

(19)



(11)

EP 2 804 450 A2

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
19.11.2014 Patentblatt 2014/47

(51) Int Cl.:
H05H 1/34 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **13004796.2**

(22) Anmeldetag: **04.10.2013**

(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**
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA ME

- **Herrn Krink, Volker**
03238 Finsterwalde (DE)
- **Herrn Grundke, Timo**
03238 Finsterwalde (DE)

(30) Priorität: **16.05.2013 DE 102013008353**

(71) Anmelder: **Kjellberg-Stiftung**
03238 Finsterwalde (DE)

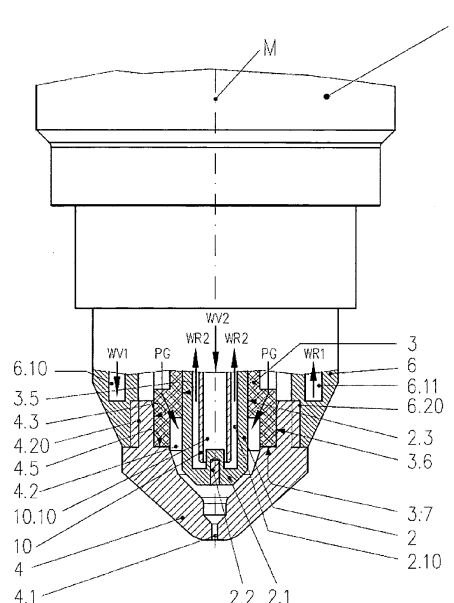
(72) Erfinder:
• **Herrn Laurisch, Frank**
03238 Finsterwalde (DE)

(74) Vertreter: **Manasse, Uwe**
Boehmert & Boehmert
Anwaltspartnerschaft mbB
Patentanwälte Rechtsanwälte
Pettenkoferstrasse 20-22
80336 München (DE)

(54) **Ein- oder mehrteiliges Isolierstück für einen Plasmabrenner, insbesondere einen Plasmaschneidbrenner, sowie Anordnungen und Plasmabrenner mit demselben**

(57) Ein- oder mehrteiliges Isolierstück für einen Plasmabrenner, insbesondere einen Plasmaschneidbrenner, zur elektrischen Isolation zwischen mindestens zwei elektrisch leitfähigen Bauteilen des Plasmabrenners, dadurch gekennzeichnet, dass es aus einem elektrisch nicht leitendem und Wärme gut leitendem Material be-

steht oder mindestens ein Teil desselben aus einem elektrisch nicht leitendem und Wärme gut leitendem Material besteht, sowie Anordnungen und Plasmabrenner mit demselben sowie Verfahren zum Bearbeiten, Plasmaschneiden und Plasmaschweißen.



Figur 1

EP 2 804 450 A2

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein ein- oder mehrteiliges Isolierteil für einen Plasmabrenner, insbesondere einen Plasmaschneidbrenner, zur elektrischen Isolation zwischen mindestens zwei elektrisch leitfähigen Bauteilen des Plasmabrenners, Anordnungen und Plasmabrenner mit einem derartigen Isolierteil, Plasmabrenner mit einer derartigen Anordnung sowie Verfahren zum Bearbeiten eines Werkstücks mit einem thermischen Plasma, zum Plasmaschneiden und zum Plasmaschweißen.

[0002] Plasmabrenner werden ganz allgemein zur thermischen Bearbeitung elektrisch leitfähiger Materialien, wie Stahl und Nichteisenmetalle, eingesetzt. Dabei werden Plasmaschweißbrenner zum Schweißen und Plasmaschneidbrenner zum Schneiden elektrisch leitfähiger Materialien, wie Stahl und Nichteisenmetalle, eingesetzt. Plasmabrenner bestehen üblicherweise aus einem Brennerkörper, einer Elektrode, einer Düse und einer Halterung dafür. Moderne Plasmabrenner verfügen zusätzlich über eine über der Düse angebrachte Düsenschutzkappe. Oft wird eine Düse mittels einer Düsenskappe fixiert.

[0003] Die durch den Betrieb des Plasmabrenners infolge der durch den Lichtbogen verursachten hohen thermischen Belastung verschleißenden Bauteile sind je nach Plasmabrennertyp insbesondere die Elektrode, die Düse, die Düsenskappe, die Düsenschutzkappe, die Düsenschutzkappenhalterung und die Plasmagasführungs- und Sekundärgasführungsteile. Diese Bauteile können durch einen Bediener leicht gewechselt werden und somit als Verschleißteile bezeichnet werden.

[0004] Die Plasmabrenner sind über Leitungen an eine Stromquelle und eine Gasversorgung angeschlossen, die den Plasmabrenner versorgen. Weiterhin kann der Plasmabrenner an einer Kühleinrichtung für ein Kühlmedium, wie zum Beispiel eine Kühlflüssigkeit, angeschlossen sein.

[0005] Bei Plasmaschneidbrennern treten besonders hohe thermische Belastungen auf. Das hat seine Ursache in der starken Einschnürung des Plasmastrahls durch die Düsenbohrung. Hier werden im Vergleich zum Plasmaschweißen auf den Schneidstrom bezogen kleine Bohrungen verwendet, damit hohe Stromdichten von 50 bis 150 A/mm² in der Düsenbohrung, hohe Energiedichten von ca. 2×10^6 W/cm² und hohe Temperaturen von bis zu 30.000 K erzeugt werden. Weiterhin werden im Plasmaschneidbrenner höhere Gasdrücke, in der Regel bis zu 12 bar, verwendet. Die Kombination aus hoher Temperatur und großer kinetischer Energie des durch die Düsenbohrung strömenden Plasmagases führen zum Aufschmelzen des Werkstücks und zum Austreiben der Schmelze. Es entsteht eine Schnittfuge und das Werkstück wird getrennt. Beim Plasmaschneiden werden oft auch oxidierende Gase eingesetzt, um unlegierte Stähle zu schneiden. Dies führt auch zusätzlich zu einer hohen thermischen Belastung der Verschleißteile und

des Plasmaschneidbrenners.

[0006] Auf die Plasmaschneidbrenner wird nachfolgend besonders eingegangen.

[0007] Zwischen der Elektrode und der Düse strömt ein Plasmagas. Das Plasmagas wird durch ein Gasführungsteil, das auch mehrteilig sein kann, geführt. Dadurch kann das Plasmagas gezielt gerichtet werden. Oftmals ist es durch einen radialen und/oder axialen Versatz der Öffnungen in dem Plasmagasführungsteil in Rotation um die Elektrode versetzt. Das Plasmagasführungsteil besteht aus elektrisch isolierendem Material, da die Elektrode und die Düse voneinander elektrisch isoliert sein müssen. Dies ist notwendig, da die Elektrode und die Düse unterschiedliche elektrische Potentiale während des Betriebs des Plasmaschneidbrenners haben. Zum Betreiben des Plasmaschneidbrenners wird ein Lichtbogen zwischen der Elektrode und der Düse und/oder dem Werkstück erzeugt, der das Plasmagas ionisiert. Zum Zünden des Lichtbogens kann eine Hochspannung zwischen der Elektrode und Düse angelegt werden, die für eine Vorionisation der Strecke zwischen der Elektrode und Düse und somit für die Ausbildung eines Lichtbogens sorgt. Der zwischen Elektrode und Düse brennende Lichtbogen wird auch als Pilotlichtbogen bezeichnet.

[0008] Der Pilotlichtbogen tritt durch die Düsenbohrung aus und trifft auf das Werkstück und ionisiert die Strecke zum Werkstück. Dadurch kann sich der Lichtbogen zwischen Elektrode und Werkstück ausbilden. Dieser Lichtbogen wird auch als Hauptlichtbogen bezeichnet. Während des Hauptlichtbogens kann der Pilotlichtbogen abgeschaltet werden. Er kann aber auch weiterbetrieben werden. Beim Plasmaschneiden wird dieser oft abgeschaltet, um die Düse nicht noch zusätzlich zu belasten.

[0009] Insbesondere die Elektrode und die Düse werden thermisch hoch beansprucht und müssen gekühlt werden. Zugleich müssen sie auch den elektrischen Strom, der zur Ausbildung des Lichtbogens benötigt wird, leiten. Deshalb werden dafür gut Wärme und elektrisch gut leitende Werkstoffe, in der Regel Metalle, zum Beispiel Kupfer, Silber, Aluminium, Zinn, Zink, Eisen oder Legierungen, in denen zumindest eines dieser Metalle enthalten ist, verwendet.

[0010] Die Elektrode besteht oft aus einem Elektrodenhalter und einem Emissionseinsatz, der aus einem Werkstoff hergestellt ist, der eine hohe Schmelztemperatur (>2000°C) und eine geringere Elektronenaustrittsarbeit als der Elektrodenhalter aufweist. Als Werkstoffe für den Emissionseinsatz werden beim Einsatz nichtoxidierende Plasmagase, wie bspw. Argon, Wasserstoff, Stickstoff, Helium und Gemische derselben, Wolfram und beim Einsatz oxidierender Gase, wie zum Beispiel Sauerstoff, Luft und Gemische derselben, Stickstoff-Sauerstoff-Gemisch und Gemische mit anderen Gasen, Hafnium oder Zirkonium eingesetzt. Der Hochtemperaturwerkstoff kann in einen Elektrodenhalter, der aus gut Wärme und elektrisch gut leitendem Werkstoff besteht, eingepasst, zum Beispiel mit Form- und/oder Kraftschluss einge-

presst werden.

[0011] Die Kühlung der Elektrode und Düse kann durch Gas, zum Beispiel das Plasmagas oder ein Sekundärgas, das an der Außenseite der Düse entlangströmt, erfolgen. Effektiver ist jedoch die Kühlung mit einer Flüssigkeit, zum Beispiel Wasser. Dabei werden die Elektrode und/oder die Düse oft direkt mit der Flüssigkeit gekühlt, d.h. die Flüssigkeit befindet sich in direktem Kontakt mit der Elektrode und/oder der Düse. Um die Kühlflüssigkeit um die Düse zu führen, befindet sich um die Düse eine Düsenkappe, deren Innenfläche mit der Außenfläche der Düse einen Kühlmittelraum bildet, in dem das Kühlmittel strömt.

[0012] Bei modernen Plasmaschneidbrennern befindet sich zusätzlich außerhalb der Düse und/oder der Düsenkappe zusätzlich eine Düsenschutzkappe. Die Innenfläche der Düsenschutzkappe und die Außenfläche der Düse oder der Düsenkappe bilden einen Raum, durch den ein Sekundär- oder Schutzgas strömt. Das Sekundär- oder Schutzgas tritt aus der Bohrung der Düsenschutzkappe aus und umhüllt den Plasmastrahl und sorgt für eine definierte Atmosphäre um denselben. Zusätzlich schützt das Sekundärgas die Düse und die Düsenschutzkappe vor Lichtbögen, die sich zwischen diesem und dem Werkstück ausbilden können. Diese werden als Doppellichtbögen bezeichnet und können zur Beschädigung der Düse führen. Insbesondere beim Einstechen in das Werkstück werden die Düse und die Düsenschutzkappe durch heißes Hochspritzen von Material stark belastet. Das Sekundärgas, dessen Volumenstrom beim Einstechen gegenüber dem Wert beim Schneiden erhöht sein kann, hält das hochspritzende Material von der Düse und der Düsenschutzkappe fern und schützt so vor Beschädigung.

[0013] Die Düsenschutzkappe wird ebenfalls thermisch hoch beansprucht und muss gekühlt werden. Deshalb werden dafür gut Wärme und elektrisch gut leitende Werkstoffe, in der Regel Metalle, zum Beispiel Kupfer, Silber, Aluminium, Zinn, Zink, Eisen oder Legierungen, in denen zumindest eines dieser Metalle enthalten ist, verwendet.

[0014] Die Elektrode und die Düse können aber auch indirekt gekühlt werden. Dabei stehen sie mit einem Bauteil, das aus einem gut Wärme und elektrisch gut leitenden Werkstoff, in der Regel ein Metall, zum Beispiel Kupfer, Silber, Aluminium, Zinn, Zink, Eisen oder Legierungen, in denen zumindest eines dieser Metalle enthalten ist, besteht, durch Berührung in Kontakt. Dieses Bauteil wird wiederum direkt gekühlt, d.h., dass es sich mit dem meist strömenden Kühlmittel direkt in Kontakt befindet. Diese Bauteile können gleichzeitig als Halterung oder Aufnahme für die Elektrode, die Düse, die Düsenkappe oder die Düsenschutzkappe dienen und die Wärme ab- und den Strom zuführen.

[0015] Es besteht auch die Möglichkeit, dass nur die Elektrode oder nur die Düse mit Flüssigkeit gekühlt werden. Gerade in diesem Fall treten oft zu hohe Temperaturen an dem nur gasgekühlten Bauteil auf, das dann

schnell verschleißt oder sogar zerstört wird. Dies führt auch zu großen Temperaturdifferenzen zwischen den Bauteilen im Plasmaschneidbrenner und dadurch zu mechanischen Spannungen und zusätzlichen Beanspruchungen.

[0016] Die Düsenschutzkappe wird meist nur durch das Sekundärgas gekühlt. Es sind auch Anordnungen bekannt, bei denen die Düsenschutzkappe direkt oder indirekt durch eine Kühlflüssigkeit gekühlt wird.

[0017] Die Gaskühlung (Plasmagas- und/oder Sekundärgaskühlung) hat den Nachteil, dass sie nicht effektiv und der benötigte Gasvolumenstrom sehr hoch ist, um eine akzeptable Kühlung oder Wärmeabfuhr zu erreichen. Plasmaschneidbrenner mit Wasserkühlung benötigen bspw. Gasvolumenströme von 500 l/h bis 4000 l/h, während Plasmaschneidbrenner ohne Wasserkühlung Gasvolumenströme von 5000 bis 11000 l/h benötigen. Diese Bereiche ergeben sich in Abhängigkeit von den verwendeten Schneidströmen, die bspw. in einem Bereich von 20 bis 600 A liegen können. Gleichzeitig soll der Volumenstrom des Plasmagases und/oder Sekundärgases so gewählt werden, dass die besten Schneidergebnisse erreicht werden. Zu große Volumenströme, die für die Kühlung aber notwendig sind, verschlechtern oft das Schnittergebnis.

[0018] Zudem ist der durch große Volumenströme verursachte hohe Gasverbrauch unwirtschaftlich. Dies gilt besonders dann, wenn andere Gase als Luft, also bspw. Argon, Stickstoff, Wasserstoff, Sauerstoff oder Helium verwendet werden.

[0019] Die Verwendung einer direkten Wasserkühlung für alle Verschleißteile dagegen ist sehr effektiv, führt aber zu einer Vergrößerung der Abmessungen des Plasmaschneidbrenners, da bspw. die Kühlkanäle notwendig sind, um die Kühlflüssigkeit zu dem zu kühlenden Verschleißteil hin- und wieder wegzuführen. Zusätzlich ist beim Wechsel der direkt flüssigkeitsgeköhlten Verschleißteile viel Sorgfalt nötig, da möglichst keine Kühlflüssigkeit zwischen den Verschleißteilen im Plasmaschneidbrenner verbleiben soll, da dies zur Beschädigung des Plasmabrenners führen kann, wenn der Lichtbogen gezündet wird.

[0020] Der Erfindung liegt somit die Aufgabe zugrunde, für eine effektivere Kühlung von Bauteilen, insbesondere Verschleißteilen, eines Plasmabrenners zu sorgen.

[0021] Gemäß einem ersten Aspekt wird diese Aufgabe gelöst durch ein ein- oder mehrteiliges Isolierteil für einen Plasmabrenner, insbesondere einen Plasmaschneidbrenner, zur elektrischen Isolation zwischen mindestens zwei elektrisch leitfähigen Bauteilen des Plasmabrenners, dadurch gekennzeichnet, dass es aus einem elektrisch nicht leitenden und Wärme gut leitenden Material besteht oder mindestens ein Teil desselben aus einem elektrisch nicht leitenden und Wärme gut leitenden Material besteht. Dabei soll der Ausdruck "elektrisch nicht leitend" auch umfassen, dass das Material des Plasmabrennerisolierteils geringfügig oder unwesentlich elektrisch leitet. Das Isolierteil kann bspw. ein Plasma-

gasführungsteil, Sekundärgasführungsteil oder Kühlgasführungsteil sein.

[0022] Des Weiteren wird diese Aufgabe gemäß einem zweiten Aspekt gelöst durch eine Anordnung aus einer Elektrode und/oder einer Düse und/oder einer Düsenkappe und/oder einer Düsenschutzkappe und/oder einer Düsenschutzkappenhalterung für einen Plasmabrenner, insbesondere einen Plasmaschneidbrenner, und einem Isolierteil nach einem der Ansprüche 1 bis 12.

[0023] Gemäß einem dritten Aspekt wird diese Aufgabe gelöst durch eine Anordnung aus einer Aufnahme für eine Düsenschutzkappenhalterung und einer Düsenschutzkappenhalterung für einen Plasmabrenner, insbesondere einen Plasmaschneidbrenner, dadurch gekennzeichnet, dass die Aufnahme als ein vorzugsweise mit der Düsenschutzkappenhalterung in direktem Kontakt stehendes Isolierteil nach einem der Ansprüche 1 bis 12 ausgebildet ist. Beispielsweise können die Aufnahme und die Düsenschutzkappenhalterung durch ein Gewinde miteinander verbunden sein.

[0024] Gemäß einem weiteren Aspekt wird diese Aufgabe gelöst durch eine Anordnung aus einer Elektrode und einer Düse für einen Plasmabrenner, insbesondere einen Plasmaschneidbrenner, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen der Elektrode und der Düse ein als ein Plasmagasführungsteil ausgebildetes Isolierteil nach einem der Ansprüche 1 bis 12, vorzugsweise in direktem Kontakt mit selbigen, angeordnet ist.

[0025] Ferner wird diese Aufgabe gemäß einem weiteren Aspekt gelöst durch eine Anordnung aus einer Düse und einer Düsenschutzkappe für einen Plasmabrenner, insbesondere einen Plasmaschneidbrenner, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen der Düse und der Düsenschutzkappe ein als ein Sekundärgasführungsteil ausgebildetes Isolierteil nach einem der Ansprüche 1 bis 12, vorzugsweise in direktem Kontakt mit selbigem, angeordnet ist.

[0026] Darüber hinaus wird diese Aufgabe gemäß einem weiteren Aspekt durch eine Anordnung aus einer Düsenkappe und einer Düsenschutzkappe für einen Plasmabrenner, insbesondere einen Plasmaschneidbrenner, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen der Düsenkappe und der Düsenschutzkappe ein als ein Sekundärgasführungsteil ausgebildetes Isolierteil nach einem der Ansprüche 1 bis 12, vorzugsweise in direktem Kontakt mit selbigen, angeordnet ist, gelöst.

[0027] Ferner liefert die vorliegende Erfindung einen Plasmabrenner, insbesondere Plasmaschneidbrenner, umfassend mindestens ein Isolierteil nach einem der Ansprüche 1 bis 12.

