) unterbrechen oder freigeben kann, wobei das Verfahren die folgenden Schritte beinhaltet:

- Verdichten der Flüssigkeit durch die Verdichtereinheit (3),
- Annähern der Austrittsöffnung (11) an ein zu bearbeitendes Werkstück (15) bis auf eine Bearbeitungsdistanz (d), und ist **gekennzeichnet durch** die folgenden, weiteren Verfahrensschritte:

- Abwechselnd freigeben und unterbrechen

- des Flüssigkeitsstrahls (14) aus der Austrittsöffnung (11) durch die Unterbrechereinheit (8), wobei gleichzeitig die Düse relativ zum Werkstück in einer Bearbeitungsrichtung (22) bewegt wird, 5
- wobei ein Bearbeitungswinkel (α) zwischen der Werkstückoberfläche (115) und dem Flüssigkeitsstrahl (14) in der durch die Bearbeitungsrichtung (22) und den Flüssigkeitsstrahl (14) definierten Ebene zwischen 60° und 80° beträgt. 10
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Bearbeitungswinkel (α) in Abhängigkeit von der Härte des Werkstücks (15) variiert wird. 15
 3. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Bearbeitungswinkel (α) bei einem härteren Werkstück (15) kleiner und bei einem weicherem Werkstück (15) größer gewählt wird. 20
 4. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Pulsdauer (t_p) des Flüssigkeitsstrahls (14) 100 bis 1000 μ s beträgt. 25
 5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Flüssigkeitsstrahl (14) durch die Unterbrechereinheit (8) periodisch zur Erzeugung von Flüssigkeitspulsen geöffnet und geschlossen wird. 30
 6. Verfahren nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Unterbrechereinheit (8) in der Düse (10) angeordnet ist. 35
 7. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 oder 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** zwischen 25 und 500 Flüssigkeitspulse pro Sekunde erzeugt werden. 40
 8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Bearbeitungs-
distanz (d) der Austrittsöffnung (11) zur Werkstück-
oberfläche während der Bearbeitung 0,5 bis 2 mm
beträgt, vorzugsweise 1,0 bis 2,0 mm. 45
 9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Düse (10) wäh-
rend der Bearbeitung relativ zur Werkstückoberflä-
che mit einer Vorschubgeschwindigkeit von 10 bis
1200 mm pro Minute bewegt wird. 50
 10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, **da-
durch gekennzeichnet, dass** die Düse (10) einen
Düsenkörper (12) mit einer Bohrung (13) aufweist
und die Bohrung (13) einen Druckraum (17) bildet,
in den die verdichtete Flüssigkeit zugeführt wird, wo-
bei die Unterbrechereinheit (8) durch eine innerhalb 55

des Druckraums (17) längsbeweglich angeordnete
Düsennadel (18) gebildet wird, die durch ihre Längs-
bewegung die Austrittsöffnung (11) öffnet und
schließt.

Claims

1. Liquid jet cutting method having a compressor unit (3) which compresses a liquid for producing a liquid jet, and having a nozzle (10) which is connected to the compressor unit (3) and has an outlet opening (11), through which the compressed liquid exits in the form of a liquid jet (14), and having an interrupter unit (8) which can interrupt or release a flow of the compressed liquid to the outlet opening (11), wherein the method contains the following steps:

- compressing of the liquid by way of the compressor unit (3),
- moving up of the outlet opening (11) to a workpiece (15) to be machined as far as a machining distance (d),

and is **characterized by** the following, further method steps:

- releasing and interrupting of the liquid jet (14) out of the outlet opening (11) in an alternating manner by way of the interrupter unit (8), the nozzle at the same time being moved relative to the workpiece in a machining direction (22),
- a machining angle (α) between the workpiece surface (115) and the liquid jet (14) in the plane defined by the machining direction (22) and the liquid jet (14) being between 60° and 80°.

2. Method according to Claim 1, **characterized in that** the machining angle (α) is varied in a manner which is dependent on the hardness of the workpiece (15).
3. Method according to Claim 2, **characterized in that** the machining angle (α) is selected to be smaller in the case of a harder workpiece (15) and to be larger in the case of a softer workpiece (15).
4. Method according to Claim 1, **characterized in that** the pulse duration (t_p) of the liquid jet (14) is from 100 to 1000 μ s.
5. Method according to one of Claims 1 to 4, **characterized in that** the liquid jet (14) is opened and closed periodically by way of the interrupter unit (8) in order to produce liquid pulses.
6. Method according to Claim 5, **characterized in that** the interrupter unit (8) is arranged in the nozzle (10).

