

(19)



(11)

EP 2 168 409 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
26.12.2012 Patentblatt 2012/52

(51) Int Cl.:
H05H 1/24 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **08759132.7**

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/EP2008/004605

(22) Anmeldetag: **10.06.2008**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2009/006972 (15.01.2009 Gazette 2009/03)

(54) **VORRICHTUNG ZUR ERZEUGUNG EINES PLASMA-JETS**

APPARATUS FOR GENERATING A PLASMA JET

DISPOSITIF DE PRODUCTION D'UN JET DE PLASMA

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

- **KRAMMEL, Werner**
93077 Bad Abbach (DE)
- **BADURA, Václav**
90419 Nürnberg (DE)

(30) Priorität: **12.07.2007 DE 102007032496**

(56) Entgegenhaltungen:
WO-A-01/76328 DE-A1- 2 651 185
US-A- 4 902 871 US-A- 4 912 361
US-A1- 2007 122 562 US-B1- 6 800 336

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
31.03.2010 Patentblatt 2010/13

(73) Patentinhaber: **Maschinenfabrik Reinhausen GmbH**
93059 Regensburg (DE)

- **TOSHIFUJI J ET AL: "Cold arc-plasma jet under atmospheric pressure for surface modification"**
SURFACE & COATINGS TECHNOLOGY
ELSEVIER SWITZERLAND, Bd. 171, Nr. 1-3, 1. Juli 2003 (2003-07-01), Seiten 302-306, XP002496307
ISSN: 0257-8972

(72) Erfinder:
• **THEOPHILE, Eckart**
93147 Wenzenbach-Grünthal (DE)

EP 2 168 409 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 Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Erzeugung eines Plasma-Jets.

[0002] Eine derartige Vorrichtung ist aus der noch nicht vorveröffentlichten deutschen Prioritätsanmeldung DE 10 2006 012 100.7-54 bekannt. Sie weist ein Entladungsrohr aus dielektrischem Material auf, in dessen Innerem eine innere, stabförmige, massive Elektrode in Längsrichtung sich erstreckend angeordnet ist. Eine zweite Elektrode umfasst das Entladungsrohr. Dies kann direkt oder mit radialem Abstand geschehen. Zur Erzeugung des Plasma-Jets wird die innere, stabförmige Elektrode auf Hochspannung gelegt, während die äußere Elektrode geerdet ist. Damit kommt es auf Grund der Verhältnisse des elektrischen Feldes zu einer dielektrisch behinderten Entladung und bevorzugt zu einer Zündung des Plasmas an der Spitze der inneren, stabförmigen Elektrode. Um einen Überschlag zwischen der inneren Elektrode und der äußeren Elektrode, also eine direkte Ausbildung eines Lichtbogens, zu verhindern, ist am Ende des Entladungsrohres eine Abschlusskappe aus dielektrischem Material vorgesehen. Bei dem dabei erzeugten Plasma handelt es sich um "kaltes Plasma" unter Atmosphärendruck, das eine geringe Gastemperatur, bis maximal einige 100 Grad Celsius, aufweist.

[0003] Erhöht man jedoch nach Zündung der bekannten Vorrichtung zur Erzeugung eines Plasma-Jets für einen längeren Zeitraum die anliegende Spannung, um mehr Leistung einzukoppeln, so hat sich bei thermischen Messungen gezeigt, dass die Temperaturentwicklung im Zündungsbereich des Plasmas so stark ist, dass dies zu einer plastischen Verformung der Bauteile führen kann. Die anlegbare Spannung ist also in ihrer Höhe begrenzt.

[0004] Des Weiteren ist aus der Offenlegung DE 10 2005 042 955 A1 bereits ein Kühlsystem für Plasma-schweißbrenner zur Reduzierung der Temperatur bekannt, wobei hier als Kühlmittel Wasser dient und wobei mehrere, voneinander räumlich und elektrisch getrennte Einheiten als Kühlkreisläufe vorgesehen sind.

[0005] Nachteilig bei diesem bekannten Kühlsystem ist der enorme bauliche Aufwand, der betrieben werden muss, um eine Potentialverschleppung zwischen den unterschiedlichen Potentialen der Wolframelektrode und der Plasmadüse des Plasmabrenners zu verhindern. Auch ist es nicht wünschenswert im Zuge der Betriebssicherheit, in einem elektrischen System, bei dem sehr hohe elektrische Ströme und Spannungen auftreten, ein elektrisch leitendes Fluid, hier Wasser, als Kühlmittel zu verwenden.