[0028] Außerdem liefert die vorliegende Erfindung einen Plasmabrenner, insbesondere Plasmaschneidbrenner, umfassend mindestens eine Anordnung nach einem der Ansprüche 13 bis 18 sowie ein Verfahren gemäß Anspruch 24.

[0029] Bei dem Isolierteil kann vorgesehen sein, dass es aus mindestens zwei Teilen besteht, wobei eines der Teile aus einem elektrisch nicht leitenden und Wärme

gut leitenden Material und das andere oder mindestens ein anderes der Teile aus einem elektrisch nicht leitenden und Wärme nicht leitenden Material besteht.

[0030] Insbesondere kann dabei vorgesehen sein, dass das Teil aus einem elektrisch nicht leitenden und Wärme gut leitenden Material zumindest eine als Kontaktfläche fungierende Oberfläche aufweist, die mit einer unmittelbar benachbarten Oberfläche des Teils aus einem elektrisch nicht leitenden und Wärme nicht leitenden Material fluchtet oder über diese hinausragt.

[0031] Gemäß einer besonderen Ausführungsform besteht das Isolierteil aus mindestens zwei Teilen, wobei eines der Teile aus einem elektrisch gut leitenden und Wärme gut leitenden Material und das andere oder mindestens ein anderes der Teile aus einem elektrisch nicht leitenden und Wärme gut leitenden Material besteht.

[0032] In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung besteht das Isolierteil aus mindestens drei Teilen, wobei eines der Teile aus einem elektrisch gut leitenden und Wärme gut leitenden Material, ein anderes der Teile aus einem elektrisch nicht leitenden und Wärme gut leitenden Material und ein weiteres der Teile aus einem elektrisch nicht leitenden und Wärme nicht leitenden Material besteht.

[0033] Vorteilhafterweise weist das elektrisch nicht leitende und Wärme gut leitende Material eine Wärmeleitfähigkeit von mindestens $40 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, bevorzugt mindestens $60 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ und noch bevorzugt mindestens $90 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, noch bevorzugt mindestens $120 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ und noch bevorzugt mindestens $150 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ und noch bevorzugt mindestens $180 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ auf.

[0034] Zweckmäßigerweise weist das elektrisch nicht leitende und Wärme gut leitende Material und/oder das elektrisch nicht leitende und Wärme nicht leitende Material einen spezifischen elektrischen Widerstand von mindestens $10^6 \Omega\text{cm}$, bevorzugt mindestens $10^{10} \Omega\text{cm}$, und/oder eine Spannungsdurchschlagsfestigkeit von mindestens 7 kV/mm , bevorzugt mindestens 10 kV/mm , auf.

[0035] Vorteilhafterweise ist das elektrisch nicht leitende und Wärme gut leitende Material eine Keramik, vorzugsweise aus der Gruppe der Nitridkeramiken, insbesondere der Aluminiumnitrid-, Boritrid- und Siliziumnitridkeramiken, der Karbidkeramiken, insbesondere der Siliziumkarbidkeramiken, der Oxidkeramiken, insbesondere der Aluminiumoxid-, Zirkoniumoxid- und Berylliumoxidkeramiken, und der Silikatkeramiken, oder Kunststoff bspw. Kunststoffolie.

[0036] Es ist auch möglich, eine Kombination aus einem elektrisch nicht leitenden und Wärme gut leitenden Material, z. B. Keramik, und einem anderen elektrisch nicht leitenden Material, z. B. Kunststoff, in einem Werkstoff, einem so genannten Compoundwerkstoff, zu verwenden. Ein solcher Werkstoff kann beispielsweise aus Pulver beider Materialien durch Sintern hergestellt werden. Letztlich muss dieser Compoundwerkstoff elektrisch nicht leitend und Wärme gut leitend sein.

[0037] Gemäß einer besonderen Ausführungsform

der Erfindung weist das elektrisch nicht leitende und Wärme nicht leitende Material eine Wärmeleitfähigkeit von höchstens 1 (W/m²K) auf. Vorteilhafterweise sind die Teile form- oder kraftschlüssig, durch Kleben oder durch ein thermisches Verfahren, zum Beispiel Löten oder Schweißen, miteinander verbunden.

[0038] In einer besonderen Ausführungsform der Erfindung weist das Isolierteil mindestens eine Öffnung und/oder mindestens eine Aussparung und/oder mindestens eine Nut auf. Dies kann zum Beispiel der Fall sein, wenn es sich bei dem Isolierteil um ein Gasführungsteil, wie zum Beispiel ein Plasmagas- oder Sekundärgasführungsteil, handelt.

[0039] Insbesondere kann vorgesehen sein, dass sich die mindestens eine Öffnung und/oder die mindestens eine Aussparung und/oder die mindestens eine Nut im elektrisch nicht leitenden und Wärme gut leitenden Material und/oder im elektrisch nicht leitenden und Wärme nicht leitenden Material und/oder im elektrisch gut leitenden und Wärme gut leitenden Material befindet/befinden.

[0040] In einer weiteren besonderen Ausführungsform der Erfindung ist das Isolierteil gestaltet, um ein Gas, insbesondere ein Plasma-, Sekundär- oder Kühlgas, zu führen.

[0041] Bei der Anordnung nach Anspruch 13 kann vorgesehen sein, dass das Isolierteil mit der Elektrode und/oder der Düse und/oder der Düsenkappe und/oder der Düsenschutzkappe und/oder der Düsenschutzkappenhalterung in direktem Kontakt steht.

[0042] Vorteilhafterweise ist das Isolierteil mit der Elektrode und/oder der Düse und/oder der Düsenkappe und/oder der Düsenschutzkappe und/oder der Düsenschutzkappenhalterung form- und/oder kraftschlüssig, durch Kleben oder durch ein thermisches Verfahren, zum Beispiel Löten und Schweißen, verbunden.

[0043] In einer besonderen Ausführungsform des Plasmabrenners nach Anspruch 19 weist das Isolierteil oder ein aus elektrisch nicht leitendem und Wärme gut leitendem Material bestehendes Teil desselben mindestens eine als Kontaktfläche fungierende Oberfläche, vorzugsweise zwei Oberflächen, auf, die zumindest mit einer Oberfläche eines elektrisch gut leitenden Bauteils, insbesondere einer Elektrode, Düse, Düsenkappe, Düsenschutzkappe oder Düsenschutzkappenhalterung, des Plasmabrenners in direktem Kontakt steht.

[0044] Insbesondere kann dabei vorgesehen sein, dass das Isolierteil oder ein aus elektrisch nicht leitendem und Wärme gut leitendem Material bestehendes Teil desselben mindestens zwei als Kontaktflächen fungierende Oberfläche aufweist, die zumindest mit einer Oberfläche eines elektrisch gut leitenden Bauteils, insbesondere einer Elektrode, Düse, Düsenkappe, Düsenschutzkappe oder Düsenschutzkappenhalterung, des Plasmabrenners und einer weiteren Oberfläche eines weiteren elektrisch gut leitenden Bauteils des Plasmabrenners in direktem Kontakt steht.

[0045] Gemäß einer besonderen Ausführungsform ist das Isolierteil ein Gasführungsteil, insbesondere ein

Plasmagas-, Sekundärgas- oder Kühlgasführungsteil.

[0046] Vorteilhafterweise weist das Isolierteil mindestens eine Oberfläche auf, die im Betrieb direkten Kontakt mit einem Kühlmedium, vorzugsweise einer Flüssigkeit und/oder einem Gas und/oder einem Flüssigkeits-Gas-Gemisch, hat.

[0047] Bei den Verfahren gemäß Anspruch 24 kann vorgesehen sein, dass in den Plasmabrenner zusätzlich zum Plasmastrahl ein Laserstrahl eines Lasers eingekoppelt wird.

[0048] Insbesondere kann es sich bei dem Laser um einen Faserlaser, Diodenlaser und/oder diodengepumpte Laser handeln.

[0049] Der Erfindung liegt die überraschende Erkenntnis zugrunde, dass durch Einsatz eines Materials, das nicht nur elektrisch nicht leitet, sondern auch Wärme gut leitet, eine effektivere und kostengünstigere Kühlung möglich ist sowie kleinere und einfachere Bauformen von Plasmabrennern möglich sind und geringere Temperaturdifferenzen und damit geringere mechanische Spannungen erzielt werden können.

[0050] Die Erfindung liefert zumindest in einer oder mehreren besonderen Ausführungsform(en) eine Kühlung von Bauteilen, insbesondere Verschleißteilen, eines Plasmabrenners, die effektiver und/oder kostengünstiger ist und/oder zu geringeren mechanischen Spannungen führt und/oder kleinere und/oder einfachere Plasmabrennerbauformen ermöglicht und gleichzeitig für die elektrische Isolation zwischen Bauteilen eines Plasmabrenners zu sorgen.

[0051] Weitere Merkmale und Vorteile der Erfindung ergeben sich den beigefügten Ansprüchen und der nachfolgenden Beschreibung, in der anhand der schematischen Zeichnungen mehrere Ausführungsbeispiele beschrieben werden. Dabei zeigt/zeigen:

Figur 1 eine Seitenansicht teilweise im Längsschnitt von einem Plasmabrenner gemäß einer ersten besonderen Ausführungsform der Erfindung;

Figur 2 eine Seitenansicht teilweise im Längsschnitt von einem Plasmabrenner gemäß einer zweiten besonderen Ausführungsform der Erfindung;

Figur 3 eine Seitenansicht teilweise im Längsschnitt von einem Plasmabrenner gemäß einer dritten besonderen Ausführungsform der Erfindung;

Figur 4 eine Seitenansicht teilweise im Längsschnitt von einem Plasmabrenner gemäß einer vierten besonderen Ausführungsform der Erfindung;

Figur 5 eine Seitenansicht teilweise im Längsschnitt von einem Plasmabrenner gemäß einer fünften besonderen Ausführungsform der Erfindung;

Figur 6 eine Seitenansicht teilweise im Längsschnitt von einem Plasmabrenner gemäß einer sechsten

besonderen Ausführungsform der Erfindung;

Figur 7 eine Seitenansicht teilweise im Längsschnitt von einem Plasmabrenner gemäß einer siebten besonderen Ausführungsform der Erfindung;

Figur 8 eine Seitenansicht teilweise im Längsschnitt von einem Plasmabrenner gemäß einer achten besonderen Ausführungsform der Erfindung;

Figur 9 eine Seitenansicht teilweise im Längsschnitt von einem Plasmabrenner gemäß einer neunten besonderen Ausführungsform der Erfindung;

Figuren 10a und 10b eine Längsschnittansicht sowie eine teilweise geschnittene Seitenansicht von einem Isolierteil gemäß einer besonderen Ausführungsform der Erfindung;

Figuren 11a und 11b eine Längsschnittansicht sowie eine teilweise geschnittene Seitenansicht von einem Isolierteil gemäß einer weiteren besonderen Ausführungsform der Erfindung;

Figuren 12a und 12b eine Längsschnittansicht sowie eine teilweise geschnittene Seitenansicht von einem Isolierteil gemäß einer weiteren besonderen Ausführungsform der Erfindung;

Figuren 13a und 13b eine Längsschnittansicht sowie eine teilweise geschnittene Seitenansicht von einem Isolierteil gemäß einer weiteren besonderen Ausführungsform der Erfindung;

Figuren 14a und 14b eine Längsschnittansicht sowie eine teilweise geschnittene Seitenansicht von einem Isolierteil gemäß einer weiteren besonderen Ausführungsform der Erfindung;

Figuren 14c und 14d Ansichten wie die Figuren 14a und 14b, wobei jedoch ein Teil weggelassen ist;

Figuren 15a und 15b eine Draufsicht teilweise im Schnitt bzw. eine Seitenansicht teilweise im Schnitt von einem Isolierteil, das bspw. in dem Plasmabrenner der Figuren 6 bis 9 eingesetzt ist bzw. eingesetzt werden kann;

Figuren 16a und 16b eine Draufsicht teilweise im Schnitt bzw. eine Seitenansicht teilweise im Schnitt von einem Isolierteil, das bspw. in dem Plasmabrenner der Figuren 6 bis 9 eingesetzt ist bzw. eingesetzt werden kann;

Figuren 17a und 17b eine Draufsicht teilweise im Schnitt bzw. eine Seitenansicht teilweise im Schnitt von einem Isolierteil, das bspw. in dem Plasmabrenner der Figuren 6 bis 9 eingesetzt ist bzw. eingesetzt

werden kann;

Figuren 18a bis 18d eine Draufsicht teilweise im Schnitt sowie geschnittene Seitenansichten von einem Isolierteil gemäß einer weiteren besonderen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

Figuren 19a bis 19d Schnittansichten von einer Anordnung aus einer Düse und einem Isolierteil gemäß einer besonderen Ausführungsform der Erfindung;

Figuren 20a bis 20d Schnittansichten von einer Anordnung aus einer Düsenkappe und einem Isolierteil gemäß einer besonderen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

Figuren 21a bis 21d Schnittansichten von einer Anordnung aus einer Düsenschutzkappe und einem Isolierteil gemäß einer besonderen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

Figuren 22a und 22b Teilschnittansichten einer Anordnung aus einer Elektrode und einem Isolierteil gemäß einer besonderen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung; und

Figur 23 eine Seitenansicht teilweise im Längsschnitt von einer Anordnung aus einer Elektrode und einem Isolierteil gemäß einer besonderen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

[0052] Figur 1 zeigt einen flüssigkeitsgeköhlten Plasmaschneidbrenner 1 gemäß einer besonderen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung. Er umfasst eine Elektrode 2, ein als ein Plasmagasführungsteil 3 ausgebildetes Isolierteil zum Führen von Plasmagas PG und eine Düse 4. Die Elektrode 2 besteht aus einem Elektrodenhalter 2.1 und einem Emissionseinsatz 2.2. Der Elektrodenhalter 2.2 besteht aus einem elektrisch gut und Wärme gut leitenden Material, hier aus einem Metall, zum Beispiel Kupfer, Silber, Aluminium oder einer Legierung, in der zumindest eines dieser Metalle enthalten ist. Der Emissionseinsatz 2.2 ist aus einem Material hergestellt, das eine hohe Schmelztemperatur ($> 2000^{\circ}\text{C}$) aufweist. Hier eignen sich beim Einsatz nicht oxidierender Plasmagase (bspw. Argon, Wasserstoff, Stickstoff, Helium und Gemische derselben) bspw. Wolfram und beim Einsatz oxidierender Gase (bspw. Sauerstoff, Luft, Gemische derselben, Stickstoff-Sauerstoff-Gemisch) bspw. Hafnium oder Zirkonium. Der Emissionseinsatz 2.2 ist in den Elektrodenhalter 2.1 eingebracht. Die Elektrode 2 ist hier als Flachelektrode dargestellt, bei der der Emissionseinsatz 2.2 nicht über die Oberfläche des vorderen Endes des Elektrodenhalters 2.1 hinausragt.

[0053] Die Elektrode 2 ragt in den hohlen Innenraum 4.2 der Düse 4 hinein. Die Düse ist mit einem Gewinde 4.20 in eine Düsenhalterung 6 mit Innengewinde 6.20 eingeschraubt. Zwischen der Düse 4 und der Elektrode

2 ist das Plasmagasführungsteil 3 angeordnet. In dem Plasmagasführungsteil 3 befinden sich Bohrungen, Öffnungen, Nuten und/oder Aussparungen (nicht dargestellt), durch die das Plasmagas PG strömt. Durch eine entsprechende Anordnung, zum Beispiel mit einem radialen Versatz und/oder einer Neigung zur Mittellinie M radial angeordnete Bohrungen kann das Plasmagas PG in Rotation versetzt werden. Es dient der Stabilisierung des Lichtbogens bzw. des Plasmastrahls.

[0054] Der Lichtbogen brennt zwischen dem Emissionseinsatz 2.2 und einem Werkstück (nicht dargestellt) und wird durch eine Düsenbohrung 4.1 eingeschnürt. Der Lichtbogen selbst hat schon eine hohe Temperatur, die durch seine Einschnürung noch erhöht wird. Dabei werden Temperaturen von bis zu 30000 K angegeben. Deshalb werden die Elektrode 2 und die Düse 4 mit einem Kühlmedium gekühlt. Als Kühlmedium kann eine Flüssigkeit, im einfachsten Fall Wasser, ein Gas, im einfachsten Fall Luft oder ein Gemisch daraus, im einfachsten Fall ein Luft-Wasser-Gemisch, das als Aerosol bezeichnet wird, eingesetzt werden. Die Flüssigkeitskühlung gilt als die effektivste. In einem Innenraum 2.10 der Elektrode 2 befindet sich ein Kühlrohr 10, durch das das Kühlmittel vom Kühlmittelvorlauf WV2 durch den Kühlmittelraum 10.10 zur Elektrode 2 hin in die Nähe des Emissionseinsatzes 2.2 und durch den Raum, der von der Außenfläche des Kühlrohrs 10 in der Innenfläche der Elektrode 2 gebildet wird, zum Kühlmittelrücklauf WR2 zurückgeführt wird.

[0055] Die Düse 4 wird in diesem Beispiel indirekt über die Düsenhalterung 6, zu der das Kühlmittel durch einen Kühlmittelraum 6.10 (WV1) und über einen Kühlmittelraum 6.11 wieder weggeführt wird (WR1), gekühlt. Das Kühlmittel strömt meist mit einem Volumenstrom von 1 bis 10 l/min. Die Düse 4 und die Düsenhalterung 6 bestehen aus einem Metall. Durch den mit Hilfe des Außengewindes 4.20 der Düse 4 und des Innengewindes 6.20 der Düsenhalterung 6 gebildeten mechanischen Kontakt wird die in der Düse 4 entstehende Wärme in die Düsenhalterung 6 geführt und durch das strömende Kühlmedium (WV1, WR1) abgeführt.

[0056] Das als Plasmagasführungsteil 3 ausgebildete Isolierteil ist in diesem Beispiel einteilig ausgebildet und besteht aus einem elektrisch nicht leitenden und Wärme gut leitenden Material. Durch Einsatz eines solchen Isolierteils wird eine elektrische Isolierung zwischen der Elektrode 2 und der Düse 4 erreicht. Dies ist für den Betrieb des Plasmaschneidbrenners 1, nämlich die Hochspannungszündung und das Betreiben eines zwischen der Elektrode 2 und der Düse 4 brennenden Pilotlichtbogens notwendig. Gleichzeitig wird Wärme zwischen der Elektrode 2 und der Düse 4 vom wärmeren zum kälteren Bauteil hin über das Wärme gut leitende als Plasmagasführungsteil 3 ausgebildete Isolierteil geleitet. Es erfolgt also ein zusätzlicher Wärmeaustausch über das Isolierteil. Das Plasmagasführungsteil 3 steht mit der Elektrode 2 und der Düse 4 durch Berührung über Kontaktflächen in Kontakt.