7. Method according to either of Claims 5 and 6, **characterized in that** between 25 and 500 liquid pulses per second are produced.
8. Method according to one of Claims 1 to 7, **characterized in that** the machining distance (d) of the outlet opening (11) from the workpiece surface during the machining is from 0.5 to 2 mm, preferably from 1.0 to 2.0 mm.
9. Method according to one of Claims 1 to 8, **characterized in that** the nozzle (10) is moved during the machining relative to the workpiece surface at an advancing speed of from 10 to 1200 mm per minute.
10. Method according to one of Claims 1 to 9, **characterized in that** the nozzle (10) has a nozzle body (12) with a bore (13), and the bore (13) forms a pressure space (17), into which the compressed liquid is fed, the interrupter unit (8) being formed by way of a nozzle needle (18) which is arranged longitudinally displaceably within the pressure space (17) and opens and closes the outlet opening (11) by way of its longitudinal movement.

Revendications

1. Procédé de découpe par jet de liquide à l'aide d'une unité de compresseur (3) qui comprime un liquide en vue de former un jet de liquide, d'une tuyère (10) raccordée à l'unité de compresseur (3) et présentant une ouverture de sortie (11) par laquelle le liquide comprimé sort sous la forme d'un jet de liquide (14) et d'une unité d'interruption (8) qui peut interrompre ou libérer l'écoulement de liquide comprimé vers l'ouverture de sortie (11), le procédé comprenant les étapes suivantes :

compression du liquide par l'unité de compresseur (3),
avancement de l'ouverture de sortie (11) jusqu'à une distance de traitement (d) d'une pièce (15) à traiter

et étant **caractérisé par** les autres caractéristiques de traitement suivantes :

libérations et interruptions alternées du jet de liquide (14) sortant de l'ouverture de sortie (11) par l'unité d'interruption (8), la tuyère (10) étant déplacée dans une direction de traitement (22) par rapport à la pièce,
l'angle de traitement (α) entre la surface (115) de la pièce et le jet de liquide (14) dans le plan défini par la direction de traitement (22) et le jet de liquide (14) étant compris entre 60° et 80°.

2. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** l'angle de traitement (α) est modifié en fonction de la dureté de la pièce (15).

3. Procédé selon la revendication 2, **caractérisé en ce que** l'angle de traitement (α) est diminué lorsque la pièce (15) est plus dure et augmenté lorsque la pièce (15) est moins dure.

4. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** la durée (t_p) des pulsations du jet de liquide (14) est comprise entre 100 et 1000 μ s.

5. Procédé selon l'une des revendications 1 à 4, **caractérisé en ce que** le jet de liquide (14) est ouvert et fermé périodiquement par l'unité d'interruption (8) pour former des pulsations de liquide.

6. Procédé selon la revendication 5, **caractérisé en ce que** l'unité d'interruption (8) est située dans la tuyère (10).

7. Procédé selon l'une des revendications 5 ou 6, **caractérisé en ce qu'**entre 25 et 500 pulsations de liquide sont formées par seconde.

8. Procédé selon l'une des revendications 1 à 7, **caractérisé en ce que** pendant le traitement, la distance de traitement (d) entre l'ouverture de sortie (11) et la surface de la pièce est comprise entre 0,5 et 2 mm et de préférence entre 1,0 et 2,0 mm.

9. Procédé selon l'une des revendications 1 à 8, **caractérisé en ce que** pendant le traitement, la tuyère (10) est déplacée par rapport à la surface de la pièce à une vitesse d'avancement de 10 à 1 200 mm par minute.

10. Procédé selon l'une des revendications 1 à 9, **caractérisé en ce que** la tuyère (10) présente un corps de tuyère (12) doté d'un alésage (13) dans lequel le liquide comprimé est amené, l'alésage (13) formant un espace (17) sous pression dans lequel le liquide comprimé est amené, l'unité d'interruption (8) étant formée par un pointeau de tuyère (18) disposé à déplacement longitudinal dans l'espace (17) sous pression et dont le déplacement longitudinal ouvre et ferme l'ouverture de sortie (11).