[0006] J. Toshifuji at al.; Surface end Coatings Technology 171 (2003) 302-306, offenbart eine Vorrichtung zur Erzeugung eines Plasma-Jets mit einem dielektrischen Entladungsrohr, einer Mittelelektrode und einer zweiten konzentrischen Gegenelektrode. DE 2654485 offenbart eine Kühleinrichtung bei einem Plasmabrenner. Aufgabe der Erfindung ist es demnach, eine Vorrichtung zur Erzeugung eines Plasma-Jets der eingangs

genannten Art mit einer zusätzlichen Kühlungsanordnung bereit zu stellen, bei der es trotz hoher eingekoppelter Leistung zu keiner thermischen Überbelastung kommt. Weiterhin ist es eine Aufgabe der Erfindung, eine baulich einfache und betriebsmäßig sichere Lösung dafür zu finden.

[0007] Diese Aufgabe wird durch eine Vorrichtung zur Erzeugung eines Plasma-Jets mit den Merkmalen des ersten Patentanspruches gelöst. Die Unteransprüche betreffen besonders vorteilhaft Weiterbildungen der Erfindung.

[0008] Die erfindungsgemäße Vorrichtung mit Kühlungsanordnung weist eine Gegenelektrode auf, die derart ausgebildet ist, dass sie im Zündbereich des Plasmas eine Oberflächensegmentierung bzw. -vergrößerung, z. B. in Form von Kühlrippen aufweist, die zu einem besseren Abtransport der bei der Plasmazündung entstehenden thermischen Energie führt.

[0009] Erfindungsgemäß ist ein Kühlkörper an der Gegenelektrode angeordnet.

[0010] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist an der Kühlungsanordnung ein elektrischer Temperatursensor vorgesehen, der Teil eines Regelkreises ist und sicherstellt, dass die thermische Belastung des Systems eine vorher definierte Grenztemperatur nicht überschreitet.

[0011] Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist der Kühlkörper ausgebildet, dass er sowohl als Halterung der Vorrichtung in automatisierten Fertigungsanlagen dient, als auch zugleich die Aufnahme des Temperatursensors ermöglicht.

[0012] Die Erfindung soll nachstehend an Hand von Zeichnungen noch beispielhaft näher erläutert werden:

[0013] Die Figuren zeigen:

Fig. 1 eine erfindungsgemäße Vorrichtung zur Erzeugung eines Plasma-Jets mit einer Kühlungsanordnung in einer seitlichen Schnittdarstellung

Fig. 2 eine erfindungsgemäße Kühlungsanordnung für eine solche Vorrichtung in einer Schnittdarstellung.

Zunächst soll die in Figur 1 schematisch dargestellte erfindungsgemäße Vorrichtung zur Erzeugung eines Plasma-Jets näher erläutert werden.

[0014] Sie zeigt ein Entladungsrohr 1 aus dielektrischem Material, in dessen Innerem eine zentrale, stabförmige Mittelelektrode 2 angeordnet ist, die gleichzeitig eine vertikale Mittelachse verkörpert. Eine zweite Elektrode 3, die die Gegenelektrode zur zentralen Mittelelektrode 2 bildet, ist dabei rotationssymmetrisch ausgebildet, so dass das dielektrische Entladungsrohr 1, die zentrale Mittelelektrode 2 und die Gegenelektrode 3 einen koaxialen Aufbau mit einer offenen Stirnseite bilden, an der der Plasma-Jet, d. h. der eigentliche Plasma-Strahl erzeugt wird. Hierzu wird die zentrale Mittelelektrode 2 auf Hochspannung gelegt, während die äußere Gegen-