[0057] In diesem Ausführungsbeispiel ist eine Kontaktfläche 2.3 beispielhaft eine zylindrische Außenfläche der Elektrode 2 und eine Kontaktfläche 3.5 eine zylindrische Innenfläche des Plasmagasführungsteils 3. Eine Kontaktfläche 3.6 ist eine zylindrische Außenfläche des Plasmagasführungsteils 3 und eine Kontaktfläche 4.3 ist eine zylindrische Innenfläche der Düse 4. Vorzugsweise wird hier eine Spielpassung mit geringem Spiel, zum Beispiel H7/h6 nach DIN EN ISO 286 zwischen den zylindrischen Innen- und Außenflächen genutzt, um einerseits das ineinanderstecken und andererseits einen guten Kontakt und damit geringen Wärmewiderstand und damit guten Wärmeübergang zu realisieren. Der Wärmeübergang kann durch Aufbringen von Wärmeleitpaste an diesen Kontaktflächen verbessert werden. (Anmerkung: Auch wenn eine Wärmeleitpaste eingesetzt wird, soll dies auch noch unter den Begriff "direkter Kontakt" fallen.) Dann kann eine Passung mit einem größeren Spiel, zum Beispiel H7/g6 verwendet werden. Weiterhin verfügen die Düse 4 und das Plasmagasführungsteil 3 hier jeweils über eine Kontaktfläche 4.5 und 3.7, die hier Kreisringflächen sind und miteinander durch Berührung in Kontakt stehen. Es handelt sich dabei um eine kraftschlüssige Verbindung zwischen den Kreisringflächen, die durch das Einschrauben der Düse 4 in die Düsenhalterung 6 realisiert wird.

[0058] Durch die gute Wärmeleitfähigkeit können hohe Temperaturdifferenzen zwischen der Düse 4 und der Elektrode 2 vermieden und dadurch verursachte mechanische Spannungen im Plasmaschneidbrenner 1 reduziert werden.

[0059] Als elektrisch nicht leitendes und Wärme gut leitendes Material ist hier beispielhaft ein Keramikwerkstoff eingesetzt. Besonders eignet sich Aluminiumnitrid, das nach DIN 60672 eine sehr gute Wärmeleitfähigkeit (ca. 180 W/(m*K) und einen hohen spezifischen elektrischen Widerstand (ca. $10^{12} \Omega \cdot \text{cm}$) besitzt.

[0060] In Figur 2 ist ein zylindrischer Plasmaschneidbrenner 1 gezeigt, in dem die Elektrode 2 direkt mit Kühlmittel gekühlt wird. Die in der Figur 2 gezeigte indirekte Kühlung der Düse 4 über die Düsenhalterung 6 ist nicht vorhanden. Die Kühlung der Düse 4 erfolgt durch Wärmeleitung über ein als ein Plasmagasführungsteil 3 ausgebildetes Isolierteil zur direkt mit Kühlmittel gekühlten Elektrode 2 hin. Durch Einsatz eines solchen Isolierteils wird die elektrische Isolierung zwischen der Elektrode 2 und der Düse 4 erreicht. Dies ist für den Betrieb des Plasmaschneidbrenners 1, nämlich die Hochspannungszündung und das Betreiben des zwischen der Elektrode 2 und der Düse 4 brennenden Pilotlichtbogens notwendig. Gleichzeitig wird Wärme zwischen der Elektrode 2 und der Düse 4 vom wärmeren zum kälteren Bauteil hin über das Wärme gut leitende als Plasmagasführungsteil 3 ausgebildete Isolierteil geleitet. Es erfolgt also ein zusätzlicher Wärmeaustausch über das Plasmagasführungsteil 3 zwischen der Elektrode 2 und der Düse 4. Das Plasmagasführungsteil 3 steht mit der Elektrode und der Düse 4 durch Berührung über Kontaktflächen in Kon-

takt.

[0061] In diesem Ausführungsbeispiel ist eine Kontaktfläche 2.3 beispielhaft eine zylindrische Außenfläche der Elektrode 2 und eine Kontaktfläche 3.5 eine zylindrische Innenfläche des Plasmagasführungsteils 3. Eine Kontaktfläche 3.6 ist eine zylindrische Außenfläche des Plasmagasführungsteils 3 und eine Kontaktfläche 4.3 ist eine zylindrische Innenfläche der Düse 4. Vorzugsweise wird hier eine Spielpassung mit geringem Spiel, zum Beispiel H7/h6 nach DIN EN ISO 286 zwischen den zylindrischen Innen- und Außenflächen benutzt, um einerseits das Ineinanderstecken und andererseits einen guten Kontakt und damit geringen Wärmewiderstand und damit guten Wärmeübergang zu realisieren. Der Wärmeübergang kann durch Aufbringen von Wärmeleitpaste an diesen Kontaktflächen verbessert werden. Dann kann eine Passung mit einem größeren Spiel, zum Beispiel H7/g6 verwendet werden. Weiterhin verfügen die Düse 4 und das Plasmagasführungsteil 3 hier jeweils über eine Kontaktfläche 4.5 bzw. 3.7, die hier Kreisringflächen sind und miteinander durch Berührung in Kontakt stehen. Es handelt sich dabei um eine kraftschlüssige Verbindung zwischen den Kreisringflächen, die durch das Einschrauben der Düse 4 in die Düsenhalterung 6 realisiert wird.

[0062] Der Wegfall der indirekten Kühlung für die Düse 4 führt zu einer erheblichen Vereinfachung des Aufbaus des Plasmaschneidbrenners 1, da die Kühlmittelräume der Düsenhalterung 6, die sonst notwendig sind, um das Kühlmittel hin- und wieder wegzuführen, entfallen. Die Kühlung der Elektrode erfolgt wie in Figur 1.

[0063] In der Figur 3 ist ein Plasmaschneidbrenner 1 gezeigt, in dem eine Düse 4 indirekt über eine Düsenhalterung 6, zu der das Kühlmittel durch einen Kühlmittelraum 6.10 hin (WV1) und über einen Kühlmittelraum 6.11 wieder weggeführt wird (WR1), gekühlt wird. Die in den Figuren 1 und 2 gezeigte direkte Kühlung der Elektrode 2 ist nicht vorgesehen. Die Wärmeleitung von der Elektrode 2 zur Düse 4 erfolgt über ein als ein Plasmagasführungsteil 3 ausgebildetes Isolierteil zur indirekten kühlmittelgeköhlten Düse 4. Diesbezüglich gelten die Ausführungen zu den Figuren 1 und 2.

[0064] Dies führt zu einer erheblichen Vereinfachung des Aufbaus des Plasmabrenners 1 und der Elektrode 2, da das in den Figuren 1 und 2 gezeigte Kühlrohr 10 und die Kühlmittelräume 2.10 und 10.10 entfallen, die sonst notwendig sind, um die Kühlflüssigkeit hin- (WV2) und wieder wegzuführen (WR2).

[0065] Der in der Figur 4 dargestellte Plasmaschneidbrenner 1 unterscheidet sich von dem in der Figur 1 dargestellten Plasmaschneidbrenner darin, dass die Düse 4 direkt mit einem Kühlmittel gekühlt wird. Dazu wird die Düse 4 durch eine Düsenkappe 5 fixiert. Ein Innengewinde 5.20 der Düsenkappe 5 ist mit einem Außengewinde 6.21 einer Düsenhalterung 6 verschraubt. Die Außenfläche der Düse 4 und eines Teils der Düsenhalterung 6 sowie die Innenfläche der Düsenkappe 5 bilden einen Kühlmittelraum 4.10, durch den das Kühlmittel, welches durch Kühlmittelräume 6.10 und 6.11 der Dü-

senhalterung 6 hin (WV1) und zurück (WR1) strömt.

[0066] Zwischen der Düse 4 und einer Elektrode 2 ist ein als ein Plasmagasführungsteil 3 ausgebildetes Isolierteil angeordnet. Damit werden die gleichen Vorteile erreicht, wie sie im Zusammenhang mit der Figur 1 erläutert sind. Die Wärme wird zwischen der Elektrode 2 und der Düse 4 vom wärmeren zum kälteren Bauteil hin über das Wärme gut leitende als Plasmagasführungsteil 3 ausgebildete Isolierteil übertragen. Das Plasmagasführungsteil 3 steht mit der Elektrode 2 und der Düse 4 durch Berührung in Kontakt. So können durch hohe Temperaturdifferenzen verursachte mechanische Spannungen im Plasmaschneidbrenner 1 reduziert werden.

[0067] Ein Vorteil gegenüber dem in Fig. 1 gezeigten Plasmaschneidbrenner besteht darin, dass die direkt kühlmittelgeköhlte Düse 4 besser gekühlt wird als die indirekt gekühlte. Da das Kühlmittel in dieser Anordnung bis in die Nähe der Düsenspitze und einer Düsenbohrung 4.1 strömt, wo die größte Erwärmung der Düse erfolgt, ist der Kühleffekt besonders groß. Die Abdichtung des Kühlmittelraums erfolgt durch Rundringe zwischen der Düsenkappe 5 und der Düse 4, der Düsenkappe 5 und der Düsenhalterung 6 sowie der Düse 4 und der Düsenhalterung 6.

[0068] Auch die Düsenkappe 5 wird durch das Kühlmittel, das durch den Kühlmittelraum 4.10 fließt, der durch die Außenfläche der Düse 4 und die Innenfläche der Düsenkappe 5 gebildet wird, gekühlt. Die Erwärmung der Düsenkappe 5 erfolgt vor allem durch die Strahlung des Lichtbogens bzw. des Plasmastrahls und des erhitzten Werkstücks.

[0069] Allerdings ist der Aufbau des Plasmaschneidbrenners 1 komplizierter, da zusätzlich eine Düsenkappe 5 benötigt wird. Als Kühlmittel wird hier vorzugsweise eine Flüssigkeit, im einfachsten Fall Wasser, verwendet.

[0070] Figur 5 zeigt einen Plasmaschneidbrenner 1, der dem Plasmaschneidbrenner von Figur 1 ähnelt, bei dem jedoch zusätzlich außerhalb der Düse 4 eine Düsenschutzkappe 8 angeordnet ist. Bohrungen 4.1 der Düse 4 und 8.1 der Düsenschutzkappe 8 liegen auf einer Mittellinie M. Die Innenflächen der Düsenschutzkappe 8 und einer Düsenschutzkappenhalterung 9 bilden mit den Außenflächen der Düse 4 und der Düsenhalterung 6 Räume 8.10 und 9.10, durch die ein Sekundärgas SG strömt. Dieses Sekundärgas tritt aus der Bohrung der Düsenschutzkappe 8.1 aus und umhüllt den Plasmastrahl (nicht dargestellt) und sorgt für eine definierte Atmosphäre um diesen. Zusätzlich schützt das Sekundärgas SG die Düse 4 und die Düsenschutzkappe 8 vor Lichtbögen, die sich zwischen ihnen und dem Werkstück ausbilden können. Diese werden als Doppellichtbögen bezeichnet und können zur Beschädigung der Düse 4 führen. Insbesondere beim Einstechen in das Werkstück werden die Düse 4 und die Düsenschutzkappe 8 durch heißes aufgeschmolzenes hochspritzendes Material stark belastet. Das Sekundärgas SG, dessen Volumenstrom beim Einstechen gegenüber dem Wert beim Schneiden erhöht sein kann, hält das hochspritzende

Material von der Düse 4 und der Düsenschutzkappe 8 fern und schützt so vor Beschädigung.

[0071] Für die Kühlung der Elektrode 2 und der Düse 4 gelten die zum Plasmaschneidbrenner 1 gemäß Figur 1 gemachten Aussagen. Grundsätzlich sind auch bei einem Plasmaschneidbrenner 1 mit Sekundärgas die direkte Kühlung nur der Elektrode 2 - wie in Figur 2 gezeigt, und die indirekte Kühlung nur der Düse 4 - wie in Figur 3 gezeigt - möglich. Es gelten auch die dafür gemachten Aussagen.

[0072] Bei dem in Figur 5 gezeigten Plasmaschneidbrenner 1 muss zusätzlich zur Elektrode 2 und Düse 4 noch die Düsenschutzkappe 8 gekühlt werden. Die Erwärmung der Düsenschutzkappe 8 erfolgt insbesondere durch die Strahlung des Lichtbogens bzw. des Plasmastrahls und des erhitzten Werkstücks. Besonders beim Einstechen in das Werkstück wird die Düsenschutzkappe 8 durch hochspritzendes glühendes Material thermisch stark belastet und aufgeheizt und muss gekühlt werden. Deshalb werden dafür gut Wärme und elektrisch gut leitende Werkstoffe, in der Regel Metalle, wie zum Beispiel Silber, Kupfer, Aluminium, Zinn, Zink, Eisen, legierter Stahl oder eine metallische Legierung (z. B. Messing), in der diese Metalle einzeln oder in Summe zumindest zu 50 % enthalten sind, verwendet.

[0073] Das Sekundärgas SG strömt zunächst durch den Plasmaschneidbrenner 1, bevor es durch einen ersten Raum 9.10 gelangt, der von den Innenflächen der Düsenschutzkappenhalterung 9 und der Düsenschutzkappe 8 sowie den Außenflächen der Düsenhalterung 6 und der Düse 4 gebildet wird. Der erste Raum 9.10 wird außerdem durch ein als ein Sekundärgasführungsteil 7 ausgebildetes Isolierstück, das sich zwischen der Düse 4 und der Düsenschutzkappe 8 befindet, begrenzt. Das Sekundärgasführungsteil 7 kann mehrteilig ausgebildet sein.

[0074] In dem Sekundärgasführungsteil 7 befinden sich Bohrungen 7.1. Es können aber auch Öffnungen, Nuten oder Aussparungen sein, durch die das Sekundärgas SG strömt. Durch eine entsprechende Anordnung der Bohrungen 7.1, zum Beispiel mit einem radialen Versatz und/oder einer Neigung zur Mittellinie M radial angeordnet, kann das Sekundärgas in Rotation versetzt werden. Dies dient der Stabilisierung des Lichtbogens bzw. des Plasmastrahls.

[0075] Nach dem Passieren des Sekundärgasführungsteils 7 strömt das Sekundärgas in einen Innenraum 8.10, der durch die Innenfläche der Düsenschutzkappe 8 und die Außenfläche der Düse 4 gebildet wird, und tritt danach aus der Bohrung 8.1 der Düsenschutzkappe 8 aus. Bei brennendem Lichtbogen bzw. Plasmastrahl trifft das Sekundärgas auf diesen und kann ihn beeinflussen.

[0076] Die Düsenschutzkappe 8 wird meist nur durch das Sekundärgas SG gekühlt. Die Gaskühlung hat den Nachteil, dass sie nicht effektiv und der benötigte Gasvolumenstrom sehr hoch ist, um eine akzeptable Kühlung oder Wärmeabfuhr zu erreichen. Hier sind oft Gasvolumenströme von 5.000 bis 11.000 l/h nötig. Gleichzeitig

muss der Volumenstrom des Sekundärgases so gewählt werden, dass die besten Schneidergebnisse erreicht werden. Zu große Volumenströme, die für die Kühlung aber notwendig sind, verschlechtern oft das Schnittergebnis.

[0077] Zudem ist der durch große Volumenströme verursachte hohe Gasverbrauch unwirtschaftlich. Dies gilt besonders dann, wenn andere Gase als Luft, also bspw. Argon, Stickstoff, Wasserstoff, Sauerstoff oder Helium verwendet werden.

[0078] Diese Nachteile werden durch den Einsatz des als das Sekundärgasführungsteil 7 ausgebildeten Isolierstücks beseitigt. Durch Einsatz eines solchen Isolierstücks wird eine elektrische Isolierung zwischen der Düsenschutzkappe 8 und der Düse 4 erreicht. Die elektrische Isolierung schützt in Kombination mit dem Sekundärgas SG die Düse 4 und die Düsenschutzkappe 8 vor Lichtbögen, die sich zwischen ihnen und dem Werkstück ausbilden können. Diese werden als Doppellichtbögen bezeichnet und können zur Beschädigung der Düse 4 oder der Düsenschutzkappe 8 führen.

[0079] Gleichzeitig wird Wärme zwischen der Düsenschutzkappe 8 und der Düse 4 vom wärmeren zum kälteren Bauteil hin, in diesem Fall von der Düsenschutzkappe 8 zur Düse 4, über das Wärme gut leitende, als Sekundärgasführungsteil 7 ausgebildete Isolierstück übertragen. Das Sekundärgasführungsteil 7 steht mit der Düsenschutzkappe 8 und der Düse 4 durch Berührung in Kontakt. Dies erfolgt in diesem Ausführungsbeispiel über kreisringförmige Flächen 8.2 der Düsenschutzkappe 8 und 7.4 des Sekundärgasführungsteils 7 sowie die kreisringförmigen Flächen 7.5 des Sekundärgasführungsteils 7 und 4.4 der Düse 4. Es handelt sich um kraftschlüssige Verbindungen, wobei die Düsenschutzkappe 8 mit Hilfe der Düsenschutzkappenhalterung 9, die mit einem Innengewinde 9.20 an einem Außengewinde 11.20 eine Aufnahme 11 verschraubt ist. So wird diese nach oben gegen das Sekundärgasführungsteil 7 und diese gegen die Düse 4 gepresst.

[0080] Auf diese Art wird die Wärme von der Düsenschutzkappe 8 hin zur Düse 4 hin geleitet und damit gekühlt. Die Düse 4 wiederum wird, wie in der Beschreibung zur Figur 1 erläutert, indirekt gekühlt.

[0081] Fig. 6 zeigt den Aufbau eines Plasmaschneidbrenners 1 wie in Fig. 4, bei dem jedoch zusätzlich außerhalb der Düsenkappe 5 eine Düsenschutzkappe 8 angeordnet ist.

[0082] Bohrungen 4.1 der Düse 4 und 8.1 der Düsenschutzkappe 8 liegen auf einer Mittellinie M. Die Innenflächen der Düsenschutzkappe 8 und der Düsenschutzkappenhalterung 9 bilden mit den Außenflächen der Düsenkappe 5 und der Düse 4 Räume 8.10 bzw. 9.10, durch die ein Sekundärgas SG strömen kann. Das Sekundärgas tritt aus der Bohrung 8.1 der Düsenschutzkappe 8 aus, umhüllt den Plasmastrahl (nicht dargestellt) und sorgt für eine definierte Atmosphäre um selbigen. Zusätzlich schützt das Sekundärgas SG die Düse 4, Düsenkappe 5 und die Düsenschutzkappe 8 vor Lichtbö-

gen, die sich zwischen ihnen und einem Werkstück (nicht gezeigt) ausbilden können. Diese werden als Doppellichtbögen bezeichnet und können zur Beschädigung der Düse 4, der Düsenkappe 5 und der Düsenschutzkappe 8 führen. Insbesondere beim Einstechen in ein Werkstück werden die Düse 4, die Düsenkappe 5 und die Düsenschutzkappe 8 durch heißes hochspritzendes Material stark belastet. Das Sekundärgas SG, dessen Volumenstrom beim Einstechen gegenüber dem Wert beim Schneiden erhöht sein kann, hält das hochspritzende Material von der Düse 4, der Düsenkappe 5 und der Düsenschutzkappe 8 fern und schützt so vor Beschädigung. **[0083]** Für die Kühlung der Elektrode 2, der Düse 4 und der Düsenkappe 5 gelten die in der Beschreibung der Fig. 4 gemachten Aussagen.