Fig. 1

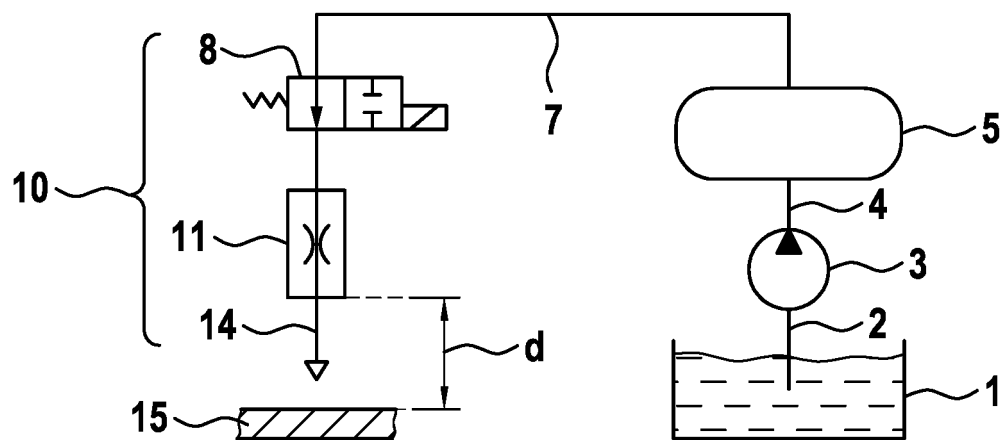


Fig. 2

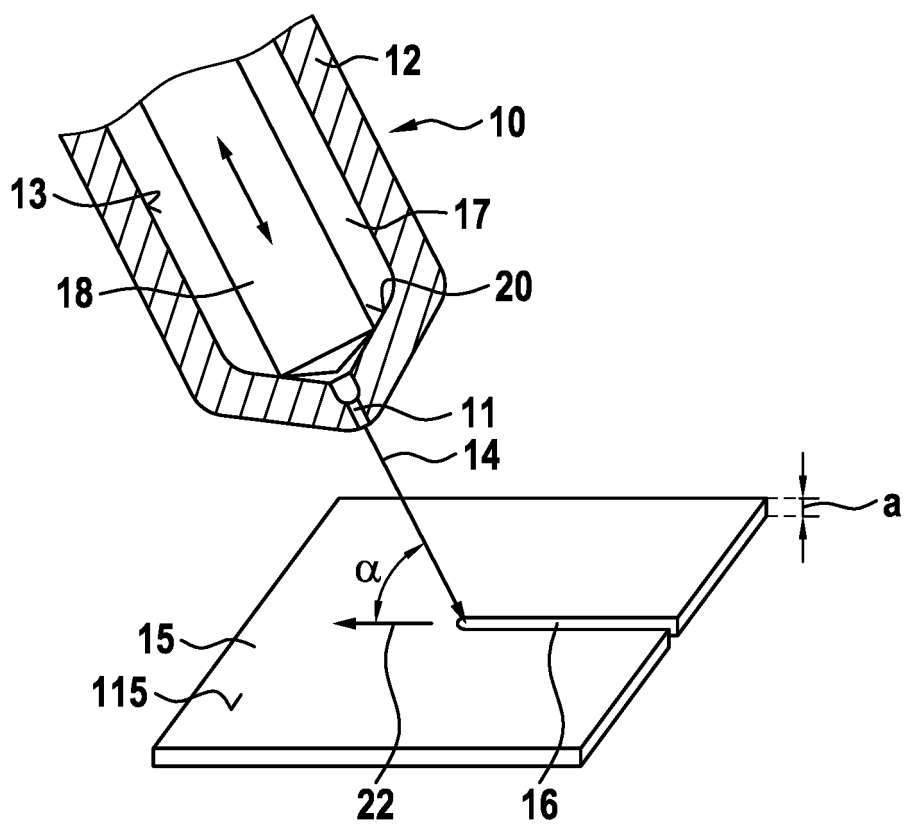


Fig. 3

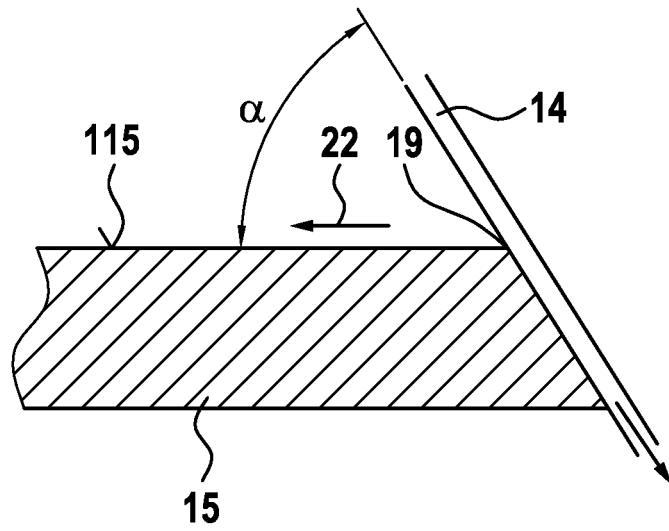
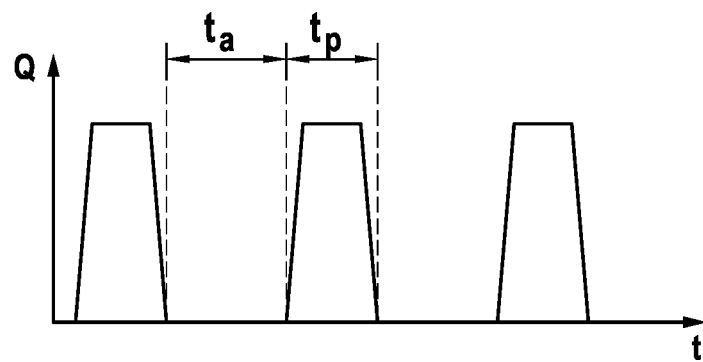


Fig. 4



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

- DE 102013201797 A1 [0004]