elektrode 3 geerdet ist. Die Gegenelektrode 3 weist dabei auf der der zentralen Mittelelektrode 2 abgewandten Seite eine umlaufende, radiale Segmentierung 5 in Form von Kühlrippen im Bereich der Plasmaeinkopplung auf. Alternativ, aber in der Figur nicht dargestellt, ist es auch möglich, die Kühlrippen axial an der Gegenelektrode 3 zu segmentieren. Die durch die Segmentierung 5 bewirkte Vergrößerung der Oberfläche im Bereich der Plasmaeinkopplung sorgt bei entsprechender Zwangsbelüftung für einen ausreichenden Abtransport der entstehenden thermischen Energie. Für eine erzwungene Luftzu- und Luftabfuhr sorgt ein erfindungsgemäß an der Gegenelektrode 3 form- und kontaktschlüssig angebrachter Kühlkörper 6 aus Kunststoff, der einen Lufteintritt 7 und einen, vorzugsweise auf der dem Lufteintritt 7 gegenüberliegenden Seite, mit mehreren Öffnungen versehenen Luftaustritt 8 aufweist. Dabei wird ein über den Lufteintritt 7 ankommender Luftvolumenstrom 11 mit Hilfe einer gelenkten Konvektion durch die umlaufende Segmentierung 5 der Gegenelektrode 3 bis hin zum Luftaustritt 8 des Kühlkörpers 6 zwangsgeführt; genauer dargestellt und erklärt in Figur 2.

[0015] Außerdem ist im Bereich der Segmentierung 5 in dem Kühlkörper 6 ein elektrischer Temperatursensor 9 integriert, der Teil eines elektrischen Regelkreises ist und sicherstellt, dass die thermische Belastung des Systems eine vorher definierte Grenztemperatur nicht überschreitet und bei Bedarf eine Zwangsabschaltung des Systems als Sicherheitsmaßnahme erfolgen kann.

[0016] An der lufteintrittseitigen Öffnung 7 des Kühlkörpers 6 ist eine Umlenkeinheit 10 angeordnet, die einen ankommenden Luftvolumenstrom 11 an die Öffnung des Kühlkörpers 6 führt. Der Luftvolumenstrom 11 ist dabei variabel einstellbar und für den jeweiligen Kühlungsbedarfsfall frei definierbar. Wird beispielsweise eine höhere Leistung in die Vorrichtung eingekoppelt, um einen intensiveren Plasmastrahl zu bekommen, bedingt dies zwangsläufig eine höhere thermische Belastung der Bauteile besonders im Bereich der Plasmaeinkopplung. Um diesem Effekt entgegenzuwirken, muss der Luftvolumenstrom 11 erhöht werden, um eine ausreichende Kühlung der Bauteile mit Hilfe des erfindungsgemäßen Kühlkörpers 6 und der umlaufenden Segmentierung 5 der Gegenelektrode 3 zu gewährleisten. Somit ist es möglich, für den jeweiligen Kühlungsbedarfsfall eine im Zusammenwirken mit dem Temperatursensor 9 geregelte und definierte Temperaturkurve zu fahren.

[0017] Der Kühlkörper 6 und die Umlenkeinheit 10 sind dabei derart ausgebildet, dass sie sowohl als maschinelle Halterung der Vorrichtung in automatisierten Fertigungsanlagen dienen, als auch zugleich die Aufnahme des Temperatursensors 9 ermöglichen.

[0018] Weiterhin ist an der offenen Stirnseite eine dielektrische Abschlusskappe 4 an dem Entladungsrohr 1 angebracht, die durch Verschrauben mit der Gegenelektrode 3 befestigt ist. Die Abschlusskappe 4 besteht z. B. aus Teflon oder einem anderen Kunststoff mit entsprechender thermischer und mechanischer Stabilität, alter-

nativ aber auch aus Keramik. Durch das Anbringen der Abschlusskappe 4 wird ein Überschlag, d. h. ein direkter Lichtbogen zwischen der zentralen Mittelelektrode 2 und der geerdeten Gegenelektrode 3 verhindert, da der Abstand zwischen diesen beiden Elektroden nun elektrisch wesentlich größer ist. Gleichzeitig dient die Abschlusskappe 4 bei dieser Ausführungsform als thermischer Wärmespeicher, der durch die Kontaktschlüssigkeit mit dem Kühlkörper 6 zwangsgekühlt wird.

[0019] Figur 2 zeigt eine erfindungsgemäße Kühlungsanordnung für eine Vorrichtung zur Erzeugung eines Plasma-Jets in einer Schnittdarstellung. Zentral in dem Kühlkörper 6 ist die Mittelelektrode 2 sichtbar, die mit dem Entladungsrohr 1 und der Gegenelektrode 3 konzentrisch aufgebaut ist und in Wirkverbindung steht.