[0084] Die Erwärmung der Düsenschutzkappe 8 erfolgt insbesondere durch die Strahlung des Lichtbogens bzw. des Plasmastrahls und des erhitzten Werkstücks. Besonders beim Einstechen in das Werkstück wird die Düsenschutzkappe 8 durch hochspritzendes glühendes Material thermisch stark belastet und aufgeheizt und muss gekühlt werden. Deshalb werden dafür gut Wärme und elektrisch gut leitende Materialien, in der Regel Metalle, zum Beispiel Kupfer, Aluminium, Zinn, Zink, Eisen oder Legierungen, in denen zumindest eines dieser Metalle enthalten ist, verwendet.

[0085] Das Sekundärgas SG strömt zunächst durch den Plasmabrenner 1, bevor es durch einen Raum 9.10, der von den Innenflächen der Düsenschutzkappenhalterung 9 und der Düsenschutzkappe 8 sowie den Außenflächen einer Düsenhalterung 6 und der Düsenkappe 5 gebildet wird, gelangt. Der Raum 9.10 wird außerdem durch ein als Sekundärgasführungsteil 7 für das Sekundärgas SG ausgebildetes Isolierteil, das sich zwischen der Düsenkappe 5 und der Düsenschutzkappe 8 befindet, begrenzt.

[0086] In dem Sekundärgasführungsteil 7 befinden sich Bohrungen 7.1. Es können aber auch Öffnungen, Nuten oder Aussparungen sein, durch die das Sekundärgas SG strömt. Durch eine entsprechende Anordnung dieser, zum Beispiel einen radialen Versatz aufweisenden und/oder mit einer Neigung zur Mittellinie M radial angeordneten Bohrungen 7.1 kann das Sekundärgas SG in Rotation versetzt werden. Dies dient der Stabilisierung des Lichtbogens bzw. des Plasmastrahls.

[0087] Nach dem Passieren des Sekundärgasführungsteils 7 strömt das Sekundärgas SG in den Raum (Innenraum) 8.10, der durch die Innenfläche der Düsenschutzkappe 8 und die Außenfläche der Düsenkappe 5 und der Düse 4 gebildet wird, und tritt danach aus der Bohrung 8.1 der Düsenschutzkappe 8 aus. Bei brennendem Lichtbogen bzw. Plasmastrahl trifft das Sekundärgas SG auf diesen und kann ihn beeinflussen.

[0088] Die Düsenschutzkappe 8 wird meist nur durch das Sekundärgas SG gekühlt. Die Gaskühlung hat den Nachteil, dass sie nicht effektiv und der benötigte Gasvolumenstrom sehr hoch ist, um eine akzeptable Kühlung oder Wärmeabfuhr zu erreichen. Hier sind oft Gasvolu-

menströme von 5.000 bis 11.000 l/h nötig. Gleichzeitig muss der Volumenstrom des Sekundärgases so gewählt werden, dass die besten Schneidergebnisse erreicht werden. Zu große Volumenströme, die für die Kühlung aber notwendig sind, verschlechtern oft das Schnittergebnis. Zudem ist der durch große Volumenströme verursachte hohe Gasverbrauch unwirtschaftlich. Dies gilt besonders dann, wenn andere Gase als Luft, also beispielsweise Argon, Stickstoff, Wasserstoff, Sauerstoff oder Helium verwendet werden. Diese Nachteile werden durch den Einsatz des als Sekundärgasführungsteil 7 ausgebildeten Isolierteils beseitigt. Durch Einsatz eines solchen Isolierteils wird die elektrische Isolierung zwischen der Düsenschutzkappe 8 und der Düsenkappe 5 und damit auch der Düse 4 erreicht. Die elektrische Isolierung schützt in Kombination mit dem Sekundärgas SG die Düse 4, die Düsenkappe 5 und die Düsenschutzkappe 8 vor Lichtbögen, die sich zwischen ihnen und einem Werkstück (nicht gezeigt) ausbilden können. Diese werden als Doppellichtbögen bezeichnet und können zur Beschädigung der Düse, Düsenkappe und Düsenschutzkappe führen.

[0089] Gleichzeitig wird Wärme zwischen der Düsenschutzkappe 8 und Düsenkappe 5 vom wärmeren zum kälteren Bauteil hin, in diesem Fall von der Düsenschutzkappe 8 zur Düsenkappe 5, über das Wärme gut leitende, als Sekundärgasführungsteil 7 ausgebildete Isolierteil übertragen. Das Sekundärgasführungsteil 7 steht mit der Düsenschutzkappe 8 und der Düsenkappe 5 durch Berührung in Kontakt. Dies erfolgt in diesem Ausführungsbeispiel durch kreisringförmige Flächen 8.2 der Düsenschutzkappe 8 und 7.4 des Sekundärgasführungsteils 7 sowie die kreisringförmigen Flächen 7.5 des Sekundärgasführungsteil 7 und 5.3 der Düsenkappe 5. Es handelt sich in diesem Beispiel um kraftschlüssige Verbindungen, wobei die Düsenschutzkappe 8 mit Hilfe der Düsenschutzkappenhalterung 9 mit einem Innengewinde 9.20 an einem Außengewinde 11.20 einer Aufnahme 11 verschraubt ist. So wird diese nach oben gegen das Sekundärgasführungsteil 7 für das Sekundärgas SG und diese gegen die Düsenkappe 5 gepresst. Auf diese Art wird die Wärme von der Düsenschutzkappe 8 hin zur Düsenkappe 5 geleitet und damit gekühlt. Die Düsenkappe 5 wiederum wird, wie in der Beschreibung der Fig. 4 erläutert, gekühlt.

[0090] Fig. 7 zeigt einen Plasmaschneidbrenner 1, für den die zur Ausführungsform gemäß der Fig. 6 gemachten Aussagen zutreffen. Zusätzlich ist die Düsenschutzkappenhalterung 9 mit ihrem Innengewinde 9.20 am Außengewinde 11.20 der Aufnahme 11, die als ein Isolierteil gestaltet ist, verschraubt. Die Aufnahme 11 besteht aus einem elektrisch nicht leitenden und Wärme gut leitenden Material. So wird Wärme von der Düsenschutzkappenhalterung 9, die diese zum Beispiel von der Düsenschutzkappe 8, von einem heißen Werkstück oder der Lichtbogenstrahlung erhalten kann, über das Innengewinde 9.20 und das Außengewinde 11.20 auf die Aufnahme 11 übertragen. Die Aufnahme 11 weist Kühlmitteldurchläs-

se 11.10 und 11.11 für den Kühlmittelvor- (WV1) und Kühlmittelrücklauf (WR1) auf, die hier als Bohrungen ausgeführt sind. Durch diese strömt das Kühlmittel und kühlt so die Aufnahme 11. Damit wird die Kühlung der Düsenschutzkappenhalterung 9 weiter verbessert. Die Wärme wird von der Düsenschutzkappe 8 über deren als Kreisringfläche ausgebildete Kontaktfläche 8.3 auf eine ebenfalls als Kreisringfläche ausgebildete Kontaktfläche 9.1 auf die Düsenschutzkappenhalterung 9 übertragen. Die Kontaktflächen 8.3 und 9.1 berühren sich in diesem Beispiel kraftschlüssig, wobei die Düsenschutzkappe 8 mit Hilfe der Düsenschutzkappenhalterung 9 mit dem Innengewinde 9.20 am Außengewinde 11.20 der Aufnahme 11 verschraubt ist. So wird diese nach oben gegen das Sekundärgasführungsteil 7 und die Düsenschutzkappenhalterung 9 gegen die Düsenschutzkappe 8 gepresst. Im vorliegenden Beispiel ist die Aufnahme 11 aus Keramik hergestellt. Besonders eignet sich Aluminiumnitrid, das eine sehr gute Wärmeleitfähigkeit (ca. $180 \text{ W/(m}^{\circ}\text{K)}$) und einen hohen spezifischen elektrischen Widerstand (ca. $10^{12} \Omega\cdot\text{cm}$) besitzt.

[0091] Kühlmittel wird gleichzeitig durch Kühlmittelräume 6.10 und 6.11 der Düsenhalterung 6 zur Düse 4 und Düsenkappe 5 geführt und kühlt diese.

[0092] Fig. 8 zeigt eine Ausführungsform einen Plasmabrenners 1, die derjenigen der Fig. 7 ähnelt. Damit gelten grundsätzlich auch die für die Ausführungsformen gemäß den Fig. 6 und 7 gemachten Aussagen. Sie enthält jedoch eine andere Ausführungsform des als Aufnahme 11 für die Düsenschutzkappenhalterung 9 ausgeführten Isolierteils. Die Aufnahme 11 besteht in diesem Beispiel aus zwei Teilen, wobei ein äußerer Teil 11.1 aus einem elektrisch nicht leitenden und Wärme gut leitenden Material und ein inneres Teil 11.2 aus einem elektrisch gut leitenden und Wärme gut leitenden Material besteht.

[0093] Die Düsenschutzkappenhalterung 9 ist mit ihrem Innengewinde 9.20 am Außengewinde 11.20 des Teils 11.1 der Aufnahme 11 verschraubt.

[0094] Das elektrisch nicht leitende und Wärme gut leitende Material ist aus Keramik, beispielsweise Aluminiumnitrid, das eine sehr gute Wärmeleitfähigkeit (ca. $180 \text{ W/(m}^{\circ}\text{K)}$) und einen hohen spezifischen elektrischen Widerstand ca. $10^{12} \Omega\cdot\text{cm}$ besitzt, hergestellt. Das elektrisch gut leitende und Wärme gut leitende Material ist hier ein Metall, zum Beispiel Kupfer, Aluminium, Zinn, Zink, legierter Stahl oder Legierungen (zum Beispiel Messing), in denen zumindest eines dieser Metalle enthalten ist.

[0095] Generell ist von Vorteil, wenn das elektrisch gut leitende und Wärme gut leitende Material eine Wärmeleitfähigkeit von mindestens $40 \text{ W/(m}^{\circ}\text{K)}$ und einen spezifischen elektrischen Widerstand von höchstens $0,01 \Omega\cdot\text{cm}$ hat. Insbesondere kann dabei vorgesehen sein, dass das elektrisch gut leitende und Wärme gut leitende Material eine Wärmeleitfähigkeit von mindestens $60 \text{ W/(m}^{\circ}\text{K)}$, besser mindestens $90 \text{ W/(m}^{\circ}\text{K)}$ und vorzugsweise $120 \text{ W/(m}^{\circ}\text{K)}$ hat. Noch bevorzugter weist das elektrisch gut leitende und Wärme gut leitende Material

eine Wärmeleitfähigkeit von mindestens $150 \text{ W/(m}^{\circ}\text{K)}$, besser mindestens $200 \text{ W/(m}^{\circ}\text{K)}$ und vorzugsweise mindestens $300 \text{ W/(m}^{\circ}\text{K)}$ auf. Alternativ oder zusätzlich kann vorgesehen sein, dass das elektrisch gut leitende und Wärme gut leitende Material ein Metall, wie zum Beispiel Silber, Kupfer, Aluminium, Zinn, Zink, Eisen, legierter Stahl oder eine metallische Legierung (z. B. Messing) ist, in der diese Metalle einzeln oder in Summe zumindest zu 50 % enthalten sind.

[0096] Die Verwendung von zwei unterschiedlichen Materialien hat den Vorteil, dass für das kompliziertere Teil, in dem unterschiedliche Formen benötigt werden, beispielsweise unterschiedliche Bohrungen, Aussparungen, Nuten, Öffnungen etc., das Material verwendet werden kann, das einfacher und kostengünstiger bearbeitet werden kann. In diesem Ausführungsbeispiel ist dies ein Metall, das einfacher als Keramik bearbeitet werden kann. Beide Teile (11.1 und 11.2) sind kraftschlüssig durch Ineinanderpressen miteinander berührend verbunden, wodurch ein guter Wärmeübergang zwischen den zylindrischen Kontaktflächen 11.5 und 11.6 der beiden Teile 11.1 und 11.2 erreicht wird. Das Teil 11.2 der Aufnahme 11. hat Kühlmitteldurchlässe 11.10 und 11.11 für den Kühlmittelvor- (WV1) und Kühlmittelrücklauf (WR1), die hier als Bohrungen ausgeführt sind. Durch diese strömt das Kühlmittel und kühlt so.

[0097] Wie sich anhand der Fig. 8 und der zugehörigen Beschreibung ergibt, betrifft die vorliegende Erfindung auch ein Isolierteil für einen Plasmabrenner, insbesondere einen Plasmaschneidbrenner, zur elektrischen Isolation zwischen mindestens zwei elektrisch leitfähigen Bauteilen des Plasmabrenners, wobei es aus mindestens zwei Teilen besteht, wobei eines der Teile aus einem elektrisch nicht leitenden und Wärme gut leitenden Material und das andere oder ein anderes der Teile aus einem elektrisch gut leitenden und Wärme gut leitenden Material besteht.

[0098] Figur 9 zeigt eine weitere Ausführungsform eines Plasmaschneidbrenners 1 gemäß der vorliegenden Erfindung, die prinzipiell der in der Figur 8 gezeigten Ausführungsform ähnelt. Damit gelten auch die für die zu den Ausführungsformen gemäß den Figuren 6, 7 und 8 gemachten Aussagen. Es ist jedoch eine andere Ausführungsvariante des als Aufnahme 11 für die Düsenschutzkappenhalterung 9 ausgeführten Isolierteils gezeigt. Die Aufnahme 11 besteht aus zwei Teilen, wobei hier das äußere Teil 11.1 im Gegensatz zur in Figur 8 gezeigten Ausführungsform aus einem elektrisch gut leitenden und Wärme gut leitenden Material (zum Beispiel Metall) und das innere Teil 11.2 aus einem elektrisch nicht leitenden und Wärme gut leitenden Material (zum Beispiel Keramik) besteht.

[0099] Die Düsenschutzkappenhalterung 9 mit ihrem Innengewinde 9.20 ist am Außengewinde 11.20 des Teils 11.1 der Aufnahme 11 verschraubt.

[0100] Bei dieser Ausführungsform besteht der Vorteil darin, dass das Außengewinde in das metallische Material, das für das Teil 11.1 verwendet wird, eingebracht

werden kann und nicht die schwerer zu bearbeitende Keramik.

[0101] Die Figuren 10 bis 13 zeigen (weitere) unterschiedliche Ausführungsformen eines als Plasmagasführungsteil 3 für das Plasmagas PG ausgebildeten Isolierstücks, die in einem Plasmabrenner 1, wie er in den Figuren 1 bis 9 gezeigt ist, eingesetzt werden können, wobei die jeweilige Figur mit dem Buchstaben "a" einen Längsschnitt und die jeweilige Figur mit dem Buchstaben "b" eine teilweise geschnittene Seitenansicht zeigt.

[0102] Das in den Figuren 10a und 10b gezeigte Plasmagasführungsteil 3 ist aus einem elektrisch nicht leitenden und Wärme gut leitenden Material, hier beispielhaft aus Keramik, hergestellt. Besonders eignet sich Aluminiumnitrid, das eine sehr gute Wärmeleitfähigkeit (ca. $180 \text{ W}/(\text{m}^{\circ}\text{K})$) und einen hohen spezifischen elektrischen Widerstand (ca. $10^{12} \Omega \cdot \text{cm}$) besitzt. Die damit verbundenen Vorteile beim Einsatz in einem Plasmaschneidbrenner 1, wie zum Beispiel bessere Kühlung, Verringerung der mechanischen Spannungen, einfacherer Aufbau, sind bereits oben bei der Beschreibung der Figuren 1 bis 4 genannt und erläutert worden.

[0103] In dem Plasmagasführungsteil 3 befinden sich radial angeordnete Bohrungen 3.1, die bspw. radial versetzt und/oder zur Mittellinie M radial geneigt sein können und ein Plasmagas PG im Plasmaschneidbrenner rotieren lassen. Wenn das Plasmagasführungsteil 3 in den Plasmaschneidbrenner 1 eingebaut ist, steht seine Kontaktfläche 3.6 (hier zum Beispiel zylindrische Außenfläche) mit der Kontaktfläche 4.3 (hier zum Beispiel zylindrische Innenfläche) der Düse 4, ihre Kontaktfläche 3.5 (hier zum Beispiel zylindrische Innenfläche) mit der Kontaktfläche 2.3 (hier zum Beispiel zylindrische Außenfläche) der Elektrode 2 sowie ihre Kontaktfläche 3.7 (hier zum Beispiel kreisringförmige Fläche) mit der Kontaktfläche 4.5 (hier zum Beispiel kreisringförmige Fläche) der Düse 4 durch Berührung in Kontakt (Figuren 1 bis 9). In der Kontaktfläche 3.6 befinden sich Nuten 3.8. Diese leiten das Plasmagas PG zu den Bohrungen 3.1, bevor es durch diese in einen Innenraum 4.2 der Düse 4, in dem die Elektrode 2 angeordnet ist, geführt wird.

[0104] Die Figuren 11a und 11b zeigen ein Plasmagasführungsteil 3, das aus zwei Teilen besteht. Ein erstes Teil 3.2 besteht aus einem elektrisch nicht leitenden und Wärme gut leitenden Material, während ein zweites Teil 3.3 aus einem elektrisch gut leitenden und Wärme gut leitenden Material besteht.

[0105] Für das Teil 3.2 des Plasmagasführungsteils 3 wird hier beispielhaft Keramik, wiederum als Beispiel Aluminiumnitrid, das eine sehr gute Wärmeleitfähigkeit (ca. $180 \text{ W}/(\text{m}^{\circ}\text{K})$) und einen hohen spezifischen elektrischen Widerstand ($10^{12} \Omega \cdot \text{cm}$) besitzt, verwendet. Für das Teil 3.3 des Sekundärgasführungsteils 3 wird hier ein Metall, wie zum Beispiel Silber, Kupfer, Aluminium, Zinn, Zink, Eisen, legierter Stahl oder eine metallische Legierung (z. B. Messing), in der diese Metalle einzeln oder in Summe zumindest zu 50 % enthalten sind, verwendet.

[0106] Wenn für das Teil 3.3 bspw. Kupfer eingesetzt

wird, wird die Wärmeleitfähigkeit des Plasmagasführungsteils 3 größer, als wenn diese nur aus elektrisch nicht leitendem und Wärme gut leitendem Material, wie zum Beispiel Aluminiumnitrid, bestehen würde. Kupfer hat je nach Reinheit eine höhere Wärmeleitfähigkeit (max. ca. $390 \text{ W}/(\text{m}^{\circ}\text{K})$) als Aluminiumnitrid (ca. $180 \text{ W}/(\text{m}^{\circ}\text{K})$), das gegenwärtig als einer der am besten Wärme leitenden und gleichzeitig nicht elektrisch gut leitenden Werkstoff gilt. Inzwischen gibt es auch Aluminiumnitrid mit einer Wärmeleitfähigkeit von $220 \text{ W}/(\text{m}^{\circ}\text{K})$.

[0107] Dies führt durch die bessere Wärmeleitfähigkeit zu einem noch besseren Wärmeaustausch zwischen der Düse 4 und der Elektrode 2 des Plasmaschneidbrenners 1 gemäß den Figuren 1 bis 9.

[0108] Im einfachsten Fall sind die Teile 3.2 und 3.3 durch Übereinanderschieben der Kontaktflächen 3.21 und 3.31 verbunden.

[0109] Die Teile 3.2 und 3.3 können auch kraftschlüssig durch die aneinandergesetzten, sich gegenüberliegenden und berührenden Kontaktflächen 3.20 mit 3.30, 3.21 mit 3.31 und 3.22 bis 3.32 verbunden sein. Die Kontaktflächen 3.20, 3.21 und 3.22 sind Kontaktflächen des Teils 3.2 und die Kontaktflächen 3.30, 3.31 und 3.32 sind Kontaktflächen des Teils 3.3. Die zylindrisch ausgebildeten Kontaktflächen 3.31 (zylindrische Außenfläche des Teils 3.3) und 3.21 (zylindrische Innenfläche des Teils 3.2) bilden durch Ineinanderpressen eine kraftschlüssige Verbindung. Hier wird eine Übermaßpassung DIN EN ISO 286 (zum Beispiel H7/n6; H7/m6) zwischen den zylindrischen Innen- und Außenflächen angewandt.

[0110] Es besteht weiterhin die Möglichkeit, beide Teile (3.2 und 3.3) durch Formschluss, durch Lötten und/oder durch Kleben und/oder durch ein thermisches Verfahren miteinander zu verbinden.

[0111] Da die mechanische Bearbeitung des Keramikwerkstoffs meist schwieriger als diejenige eines Metalls ist, sinkt der Bearbeitungsaufwand. Hier sind beispielsweise sechs Bohrungen 3.1 in den metallischen Teil 3.3 eingebracht, die einen radialen Versatz a_1 aufweisen und im Winkel α_1 äquidistant auf dem Umfang der Plasmagasführung verteilt. Es sind auch unterschiedlichste Formen, wie zum Beispiel Nuten, Aussparungen, Bohrungen etc., einfacher herstellbar, wenn sie in das Metall eingebracht werden.

[0112] Die Figuren 12a und 12b zeigen ein Plasmagasführungsteil 3, das aus zwei Teilen besteht, wobei ein erstes Teil 3.2 aus einem elektrisch nicht leitenden und Wärme gut leitenden Material, während ein zweites Teil 3.3 aus einem elektrisch nicht leitenden und Wärme nicht leitenden Material besteht.

[0113] Für das Teil 3.2 des Plasmagasführungsteils 3 wird hierbei beispielhaft Keramik, wiederum als Beispiel Aluminiumnitrid, das eine sehr gute Wärmeleitfähigkeit (ca. $180 \text{ W}/(\text{m}^{\circ}\text{K})$) und einen hohen spezifischen elektrischen Widerstand (ca. $10^{12} \Omega \cdot \text{cm}$) besitzt, verwendet. Für das Teil 3.3 des Plasmagasführungsteils 3 kann bspw. ein Kunststoff, zum Beispiel PEEK, PTFE (Polytetrafluorethen), Torlon, Polyamidimid (PAI), Polyimid

(PI), der eine hohe Temperaturfestigkeit (mindestens 200°C) und einen hohen spezifischen elektrischen Widerstand (mindestens 10^6 , besser mindestens 10^{10} $\Omega \cdot \text{cm}$) aufweist, verwendet werden.

[0114] Im einfachsten Fall sind die Teile 3.2 und 3.3 durch Übereineinanderschoben der Kontaktflächen 3.21 und 3.31 verbunden. Sie können auch kraftschlüssig durch die aneinandergesetzten, sich gegenüberliegenden und berührenden Kontaktflächen 3.20 mit 3.30, 3.21 bis 3.31 und 3.22 bis 3.32 verbunden sein. Die zylindrisch ausgebildeten Kontaktflächen 3.31 (zylindrische Außenfläche des Teils 3.3) und 3.21 (zylindrische Innenfläche des Teils 3.2) bilden dann durch Ineinanderverschieben die kraftschlüssige Verbindung. Hier wird eine Übermaßpassung DIN EN ISO 286 (zum Beispiel H7/n6; H7/m6) zwischen den zylindrischen Innen- und Außenflächen angewandt. Es ist weiterhin möglich, beide Teile (3.2 und 3.3) durch Formschluss und/oder durch Kleben miteinander zu verbinden.

[0115] Da die mechanische Bearbeitung des Keramikwerkstoffs meist schwieriger ist als diejenige eines Kunststoffes, sinkt der Bearbeitungsaufwand. Hier sind beispielsweise sechs Bohrungen 3.1 in das Kunststoffteil 3.3 eingebracht, die einen radialen Versatz a_1 aufweisen und im Winkel α_1 äquidistant auf dem Umfang der Gasführung verteilt. Es sind auch unterschiedlichste Formen, wie zum Beispiel Nuten, Aussparungen, Bohrungen etc. einfacher herstellbar, wenn sie in den Kunststoff eingebracht werden.

[0116] Die Figuren 13a und 13b zeigen ein Plasmagasführungsteil 3 wie in der Figur 12, außer dass ein weiteres Teil 3.4, das aus einem Material mit den gleichen Eigenschaften wie das Teil 3.3 besteht, zum Plasmagasführungsteil 3 gehört.

[0117] Die Teile 3.2 und 3.4 können genauso miteinander verbunden sein wie die Teile 3.2 und 3.3, wobei die Kontaktflächen 3.23 mit 3.43, 3.24 mit 3.44 und 3.25 mit 3.25 verbunden sind.

[0118] Da die mechanische Bearbeitung des Keramikwerkstoffs meist schwieriger als diejenige eines Kunststoffes ist, sinkt der Bearbeitungsaufwand und sind auch unterschiedlichste Formen, wie zum Beispiel Aussparungen, Bohrungen etc. einfacher herstellbar, wenn sie in den Kunststoff eingebracht werden.

[0119] Die Figuren 14a bis 14b zeigen eine weitere Ausführungsform eines Plasmagasführungsteils 3. Die Figuren 14c und 14d zeigen ein Teil 3.3 des Plasmagasführungsteils 3. Dabei zeigen die Figuren 14a und 14c einen Längsschnitt und die Figuren 14b und 14d eine teilweise geschnittene Seitenansicht.

[0120] Ein Teil 3.2 besteht aus einem elektrisch nicht leitenden und Wärme gut leitenden Material, während ein Teil 3.3 aus einem elektrisch nicht leitenden und Wärme nicht leitenden Material besteht.

[0121] Im Teil 3.3 des Plasmagasführungsteils 3 befinden sich radial angeordnete Öffnungen, hier Bohrungen 3.1, die radial versetzt und/oder zur Mittellinie M radial geneigt sein können und durch die ein Plasmagas

PG strömt, wenn das Plasmagasführungsteil 3 in den Plasmaschneidbrenner 1 eingebaut ist (siehe Figuren 1 bis 9).

[0122] Das Teil 3.3 hat weitere radial angeordnete Bohrungen 3.9, die größer sind als die Bohrungen 3.1. In diese Bohrungen sind sechs Teile 3.2, die hier beispielhaft als Rundstift dargestellt sind, eingebracht. Diese sind äquidistant in einem Winkel, der sich zwischen Mittelpunktklinien M3.9 ergibt, von $\alpha_3=60^\circ$ auf dem Umfang verteilt.

[0123] Wenn das Plasmagasführungsteil 3 in den Plasmaschneidbrenner 1 nach den Figuren 1 bis 9 eingebaut ist, stehen Kontaktflächen 3.61 (Außenflächen) der Teile 3.2 (Rundstifte) mit einer Kontaktfläche 4.3 (hier eine zylindrische Innenfläche) der Düse 4 und Kontaktflächen 3.51 (Innenfläche) der Teile 3.2 (Rundstifte) mit der Kontaktfläche 2.3 (hier eine zylindrische Außenfläche) der Elektrode 2 durch Berührung in Kontakt.

[0124] Die Teile 3.2 weisen einen Durchmesser d_3 und eine Länge 13 auf, die mindestens genauso groß ist wie die Hälfte der Differenz der Durchmesser d_{10} und d_{20} des Teils 3.3. Noch besser ist es, wenn die Länge 13 geringfügig größer ist, um einen sicheren Kontakt zwischen den Kontaktflächen der Rundstifte 3.2 und der Düse 4 sowie der Elektrode 2 zu erhalten. Von Vorteil ist es weiterhin, wenn die Oberfläche der Kontaktflächen 3.61 und 3.51 nicht eben, sondern der zylindrischen Außenfläche (Kontaktfläche 2.3) der Elektrode 2 und der zylindrischen Innenfläche (Kontaktfläche 4.3) der Düse 4 so angepasst sind, dass ein Formschluss entsteht.

[0125] In der Kontaktfläche 3.6 befinden sich Nuten 3.8. Diese leiten das Plasmagas PG zu den Bohrungen 3.1, bevor es durch diese in den Innenraum 4.2 der Düse 4, in dem die Elektrode 2 angeordnet ist, geführt wird.

[0126] Da die mechanische Bearbeitung des Keramikwerkstoffs meist schwieriger ist als diejenige eines Kunststoffes, sinkt der Bearbeitungsaufwand und sind auch unterschiedlichste Formen, wie zum Beispiel Nuten, Aussparungen, Bohrungen etc. einfacher herstellbar, wenn sie in den Kunststoff eingebracht werden. So können trotz Verwendung gleicher Rundstifte unterschiedlichste Gasführungen kostengünstig hergestellt werden.

[0127] Weiterhin sind durch die Veränderung der Anzahl oder auch des Durchmessers der Rundstifte 3.2 unterschiedliche thermische Widerstände bzw. thermische Leitfähigkeiten des Plasmagasführungsteils 3 erreichbar.

[0128] Wird/Werden der Durchmesser und/oder die Anzahl der Rundstifte reduziert, vergrößert sich der Wärmewiderstand und die thermische Leitfähigkeit sinkt.

[0129] Da je nach der im Plasmaschneidbrenner bzw. Plasmaschneidbrenner umzusetzenden Leistung von 500 W bis 200 kW sehr unterschiedliche thermische Belastungen der Düsen 4 und der Elektrode 2 entstehen, ist die Anpassung des thermischen Widerstands von Vorteil. So werden bspw. die Herstellkosten reduziert, wenn weniger Bohrungen eingebracht und weniger Rundstifte ein-

gesetzt werden müssen.

[0130] Die Figuren 15 bis 17 zeigen (weitere) unterschiedliche Ausführungsformen eines als Sekundärgasführungsteil 7 für ein Sekundärgas SG ausgebildeten Isolierstücks, die in einem Plasmaschneidbrenner 1, wie er in den Figuren 6 bis 9 gezeigt ist, eingesetzt werden können, wobei die jeweilige Figur mit dem Buchstaben "a" eine teilweise geschnittene Draufsicht und die jeweilige Figur mit dem Buchstaben "b" eine geschnittene Seitenansicht zeigt.

[0131] Die Figuren 15a und 15b zeigen ein Sekundärgasführungsteil 7 für ein Sekundärgas SG, wie es in einem Plasmaschneidbrenner gemäß den Figuren 6 bis 9 eingesetzt werden kann.

[0132] Das in den Figuren 15a und 15b gezeigte Sekundärgasführungsteil 7 besteht aus einem elektrisch nicht leitenden und Wärme gut leitenden Material, hier bspw. Keramik. Hier eignet sich wiederum besonders Aluminiumnitrid, das eine sehr gute Wärmeleitfähigkeit (ca. 180 W/(m*K)) und einen hohen spezifischen elektrischen Widerstand (ca. $10^{12} \Omega \cdot \text{cm}$) besitzt. Durch den geringen thermischen Widerstand bzw. die hohe Wärmeleitfähigkeit können hohe Temperaturdifferenzen vermieden und dadurch verursachte mechanische Spannungen im Plasmaschneidbrenner reduziert werden.

[0133] In dem Sekundärgasführungsteil 7 befinden sich radial angeordnete Bohrungen 7.1, die auch radial oder radial versetzt und/oder zur Mittellinie M radial geneigt sein können und durch die das Sekundärgas SG strömen kann bzw. strömt, wenn das Sekundärgasführungsteil 7 in den Plasmaschneidbrenner 1 eingebaut ist. In diesem Beispiel sind 12 Bohrungen um ein Maß $\alpha 11$ radial versetzt und äquidistant auf dem Umfang verteilt, wobei der Winkel, der durch die Mittelpunkte der Bohrungen eingeschlossen ist, mit $\alpha 11$ bezeichnet ist. Es können aber auch Öffnungen, Nuten oder Aussparungen sein, durch die das Sekundärgas SG strömt, wenn das Sekundärgasführungsteil 7 in den Plasmaschneidbrenner 1 eingebaut ist. Das Sekundärgasführungsteil 7 verfügt über zwei kreisringförmige Kontaktflächen 7.4 und 7.5.

[0134] Durch Einsatz dieses Sekundärgasführungsteils 7 wird die elektrische Isolierung zwischen der Düsenschutzkappe 8 und der Düsenkappe 5 und damit auch der Düse 4 des in den Figuren 6 bis 9 dargestellten Plasmaschneidbrenners 1 erreicht. Die elektrische Isolation schützt in Kombination mit dem Sekundärgas die Düse 4, die Düsenkappe 5 und die Düsenschutzkappe 8 vor Lichtbögen, die sich zwischen ihnen und dem Werkstück (nicht gezeigt) ausbilden können. Diese werden als Doppellichtbögen bezeichnet und können zur Beschädigung der Düse 4, der Düsenkappe 5 und der Düsenschutzkappe 8 führen.

[0135] Gleichzeitig wird Wärme zwischen der Düsenschutzkappe 8 und der Düsenkappe 5 vom wärmeren zum kälteren Bauteil hin, in diesem Fall von der Düsenschutzkappe 8 zur Düsenkappe 5, über das Wärme gut leitende, als Sekundärgasführungsteil 7 ausgebildete

Isolierstück übertragen. Das Sekundärgasführungsteil 7 steht mit der Düsenschutzkappe 8 und der Düsenkappe 5 durch Berührung in Kontakt. Dies erfolgt in diesem Ausführungsbeispiel durch kreisringförmige Flächen 8.2 der Düsenschutzkappe 8 und 7.4 des Sekundärgasführungsteils 7 sowie kreisringförmige Flächen 7.5 des Sekundärgasführungsteils 7 und 5.3 der Düsenkappe 5, die sich, wie in den Figuren 6 bis 9 dargestellt, berühren.

[0136] Die Figuren 16a und 16b zeigen ebenfalls ein Sekundärgasführungsteil 7 für ein Sekundärgas SG, das aus zwei Teilen besteht. Ein erstes Teil 7.2 besteht aus einem elektrisch nicht leitenden und Wärme gut leitenden Material, während ein zweites Teil 7.3 aus einem elektrisch gut leitenden und Wärme gut leitenden Material besteht.

[0137] Für das Teil 7.2 des Sekundärgasführungsteils 7 wird hier beispielhaft Keramik als Beispiel wiederum Aluminiumnitrid, das eine sehr gute Wärmeleitfähigkeit (ca. 180 W/(m*K)) und einen hohen spezifischen elektrischen Widerstand (ca. $10^{12} \Omega \cdot \text{cm}$) besitzt, verwendet. Für das Teil 7.3 des Sekundärgasführungsteils 7 wird hier ein Metall, wie zum Beispiel Silber, Kupfer, Aluminium, Zinn, Zink, Eisen, legierter Stahl oder eine metallische Legierung (z. B. Messing), in der diese Metalle einzeln oder in Summe zumindest zu 50 % enthalten sind, verwendet.

[0138] Wenn für das Teil 7.3 bspw. Kupfer eingesetzt wird, wird die Wärmeleitfähigkeit des Sekundärgasführungsteils 7 größer, als wenn dies nur aus elektrisch nicht leitendem und Wärme gut leitendem Material, wie zum Beispiel Aluminiumnitrid, bestehen würde. Kupfer hat je nach Reinheit eine höhere Wärmeleitfähigkeit (max. ca. 390 W/(m*K)) als Aluminiumnitrid (ca. 180 W/(m*K)), das gegenwärtig als einer der am besten Wärme leitenden und gleichzeitig nicht elektrisch gut leitenden Werkstoffe gilt. Dies führt durch die bessere Leitfähigkeit zu einem noch besseren Wärmeaustausch zwischen der Düsenschutzkappe 8 und der Düsenkappe 5 des Plasmaschneidbrenners 1 der Figuren 6 bis 9.

[0139] Im einfachsten Fall sind die Teile 7.2 und 7.3 durch Übereinanderschieben der Kontaktflächen 7.21 und 7.31 verbunden.

[0140] Die Teile 7.2 und 7.3 können auch kraftschlüssig durch die aneinandergesetzten, sich gegenüberliegenden und berührenden Kontaktflächen 7.20 mit 7.30, 7.21 mit 7.31 und 7.22 mit 7.32 verbunden sein. Die Kontaktflächen 7.20, 7.21 und 7.22 sind Kontaktflächen des Teils 7.2 und die Kontaktflächen 7.30, 7.31 und 7.32 sind Kontaktflächen des Teils 7.3. Die zylindrisch ausgebildeten Kontaktflächen 7.31 (zylindrisch Außenfläche des Teils 7.3) und 7.21 (zylindrische Innenfläche des Teils 7.2) bilden durch Ineinanderpressen eine kraftschlüssige Verbindung. Hier wird eine Übermaßpassung DIN EN ISO 286 (zum Beispiel H7/n6; H/m6) zwischen den zylindrischen Innen- und Außenflächen angewandt.

[0141] Es besteht weiterhin die Möglichkeit, beide Teile durch Formschluss, durch Löten und/oder Kleben miteinander zu verbinden.

[0142] Da die mechanische Bearbeitung des Keramikwerkstoffs meist schwieriger ist als diejenige eines Metalls, sinkt der Bearbeitungsaufwand. Hier sind beispielsweise zwölf Bohrungen 7.1 in Teil 7.3 aus Metall eingebracht, die einen radialen Versatz a_{11} aufweisen und im Winkel α_{11} äquidistant auf dem Umfang der Gasführung verteilt. Es sind auch unterschiedlichste Formen, wie zum Beispiel Nuten, Aussparungen, Bohrungen etc. einfacher herstellbar, wenn sie in das Metall eingebracht werden.

[0143] Die Figuren 17a und 17b zeigen ebenfalls ein Sekundärgasführungsteil 7 für ein Sekundärgas SG, das aus zwei Teilen besteht. Im Gegensatz zur Ausführungsform gemäß der Figur 16 besteht hier ein erstes Teil 7.2 aus einem elektrisch gut leitenden und Wärme gut leitenden Material und ein zweites Teil 7.3 aus einem elektrisch nicht leitenden und Wärme gut leitenden Material. Ansonsten gelten die gleichen Anmerkungen wie zu den Figuren 16a und 6b.

[0144] In den Fig. 18a, 18b, 18c und 18d ist eine weitere Ausführungsform eines Sekundärgasführungsteils 7 für ein Sekundärgas SG, das in einem Plasmaschneidbrenner gemäß den Fig. 6 bis 9 eingesetzt werden kann, gezeigt.

[0145] Die Fig. 18a zeigt eine Draufsicht und die Fig. 18b und 18c geschnittene Seitenansichten unterschiedlicher Ausführungsformen desselben. Fig. 18d zeigt ein aus elektrisch nicht leitendem und Wärme nicht leitendem Material bestehendes Teil 7.3 des Sekundärgasführungsteils 7.