[0020] Der über den Luftzufuhrkanal 12 einströmende und in diesem Bereich noch gebündelte Luftvolumenstrom 11 wird dabei über die Umlenkeinheit 10 hin zum Lufteintritt 7 des Kühlkörpers 6 geleitet und auf die vorhandenen Segmente der Kühlrippen 5 der Gegenelektrode 3 aufgespaltet.

[0021] In Figur 2 ist exemplarisch der Verlauf der Luftkonvektion 13 für ein Segment der Kühlrippen 5 sichtbar. Dabei strömt die am Lufteintritt 7 ankommende Luft über das Segment der Kühlrippe 5 und der Gegenelektrode 3, erwärmt sich, indem sie die bei der Plasmaeinkopplung entstehende thermische Energie aufnimmt und strömt anschließend durch einen möglichen Ausgang der Öffnungen des Luftaustritts 8. Im Rahmen der Erfindung ist auch eine entgegengesetzte Richtung der Luftströmung möglich.

[0022] Insgesamt ist durch die Erfindung eine effektive Kühlung mit einfachen technischen Mitteln realisiert.

Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Erzeugung eines Plasma-Jets mit mindestens einem Entladungsrohr (1), wobei die Wandung des Entladungsrohres (1) aus dielektrischem Material besteht, wobei eine erste Mittelelektrode (2), massiv ausgebildet und zentrisch im Inneren des Entladungsrohres (1) in dessen Längsrichtung sich erstreckend angeordnet ist, wobei eine zweite Gegenelektrode (3) in axialer Richtung die Wandung des Entladungsrohres (1) konzentrisch umschließend angeordnet ist, derart, dass erste Mittelelektrode (2), Entladungsrohr (1) und zweite Gegenelektrode (3) einen coaxialen und im Querschnitt konzentrischen Aufbau mit einer mit einer offenen Stirnseite bilden, an der der Plasma-Jet erzeugbar ist, **dadurch gekennzeichnet,** **dass** die Gegenelektrode (3) auf der der Mittelelektrode (2) abgewandten Seite eine umlaufende, radiale Segmentierung (5) aufweist und **dass** an der Gegenelektrode (3) auf der die Segmentierung (5) aufweisenden Seite form- und kon-

taktschlüssig ein Kühlkörper (6) angebracht ist, der mindestens einen Lufteintritt (7) und mindestens einen Luftaustritt (8) aufweist, derart, dass er von Luft durchströmbar ist.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** im Bereich der Segmentierung (5) ein elektrischer Temperatursensor (9) angeordnet ist, der Teil eines elektrischen Regelkreises ist.
3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die umlaufende, radiale Segmentierung der Gegenelektrode (3) im Bereich der Plasmaeinkopplung vorgesehen ist.
4. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** an der Stirnseite der Vorrichtung, an der der Plasma-Jet erzeugbar ist, eine dielektrische, konzentrische Abschlusskappe (4) angeordnet ist, die die zweite Gegenelektrode (3) umgreift und als Wärmespeicher dient.
5. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Kühlkörper (6) sowohl Haltemittel für die Vorrichtung aufweist als auch den Temperatursensor aufnimmt.

Claims

1. Device for generating a plasma jet with at least one discharge tube (1), whereby the wall of the discharge tube (1) is made of dielectric material, whereby a first solid central electrode (2) is arranged centrally within the discharge tube (1) in a longitudinal direction, whereby a second counter electrode (3) that encloses the wall of the discharge tube (1) concentrically in a axial direction is arranged in such a way that the first central electrode (2), the discharge tube (1) and the second counter electrode (3) form a coaxial structure with a concentric profile with an open front side at which a plasma jet can be generated, **characterised by the fact**, that the counter electrode (3) has a circumferential radial segmentation (5) facing away from the central electrode (2) and that a cooling element (6) with at least one air inlet (7) and at least one air outlet (8) is attached to the segmentation (5) side of the counter electrode (3) by means of positive and contact fitting and in such a way that air can pass through it.
2. Device according to claim 1,

characterised by the fact, that an electric temperature sensor (9) that is a component of an electric regulating system is arranged in the area of the segmentation (5).