[0146] Im Teil 7.3 des Sekundärgasführungsteils 7 befinden sich radial angeordnete Bohrungen 7.1, die auch radial oder radial versetzt und/oder zur Mittellinie M radial geneigt sein können und durch die das Sekundärgas SG strömen kann, wenn das Sekundärgasführungsteil 7 in den Plasmaschneidbrenner 1 eingebaut ist. In diesem Beispiel sind zwölf Bohrungen um ein Maß a_{11} radial versetzt und äquidistant auf dem Umfang verteilt, wobei der Winkel, der durch die Mittelpunkte der Bohrungen eingeschlossen ist, mit α_{11} (hier zum Beispiel 30°) bezeichnet ist. Es können aber auch Öffnungen, Nuten oder Aussparungen sein, durch die das Sekundärgas SG strömt, wenn das Sekundärgasführungsteil 7 in den Plasmaschneidbrenner 1 (siehe hierzu zum Beispiel Fig. 6 bis 9) eingebaut ist.

[0147] Fig. 18d zeigt, dass in diesem Beispiel das Teil 7.3 zwölf weitere axial angeordnete Bohrungen 7.9 aufweist, die größer als die Bohrungen bzw. Öffnungen 7.1 sind.

[0148] In den Fig. 18a und 18b sind in diese Bohrungen 7.9 zwölf Teile 7.2, die hier beispielhaft als Rundstifte dargestellt sind, eingebracht. Die Rundstifte 7.2 bestehen aus einem elektrisch nicht leitendem und Wärme gut leitendem Material, während das Teil 7.3 aus einem elektrisch nicht leitendem und Wärme nicht leitendem Material besteht.

[0149] Wenn das Sekundärgasführungsteil 7 in den Plasmaschneidbrenner 1 gemäß den Fig. 6 bis 9 eingebaut ist, stehen Kontaktflächen 7.51 der Rundstifte 7.2

mit einer Kontaktfläche 5.3 (hier zum Beispiel Kreisringfläche) der Düsenkappe 5 und Kontaktflächen 7.41 der Rundstifte 7.2 mit einer Kontaktfläche 8.2 (hier zum Beispiel Kreisringfläche) der Düsenschutzkappe durch Berührung in Kontakt (Fig. 6 bis 9).

[0150] Die Teile 7.2 haben einen Durchmesser d_7 und eine Länge 17, die mindestens genauso groß ist wie die Breite b des Teils 7.3. Noch besser ist es, wenn die Länge 17 geringfügig größer ist, um einen sicheren Kontakt zwischen den Kontaktflächen der Rundstifte 7.2 und der Düsenkappe 5 sowie der Düsenschutzkappe 8 zu erhalten.

[0151] Die Fig. 18c zeigt eine andere Ausführungsform des Sekundärgasführungsteils 7 für Sekundärgas. Dabei sind in jede Bohrung 7.9 zwei beispielhaft als Rundstift angegebene Teile 7.2 und 7.6 eingebracht. Das Teil 7.3 besteht aus einem elektrisch nicht leitenden und Wärme nicht leitenden Material, die Rundstifte 7.2 bestehen aus einem elektrisch nicht leitenden und Wärme gut leitenden Material und die Rundstifte 7.6 bestehen aus einem elektrisch gut leitenden und Wärme gut leitenden Material.

[0152] Wenn das Sekundärgasführungsteil 7 in den Plasmaschneidbrenner 1 gemäß den Fig. 6 bis 9 eingebaut ist, stehen Kontaktflächen 7.51 der Rundstifte 7.2 mit einer Kontaktfläche 5.3 (hier zum Beispiel die Kreisringfläche) der Düsenkappe 5 und Kontaktflächen 7.41 der Rundstifte 7.6 mit einer Kontaktfläche 8.2 (hier zum Beispiel die Kreisringfläche) der Düsenschutzkappe 8 durch Berührung in Kontakt (siehe auch Fig. 6 bis 9). Beide Rundstifte 7.2 und 7.6 sind durch ihre Kontaktflächen 7.42 und 7.52 durch Berührung verbunden.

[0153] Die Teile 7.2 weisen einen Durchmesser d_7 und eine Länge 171 auf. Die Teile 7.6 haben in diesem Beispiel den gleichen Durchmesser und eine Länge 172, wobei die Summe der Längen 171 und 172 mindestens genauso groß wie die Breite b des Teils 7.3 ist. Noch besser ist es, wenn die Summe der Längen geringfügig größer, beispielsweise größer als 0,1 mm ist, um einen sicheren Kontakt zwischen den Kontaktflächen 7.51 der Rundstifte 7.2 und der Düsenkappe 5 sowie den Kontaktflächen 7.41 der Rundstifte 7.6 und der Düsenschutzkappe 8 zu erhalten.

[0154] Wie die Fig. 18c und die zugehörige Beschreibung zeigen, betrifft die vorliegende Erfindung somit in verallgemeinerter Form auch ein Isolierteil für einen Plasmaschneidbrenner, insbesondere einen Plasmaschneidbrenner, zur elektrischen Isolation zwischen mindestens zwei elektrisch leitfähigen Bauteilen des Plasmaschneidbrenners, wobei das Isolierteil aus mindestens drei Teilen besteht, wobei eines der Teile aus einem elektrisch nicht leitenden und Wärme gut leitenden Material, ein weiteres der Teile aus einem elektrisch nicht leitenden und Wärme nicht leitenden Material besteht und das weitere oder ein weiteres der Teile aus einem elektrisch gut leitenden und Wärme gut leitenden Material besteht.

[0155] Die in den Fig. 15 bis 18 gezeigten Sekundärgasführungsteile 7 können auch in einem Plasmaschneidbrenner 1 gemäß Fig. 5 eingesetzt werden.

Dort wird durch den Einsatz dieses Sekundärgasführungsteils 7 die elektrische Isolierung zwischen der Düsenschutzkappe 8 und der Düse 4 realisiert. Die elektrische Isolation schützt in Kombination mit dem Sekundärgas SG die Düse 4 und die Düsenschutzkappe 8 vor Lichtbögen, die sich zwischen ihnen und einem Werkstück ausbilden können. Diese werden als Doppellichtbögen bezeichnet und können zur Beschädigung der Düse 4 und der Düsenschutzkappe 8 führen.

[0156] Gleichzeitig wird Wärme zwischen der Düsenschutzkappe 8 und der Düse 4 vom wärmeren zum kälteren Bauteil hin, in diesem Fall von der Düsenschutzkappe 8 zur Düse 4, über das Wärme gut leitende als Sekundärgasführungsteil 7 ausgebildete Isolierteil übertragen. Das Sekundärgasführungsteil 7 steht mit der Düsenschutzkappe 8 und der Düse 4 durch Berührung in Kontakt. Dies erfolgt für die in den Fig. 15, 16 und 17 gezeigten Ausführungsbeispiele des Sekundärgasführungsteils 7 über die kreisringförmigen Kontaktflächen 8.2 der Düsenschutzkappe 8 und die kreisringförmigen Kontaktflächen 7.4 des Sekundärgasführungsteils 7 sowie die kreisringförmigen Kontaktflächen 7.5 des Sekundärgasführungsteils 7 und die kreisringförmigen Kontaktflächen 4.4 der Düsen 4, die sich, wie in der Fig. 5 dargestellt, berühren.

[0157] In den Ausführungsbeispielen des in den Fig. 18b und 18c gezeigten Sekundärgasführungsteils 7 erfolgt die Wärmeübertragung über die kreisringförmige Kontaktfläche 8.2 der Düsenschutzkappe 8 und die Kontaktflächen 7.41 der Rundstifte 7.2 oder 7.6 des Sekundärgasführungsteils 7 von 7.51 der Rundstifte 7.2 mit der Kontaktfläche 4.4 (hier zum Beispiel die Kreisringfläche) der Düse 4 durch Berührung, wie in der Fig. 5 dargestellt.

[0158] Die Fig. 19a bis 19d zeigen Schnittdarstellungen von Anordnungen aus einer Düse 4 und einem Sekundärgasführungsteil 7 für ein Sekundärgas SG gemäß besonderen Ausführungsformen der Erfindung in den Fig. 15 bis 18. Hier gelten die Ausführungen zur Fig. 5 und zu den Fig. 15 bis 18.

[0159] Dabei zeigt Fig. 19a eine Anordnung mit einem Sekundärgasführungsteil 7 gemäß Fig. 15a und 15b, Fig. 19b eine Anordnung mit einem Sekundärgasführungsteil gemäß den Fig. 16a und 16b, Fig. 19c eine Anordnung mit einem Sekundärgasführungsteil gemäß den Fig. 17a und 17b und Fig. 19d eine Anordnung mit einem Sekundärgasführungsteil gemäß Fig. 18a und Fig. 18b.

[0160] In diesen Ausführungsbeispielen kann das Sekundärgasführungsteil 7 mit der Düse 4 im einfachsten Fall durch Übereinanderschieben verbunden sein. Sie können aber auch form- und kraftschlüssig oder durch Kleben verbunden sein. Bei der Verwendung von Metall/Metall und/oder Metall/Keramik an der Verbindungsstelle ist auch das Lötten als Verbindung möglich.

[0161] Die Fig. 20a bis 20d zeigen Schnittdarstellungen von Anordnungen aus einer Düsenskappe 5 und einem Sekundärgasführungsteil 7 für ein Sekundärgas SG gemäß den Fig. 15 bis 18 gemäß besonderen Ausführungsformen der Erfindung. Hier gelten die Ausführun-

gen zu den Fig. 6 bis 9 und zu den Fig. 15 bis 18.

[0162] Dabei zeigt Fig. 20a eine Anordnung mit einem Sekundärgasführungsteil gemäß den Fig. 15a und 15b; Fig. 20b eine Anordnung mit einem Sekundärgasführungsteil gemäß den Fig. 16a und 16b; Fig. 20c eine Anordnung mit einem Sekundärgasführungsteil gemäß Fig. 17a und 17b und Fig. 20d eine Anordnung mit einem Sekundärgasführungsteil gemäß den Fig. 18a bis 18d.

[0163] In diesen Ausführungsbeispielen kann das Sekundärgasführungsteil 7 mit der Düsenskappe 5 im einfachsten Fall durch Übereinanderschieben verbunden sein. Sie können aber auch form- und kraftschlüssig oder der Kleben verbunden sein. Bei der Verwendung von Metall/Metall und/oder Metall/Keramik an der Verbindungsstelle ist auch das Lötten als Verbindung möglich.

[0164] Die Fig. 21a bis 21d zeigen Schnittdarstellungen von Anordnungen aus einer Düsenschutzkappe 8 und einem Sekundärgasführungsteil 7 für ein Sekundärgas SG gemäß den Fig. 15 bis 18. Hier gelten die Ausführungen zu den Fig. 5 bis 9 und zu den Fig. 15 bis 18.

[0165] Dabei zeigt Fig. 21a eine Anordnung mit einem Sekundärgasführungsteil gemäß den Fig. 15a und 15b; Fig. 21b eine Anordnung mit einem Sekundärgasführungsteil gemäß den Fig. 16a und 16b; Fig. 21c eine Anordnung mit einem Sekundärgasführungsteil gemäß den Fig. 17a und 17b und Fig. 21d eine Anordnung mit einem Sekundärgasführungsteil gemäß den Fig. 18a bis 18d.

[0166] In diesen Ausführungsbeispielen kann das Sekundärgasführungsteil 7 mit der Düsenschutzkappe 8 im einfachsten Fall durch Übereinanderschieben verbunden sein. Sie können aber auch form- und kraftschlüssig oder Kleben verbunden sein. Bei der Verwendung von Metall/Metall und/oder Metall/Keramik an der Verbindungsstelle ist auch das Lötten als Verbindung möglich.

[0167] Die Fig. 22a und 22b zeigen Anordnungen aus einer Elektrode 2 und einem Plasmagasführungsteil 3 für ein Plasmagas PG gemäß den Fig. 11 bis 13 gemäß besonderen Ausführungsformen der Erfindung.

[0168] Dabei zeigt Fig. 22a eine Anordnung mit einem Plasmagasführungsteil gemäß Fig. 11a und Fig. 11b sowie die Fig. 22b eine Anordnung mit einem Plasmagasführungsteil gemäß Fig. 13a und Fig. 13b.

[0169] In diesem Ausführungsbeispiel ist eine Kontaktfläche 2.3 beispielhaft eine zylindrische Außenfläche der Elektrode 2 und eine Kontaktfläche 3.5 eine zylindrische Innenfläche des Plasmagasführungsteils 3. Vorzugsweise wird hier eine Spielpassung mit geringem Spiel, zum Beispiel H7/h6 nach DIN EN ISO 286 zwischen der zylindrischen Innen- und Außenfläche benutzt, um einerseits das Ineinanderstecken und andererseits einen guten Kontakt und damit geringen Wärmewiderstand und damit guten Wärmeübergang zu realisieren. Der Wärmeübergang kann durch Aufbringen von Wärmeleitpaste an diesen Kontaktflächen verbessert werden. Dann kann eine Passung mit einem größeren Spiel, zum Beispiel H7/g6 verwendet werden.

[0170] Es ist auch möglich, eine Übermaßpassung zwischen dem Plasmagasführungsteil 3 und der Elektro-

de 2 zu verwenden. Dies verbessert natürlich den Wärmeübergang. Das hat aber zur Folge, dass Elektrode 2 und Plasmagasführungsteil 3 nur gemeinsam im Plasmaschneidbrenner 1 ausgetauscht werden können.

[0171] Die Fig. 23 zeigt eine Anordnung aus einer Elektrode 2 und einem Plasmagasführungsteil 3 für einen Plasmagas PG gemäß einer besonderen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

[0172] In dieser Anordnung stehen Kontaktflächen 3.51 der Rundstifte 3.2 des Plasmagasführungsteils 3 mit einer Kontaktfläche 2.3 (hier zum Beispiel zylindrische Außenfläche) der Elektrode 2 durch Berührung in Kontakt (siehe auch Fig. 1 bis 9).

[0173] Die Teile 3.2 haben einen Durchmesser d_3 und eine Länge 13, die mindestens genauso groß ist wie die Hälfte der Differenz der Durchmesser d_{10} und d_{20} des Teils 3.3. Noch besser ist es, wenn die Länge 13 geringfügig größer ist, um einen sicheren Kontakt zwischen den Kontaktflächen der Rundstifte 3.2 und der Düse 4 sowie der Elektrode 2 zu erhalten. Von Vorteil ist es, weiterhin, wenn die Oberfläche der Kontaktflächen 3.61 und 3.51 nicht eben, sondern der zylindrischen Außenfläche (Kontaktfläche 2.3) der Elektrode 2 und der zylindrischen Innenfläche (Kontaktfläche 4.3) der Düse so angepasst sind, dass ein Formschluss entsteht.

[0174] Die Anordnungen aus Verschleißteilen und dem Isolierteil bzw. dem Gasführungsteil sind nur beispielhaft aufgezählt. Es sind natürlich auch andere Kombinationen, wie zum Beispiel Düse und Gasführungsteil, möglich.

[0175] Wenn in der vorangehenden Beschreibung auf Kühlflüssigkeit oder ähnliches Bezug genommen wurde, so soll damit ganz allgemein ein Kühlmedium gemeint sein.

[0176] In der vorangehenden Beschreibung werden u. a. Anordnungen und komplette Plasmabrenner beschrieben. Es versteht sich für den Fachmann, dass die Erfindung auch in Unterkombinationen und Einzelteilen, wie zum Beispiel Bauteile oder Verschleißteile, bestehen kann. Daher wird dafür auch explizit Schutz beansprucht.

[0177] Zu guter Letzt noch ein paar Definitionen, die für die gesamte vorangegangene Beschreibung gelten sollen:

[0178] "Elektrisch gut leitend" soll bedeuten, dass der spezifische elektrische Widerstand maximal $0,01 \Omega \cdot \text{cm}$ beträgt.

[0179] "Elektrisch nicht leitend" soll bedeuten, dass der spezifische Widerstand minimal $10^6 \Omega \cdot \text{cm}$, besser mindestens $10^{10} \Omega \cdot \text{cm}$ beträgt und/oder das die Spannungsdurchschlagsfestigkeit mindestens 7 kV/mm, besser mindestens 10 kV/mm beträgt.

[0180] "Wärme gut leitend" soll bedeuten, dass die Wärmeleitfähigkeit mindestens 40 W/(m*K), besser mindestens 60 W/(m*K), noch besser mindestens 90 W/(m*K) beträgt.

[0181] "Wärme gut leitend" soll bedeuten, dass die Wärmeleitfähigkeit mindestens 120 W/(m*K), besser mindestens 150 W/(m*K), noch besser mindestens 180

W/(m*K) beträgt.

[0182] Schließlich soll "Wärme gut leitend" insbesondere für Metalle bedeuten, dass die Wärmeleitfähigkeit mindestens 200 W/(m*K), besser mindestens 300 W/(m*K) beträgt.

[0183] Die in der vorangehenden Beschreibung, in der Zeichnung sowie in den Ansprüchen offenbarten Merkmale der Erfindung können sowohl einzeln als auch in beliebigen Kombinationen für die Verwirklichung der Erfindung in ihren verschiedenen Ausführungsformen wesentlich sein.

BEZUGSZEICHENLISTE

15	[0184]	
1	Plasmaschneidbrenner	
2	Elektrode	
20	2.1	Elektrodenhalter
	2.2	Emissionseinsatz
25	2.3	Kontaktfläche
	2.10	Kühlmittelraum
30	3	Plasmagasführungsteil
	3.1	Bohrung
	3.2	Teil
35	3.3	Teil
	3.4	Teil
	3.5	Kontaktfläche
40	3.6	Kontaktfläche
	3.7	Kontaktfläche
45	3.8	Nut
	3.9	Bohrung
	3.20	Kontaktfläche
50	3.21	Kontaktfläche
	3.22	Kontaktfläche
55	3.23	Kontaktfläche
	3.24	Kontaktfläche

3.25	Kontaktfläche	7.3	Teil
3.30	Kontaktfläche	7.4	Kontaktfläche
3.31	Kontaktfläche	5 7.5	Kontaktfläche
3.32	Kontaktfläche	7.6	Teil
3.43	Kontaktfläche	7.9	Bohrungen
3.44	Kontaktfläche	10 7.20	Kontaktfläche
3.45	Kontaktfläche	7.21	Kontaktfläche
3.51	Kontaktfläche	15 7.22	Kontaktfläche
3.61	Kontaktfläche	7.30	Kontaktfläche
4	Düse	7.31	Kontaktfläche
4.1	Düsenbohrung	20 7.32	Kontaktfläche
4.2	Innenraum	7.41	Kontaktfläche
4.3	Kontaktfläche	25 7.42	Kontaktfläche
4.4	Kontaktfläche	7.51	Kontaktfläche
4.5	Kontaktfläche	7.52	Kontaktfläche
4.10	Kühlmittelraum	30 8	Düsenschutzkappe
4.20	Außengewinde	8.1	Düsenschutzkappenbohrung
5	Düsenkappe	35 8.2	Kontaktfläche
5.1	Düsenkappenbohrung	8.3	Kontaktfläche
5.3	Kontaktfläche	8.10	Innenraum
5.20	Innengewinde	40 8.11	Innenraum
6	Düsenhalterung	9	Düsenschutzkappenhalterung
6.10	Kühlmittelraum	45 9.1	Kontaktfläche
6.11	Kühlmittelraum	9.10	Innenraum
6.20	Innengewinde	9.20	Innengewinde
6.21	Außengewinde	50 10	Kühlrohr
7	Sekundärgasführungsteil	10.1	Kühlmittelraum
7.1	Bohrung	55 11	Aufnahme
7.2	Teil	11.1	Teil

11.2	Teil	17	Länge
11.5	Kontaktfläche	171	Länge
11.6	Kontaktfläche	5 172	Länge
11.10	Kühlmitteldurchlass	173	Länge
11.11	Kühlmitteldurchlass	12	Länge
11.20	Außengewinde	10 M	Mittellinie
PG	Plasmagas	M3.1	Mittellinie
SG	Sekundärgas	15 M3.2	Mittellinie
WR1	Kühlmittelnrücklauf 1	M3.9	Mittellinie
WR2	Kühlmittelnrücklauf 2	M7.1	Mittellinie
WV1	Kühlmittelvorlauf 1	20 M3.6	Mittellinie
WV2	Kühlmittelvorlauf 2	$\alpha 1$	Winkel
a1	radialer Versatz	25 $\alpha 3$	Winkel
a11	radialer Versatz	$\alpha 7$	Winkel
b	Breite	$\alpha 11$	Winkel
d3	Durchmesser	30	
d7	Durchmesser		
d10	Außendurchmesser		
d11	Innendurchmesser		
d15	Durchmesser		
d20	Innendurchmesser		
d21	Außendurchmesser		
d25	Durchmesser		
d30	Innendurchmesser		
d31	Außendurchmesser		
d60	Außendurchmesser		
13	Länge		
131	Länge		
132	Länge		

Patentansprüche

1. Ein- oder mehrteiliges Isolierteil für einen Plasma-
brenner, insbesondere einen Plasmaschneidbren-
ner, zur elektrischen Isolation zwischen mindestens
zwei elektrisch leitfähigen Bauteilen des Plasma-
brenners, **dadurch gekennzeichnet, dass**
es aus einem elektrisch nicht leitenden und Wärme
gut leitenden Material besteht oder mindestens ein
Teil (3.2; 7.2; 11.1) desselben aus einem elektrisch
nicht leitenden und Wärme gut leitenden Material
besteht.
2. Isolierteil nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeich-
net, dass** es aus mindestens zwei Teilen (3.2, 3.3;
7.2, 7.3; 11.1, 11.2) besteht, wobei eines der Teile
(3.2; 7.2; 11.1) aus einem elektrisch nicht leitenden
und Wärme gut leitenden Material und das andere
oder mindestens ein anderes der Teile (3.3; 7.3;
11.2) aus einem elektrisch nicht leitenden und Wär-
me nicht leitenden Material besteht.
3. Isolierteil nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeich-
net, dass** das Teil (3.2) aus einem elektrisch nicht
leitenden und Wärme gut leitenden Material zumin-
dest eine als Kontaktfläche (3.51, 3.61, 7.41, 7.51)
fungierende Oberfläche aufweist, die mit einer un-

mittelbar benachbarten Oberfläche des Teils (3.3, 7.3) aus einem elektrisch nicht leitenden und Wärme nicht leitenden Material fluchtet oder über diese hinausragt.

4. Isolierteil nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** es aus mindestens zwei Teilen (3.2, 3.3; 7.2, 7.3) besteht, wobei eines der Teile (3.3; 7.3) aus einem elektrisch gut leitenden und Wärme gut leitenden Material und das andere (3.2; 7.2) oder mindestens ein anderes der Teile aus einem elektrisch nicht leitenden und Wärme gut leitenden Material besteht.
5. Isolierteil nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** es aus mindestens drei Teilen (7.2, 7.3, 7.6) besteht, wobei eines der Teile (7.6) aus einem elektrisch gut leitenden und Wärme gut leitenden Material, ein anderes der Teile (7.2) aus einem elektrisch nicht leitenden und Wärme gut leitenden Material und ein weiteres der Teile (7.3) aus einem elektrisch nicht leitenden und Wärme nicht leitenden Material besteht.
6. Isolierteil nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das elektrisch nicht leitende und Wärme gut leitende Material eine Wärmeleitfähigkeit von mindestens 40 W/(m*K), bevorzugt mindestens 60 W/(m*K) und noch bevorzugter mindestens 90 W/(m*K), noch bevorzugter mindestens 120 W/(m*K), noch bevorzugter mindestens 150 W/(m*K) und noch bevorzugter mindestens 180 W/(m*K) aufweist.
7. Isolierteil nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das elektrisch nicht leitende und Wärme gut leitende Material und/oder das elektrisch nicht leitende und Wärme nicht leitende Material einen spezifischen elektrischen Widerstand von mindestens $10^6 \Omega \cdot \text{cm}$, bevorzugt mindestens $10^{10} \Omega \cdot \text{cm}$, und/oder eine Spannungsdurchschlagsfestigkeit von mindestens 7 kV/mm, bevorzugt mindestens 10 kV/mm, aufweist.
8. Isolierteil nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das elektrisch nicht leitende und Wärme gut leitende Material eine Keramik, vorzugsweise aus der Gruppe der Nitridkeramiken, insbesondere der Aluminiumnitrid-, Bor-nitrid- und Siliziumnitridkeramiken, der Karbidkeramiken, insbesondere der Siliziumkarbidkeramiken, der Oxidkeramiken, insbesondere der Aluminiumoxid-, Zirkoniumoxid- und Berylliumoxidkeramiken, und der Silikatkeramiken, ist, oder Kunststoff, bspw. Kunststoffolie, ist.
9. Isolierteil nach Anspruch 2, oder einem davon direkt oder indirekt abhängigen Anspruch, **dadurch ge-**

kennzeichnet, dass das elektrisch nicht leitende und Wärme nicht leitende Material eine Wärmeleitfähigkeit von höchstens 1 W/(m*K) aufweist.

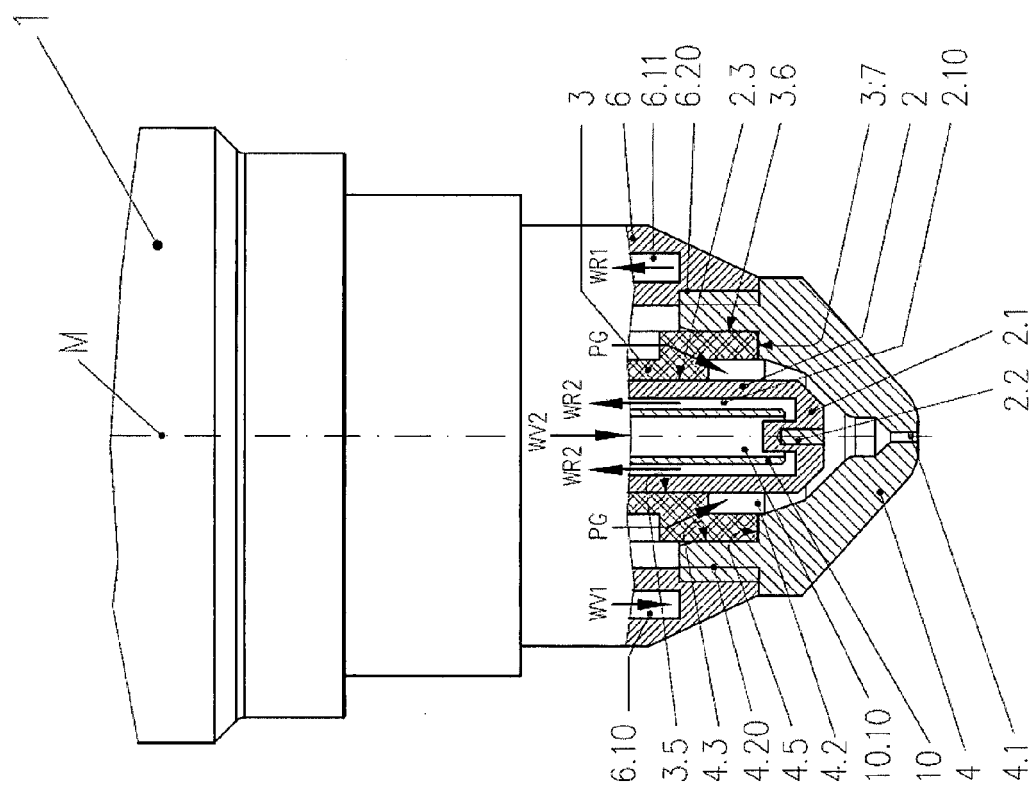
10. Isolierteil nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Teile form-, kraft-, stoffschlüssig und/oder durch Kleben oder durch ein thermisches Verfahren, z. B. Löten oder Schweißen, miteinander verbunden sind.
11. Isolierteil nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** es mindestens eine Öffnung und/oder mindestens eine Aussparung und/oder mindestens eine Nut (3.8) aufweist, insbesondere wobei sich die mindestens eine Öffnung und/oder die mindestens eine Aussparung und/oder die mindestens eine Nut im elektrisch nicht leitenden und Wärme gut leitenden Material und/oder im elektrisch nicht leitenden und Wärme nicht leitenden Material und/oder im elektrisch gut leitenden und Wärme gut leitenden Material befinden.
12. Isolierteil nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** es gestaltet ist, um ein Gas, insbesondere ein Plasma-, Sekundär- oder Kühlgas, zu führen.
13. Anordnung aus einer Elektrode (2) und/oder einer Düse (4) und/oder einer Düsenkappe (5) und/oder einer Düsenschutzkappe (8) und/oder einer Düsenschutzkappenhalterung (9) für einen Plasmapbrenner, insbesondere einen Plasmaschneidbrenner (1), und einem Isolierteil nach einem der vorangehenden Ansprüche.
14. Anordnung nach Anspruch 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Isolierteil mit der Elektrode (2) und/oder der Düse (4) und/oder der Düsenkappe (5) und/oder der Düsenschutzkappe (8) und/oder der Düsenschutzkappenhalterung (9) in direktem Kontakt steht.
15. Anordnung aus einer Aufnahme (11) für eine Düsenschutzkappenhalterung (9) und einer Düsenschutzkappenhalterung (9) für einen Plasmapbrenner, insbesondere einen Plasmaschneidbrenner (1), **dadurch gekennzeichnet, dass** die Aufnahme (11) als ein vorzugsweise mit der Düsenschutzkappenhalterung (9) in direktem Kontakt stehendes Isolierteil nach einem der Ansprüche 1 bis 12 ausgebildet ist.
16. Anordnung aus einer Elektrode (2) und einer Düse (4) für einen Plasmapbrenner, insbesondere einen Plasmaschneidbrenner (1), **dadurch gekennzeichnet, dass** zwischen der Elektrode (2) und der Düse (4) ein als ein Plasmagasführungsteil (3) ausgebil-

detes Isolierteil nach einem der Ansprüche 1 bis 12, vorzugsweise in direktem Kontakt mit selbigen, angeordnet ist.

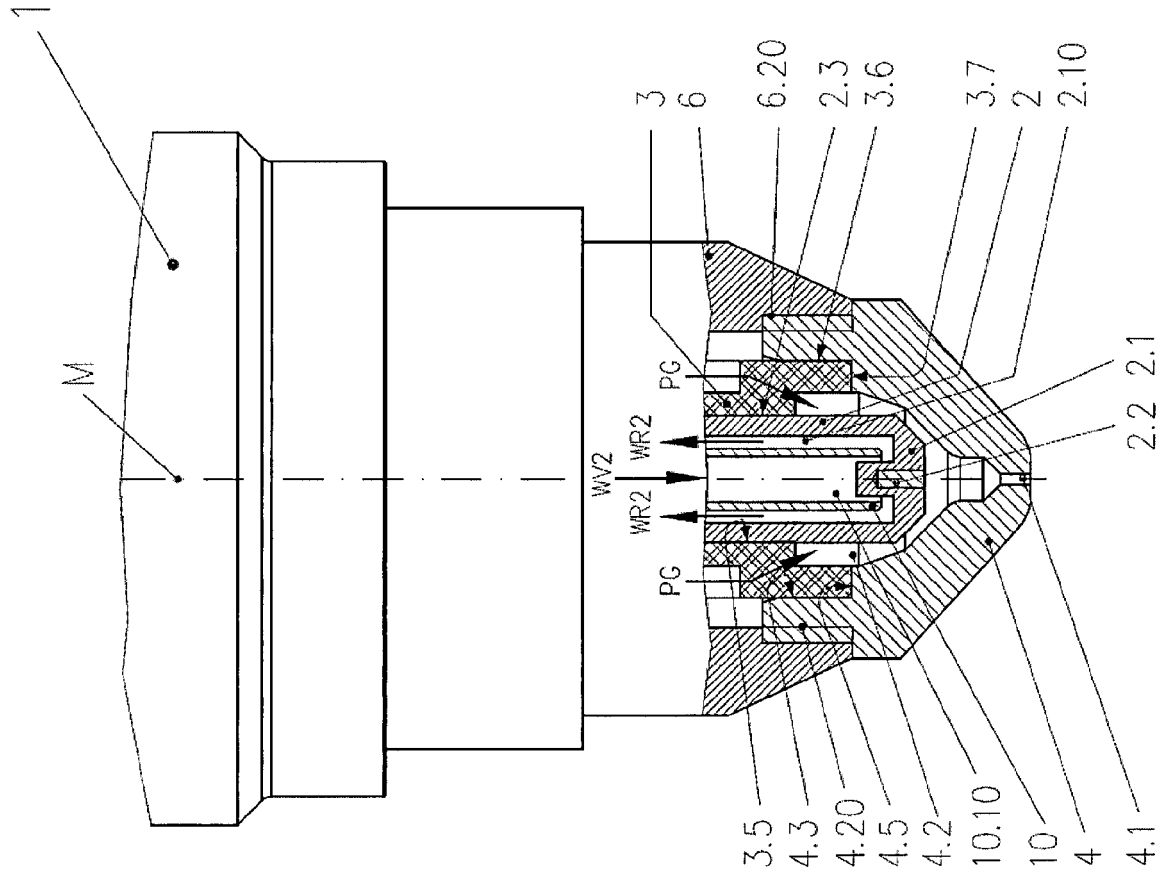
17. Anordnung aus einer Düse (4) und einer Düsenschutzkappe (8) für einen Plasmabrenner, insbesondere einen Plasmaschneidbrenner (1), **dadurch gekennzeichnet, dass** zwischen der Düse (4) und der Düsenschutzkappe (8) ein als ein Sekundärgasführungsteil (7) ausgebildetes Isolierteil nach einem der Ansprüche 1 bis 12, vorzugsweise in direktem Kontakt mit selbigem, angeordnet ist. 5 10
18. Anordnung aus einer Düsenkappe (5) und einer Düsenschutzkappe (8) für einen Plasmabrenner, insbesondere einen Plasmaschneidbrenner (1), **dadurch gekennzeichnet, dass** zwischen der Düsenkappe (5) und der Düsenschutzkappe (8) ein als ein Sekundärgasführungsteil (7) ausgebildetes Isolierteil nach einem der Ansprüche 1 bis 12, vorzugsweise in direktem Kontakt mit selbigen, angeordnet ist. 15 20
19. Plasmabrenner, insbesondere Plasmaschneidbrenner (1), umfassend mindestens ein Isolierteil nach einem der Ansprüche 1 bis 12. 25
20. Plasmabrenner nach Anspruch 19, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Isolierteil oder ein aus elektrisch nicht leitendem und Wärme gut leitendem Material bestehendes Teil desselben mindestens eine als Kontaktfläche fungierende Oberfläche, vorzugsweise zwei Oberflächen, aufweist, die zumindest mit einer Oberfläche eines elektrisch gut leitenden Bauteils, insbesondere einer Elektrode (2), Düse (4), Düsenkappe (5), Düsenschutzkappe (8) oder Düsenschutzkappenhalterung (9), des Plasmabrenners in direktem Kontakt steht. 30 35
21. Plasmabrenner nach einem der Ansprüche 19 bis 20, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Isolierteil ein Gasführungsteil, insbesondere ein Plasmagas- (3), Sekundärgas- (7) oder Kühlgasführungsteil, ist. 40
22. Plasmabrenner nach einem der Ansprüche 19 bis 21, gekennzeichnet, dass das Isolierteil mindestens eine Oberfläche aufweist, die im Betrieb direkten Kontakt mit einem Kühlmedium, vorzugsweise einer Flüssigkeit und/oder einem Gas und/oder einem Flüssigkeits-Gas-Gemisch, hat. 45 50
23. Plasmabrenner, insbesondere Plasmaschneidbrenner (1), umfassend mindestens eine Anordnung nach einem der Ansprüche 13 bis 18.
24. Verfahren zum Bearbeiten eines Werkstücks mit einem thermischen Plasma oder zum Plasmaschneiden oder zum Plasmaschweißen, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Plasmabrenner nach einem der 55

Ansprüche 19 bis 23 eingesetzt wird.

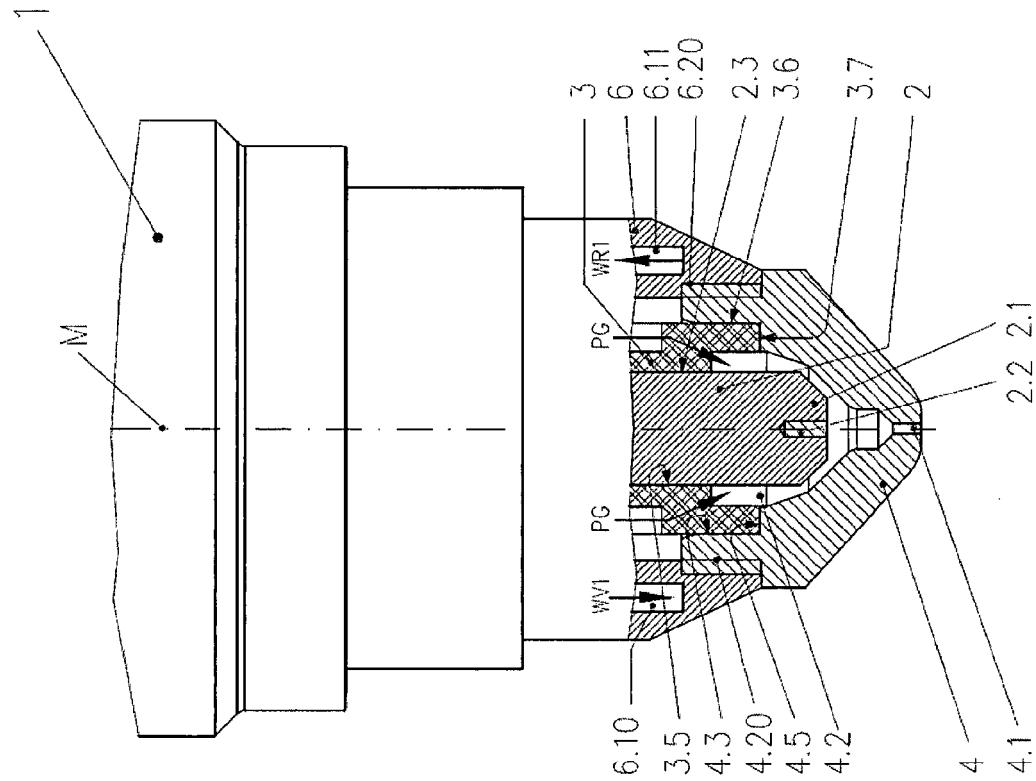
25. Verfahren nach Anspruch 24, **dadurch gekennzeichnet, dass** in den Plasmabrenner zusätzlich zum Plasmastrahl ein Laserstrahl eines Lasers eingekoppelt wird, insbesondere wobei der Laser ein Faserlaser, Diodenlaser und/oder diodengepumpter Laser ist.