3. Device according to claim 1 or 2, **characterised by the fact**, that the circumferential radial segmentation (5) of the counter electrode (3) is arranged within the area of the plasma injection.
4. Device according to one of the claims 1 to 3, **characterised by the fact** that a dielectric concentric end cap (4) that encircles the counter electrode (3) and that acts as a heat store is arranged on the front face of the device where the plasma jet can be generated.
5. Device according to one of the claims 1 to 4, **characterised by the fact** that the cooling element (6) acts as a holder for both the device and the temperature sensor.

Revendications

1. Dispositif servant à générer un jet de plasma avec au moins un tube de décharge (1), la paroi du tube de décharge (1) étant constituée de matériau diélectrique, une première électrode (2) de construction pleine étant agencée au centre à l'intérieur du tube de décharge (1), s'étendant dans le sens longitudinal de celui-ci, une contre-électrode (3) enveloppant concentriquement la paroi du tube de décharge (1), de sorte que la première électrode (2), le tube de décharge (1) et la contre-électrode (3) forment une structure coaxiale et concentrique dans la section transversale avec une face avant ouverte, contre laquelle le jet de plasma peut être généré, **caractérisé en ce que** la contre-électrode (3) présente une segmentation radiale circulaire sur le côté opposé de la première électrode (2) et que sur la contre-électrode (3) est fixé sur le côté de la segmentation un corps réfrigérant (6) disposant d'au moins une entrée d'air (7) et d'au moins une sortie d'air (8) de façon à ce qu'il puisse être traversé par l'air.
2. Dispositif selon la revendication 1, **caractérisé en ce que**, dans la zone de la segmentation (5) un capteur de température électrique (9) est installé, qui fait partie d'un circuit de réglage électrique.
3. Dispositif selon la revendication 1 ou 2, **caractérisé en ce que**, la segmentation radiale circulaire de la contre-électrode (3) est prévue dans zone de transmission du

plasma.

4. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 3,
caractérisé en ce que,
sur la face avant du dispositif sur laquelle peut être 5
généralisé le jet de plasma, il est agencé un capuchon
de recouvrement (4) diélectrique et concentrique qui
enveloppe la contre-électrode (3) et sert d'accumu-
lateur thermique. 10
5. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 4,
caractérisé en ce que,
le corps réfrigérant (6) en plus de présenter un sup-
port pour le dispositif accueille également un capteur
de température. 15

20

25

30

35

40

45

50

55

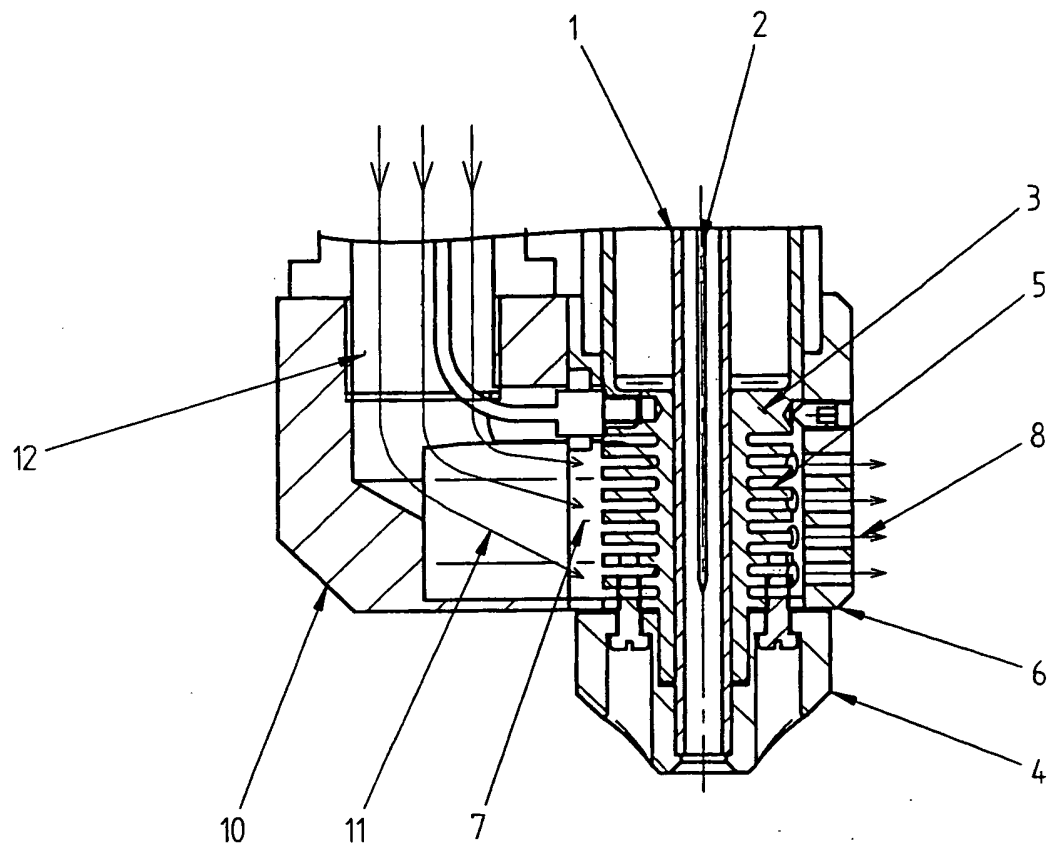


Fig. 1

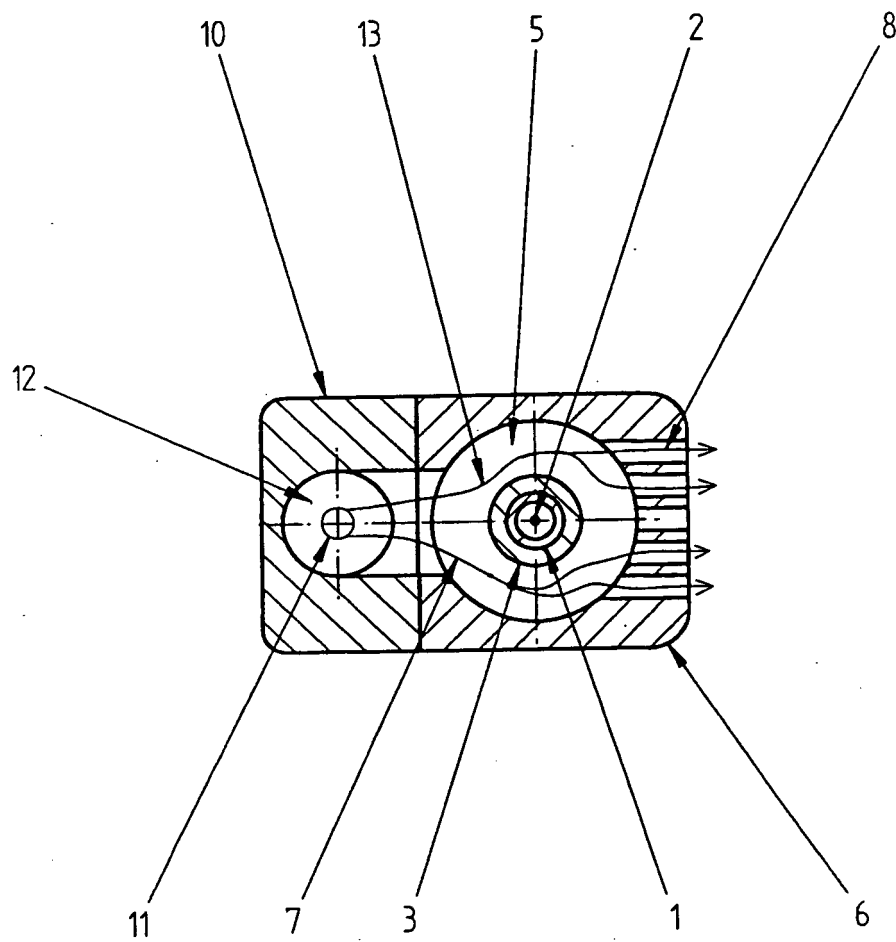


Fig. 2

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 102006012100754 [0002]
- DE 102005042955 A1 [0004]
- DE 2654485 [0006]

In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur

- **J. TOSHIFUJI.** *Surface end Coatings Technology*, 2003, vol. 171, 302-306 [0006]