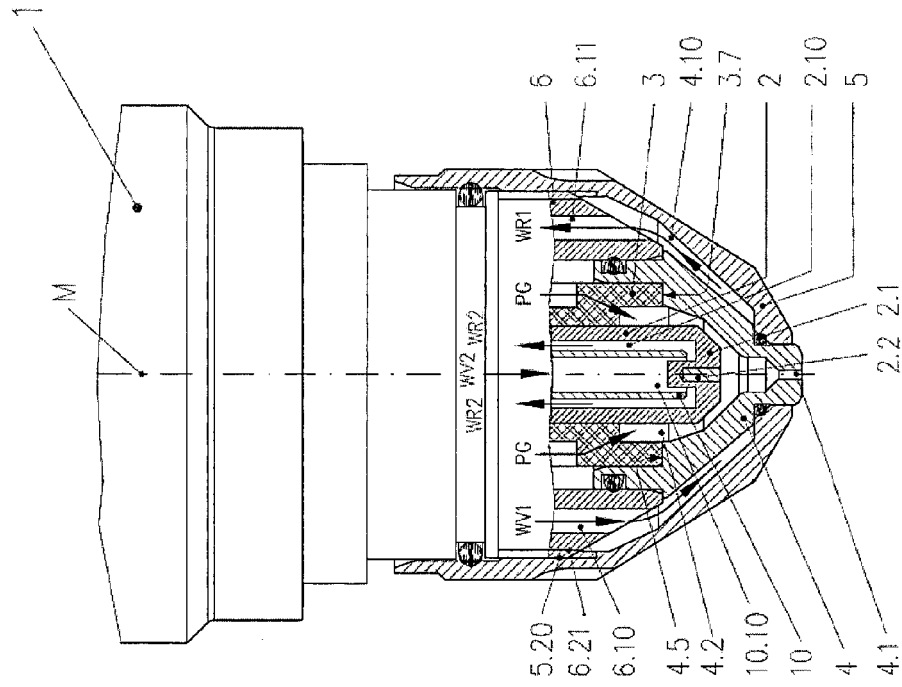
Figur 1



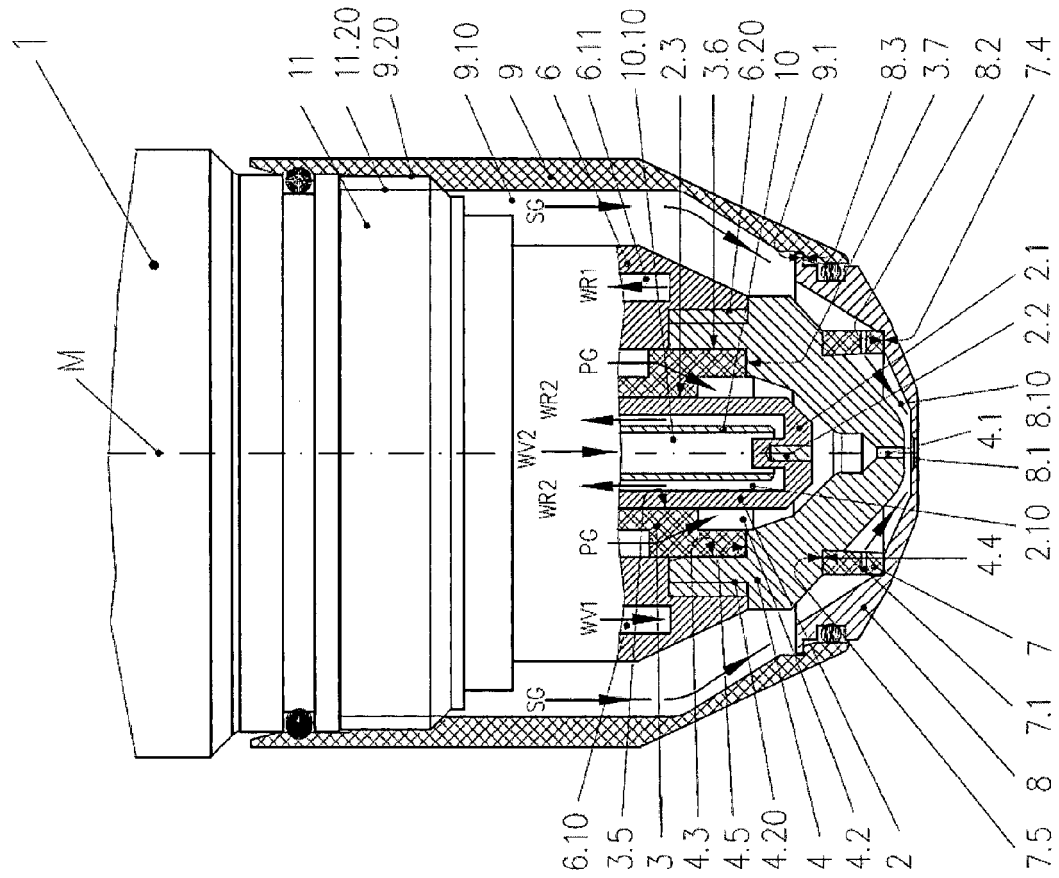
Figur 2



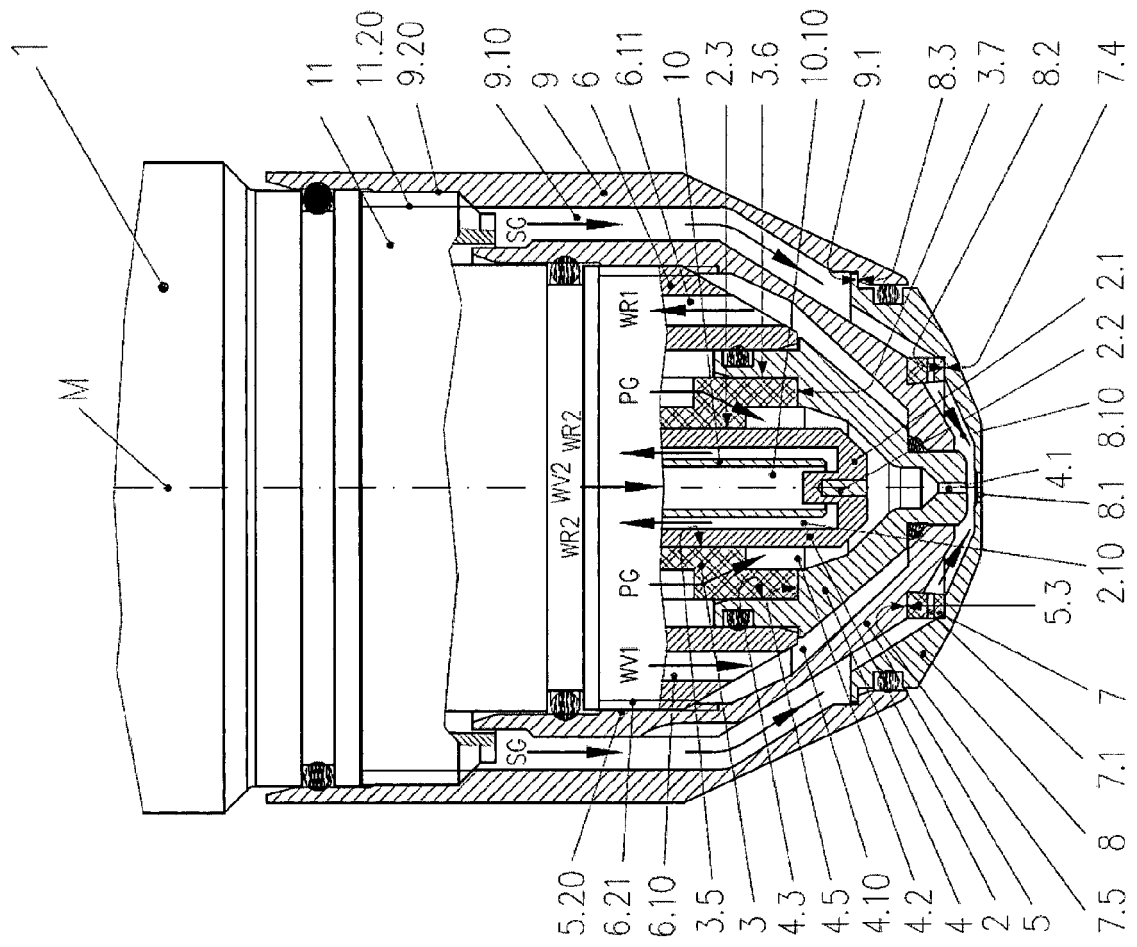
Figur 3



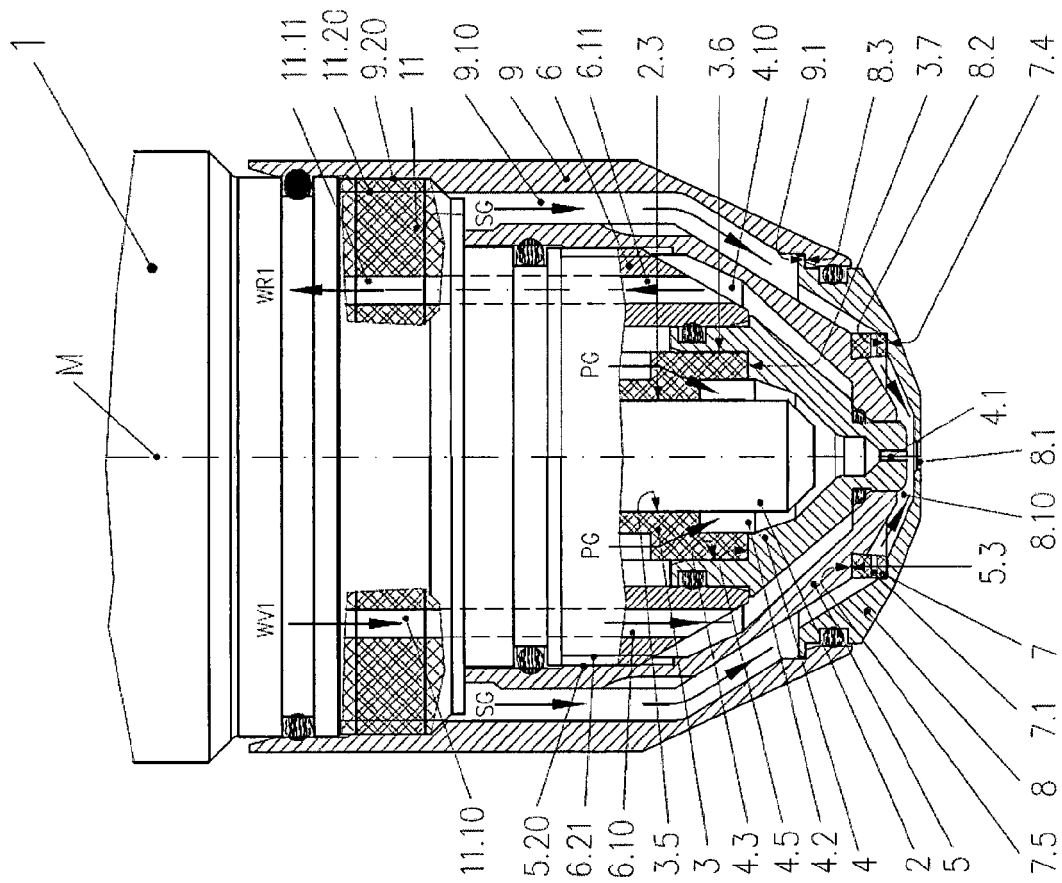
Figur 4



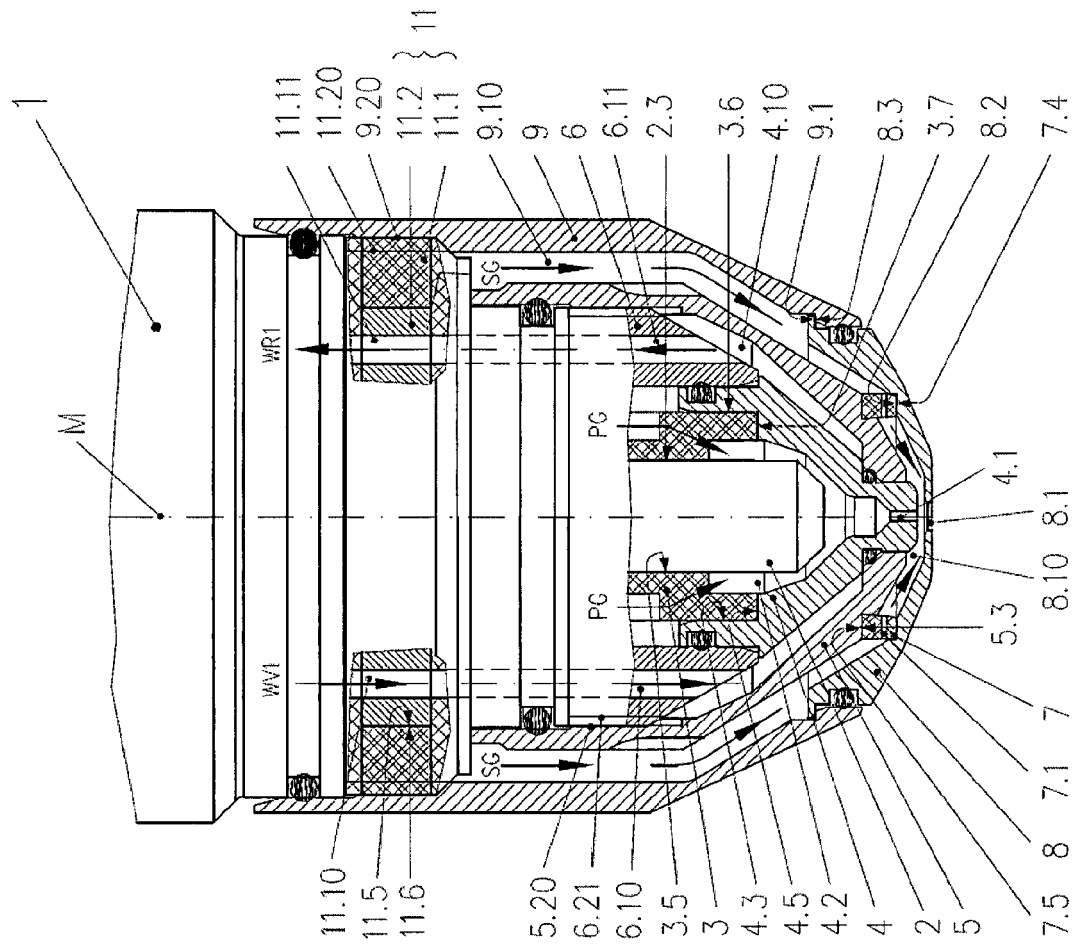
Figur 5



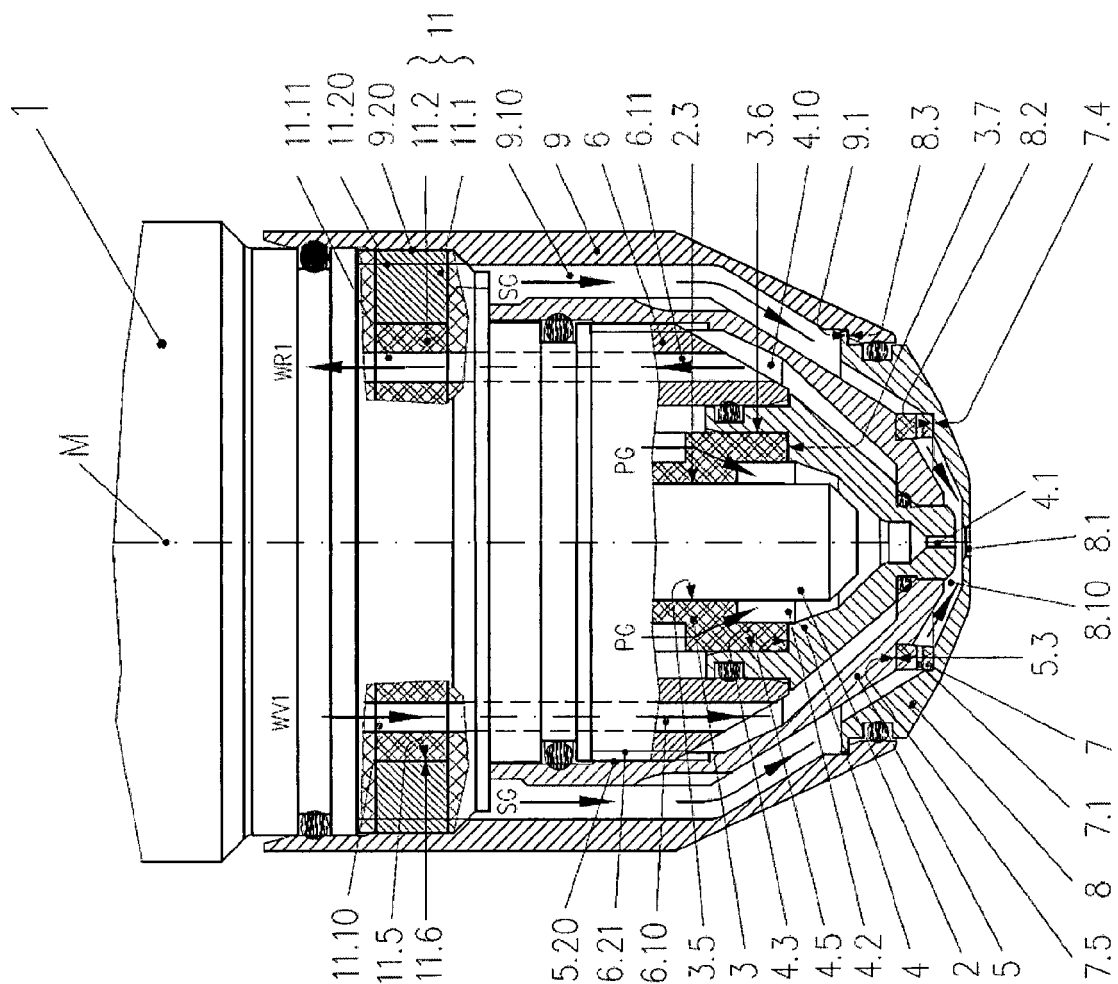
Figur 6



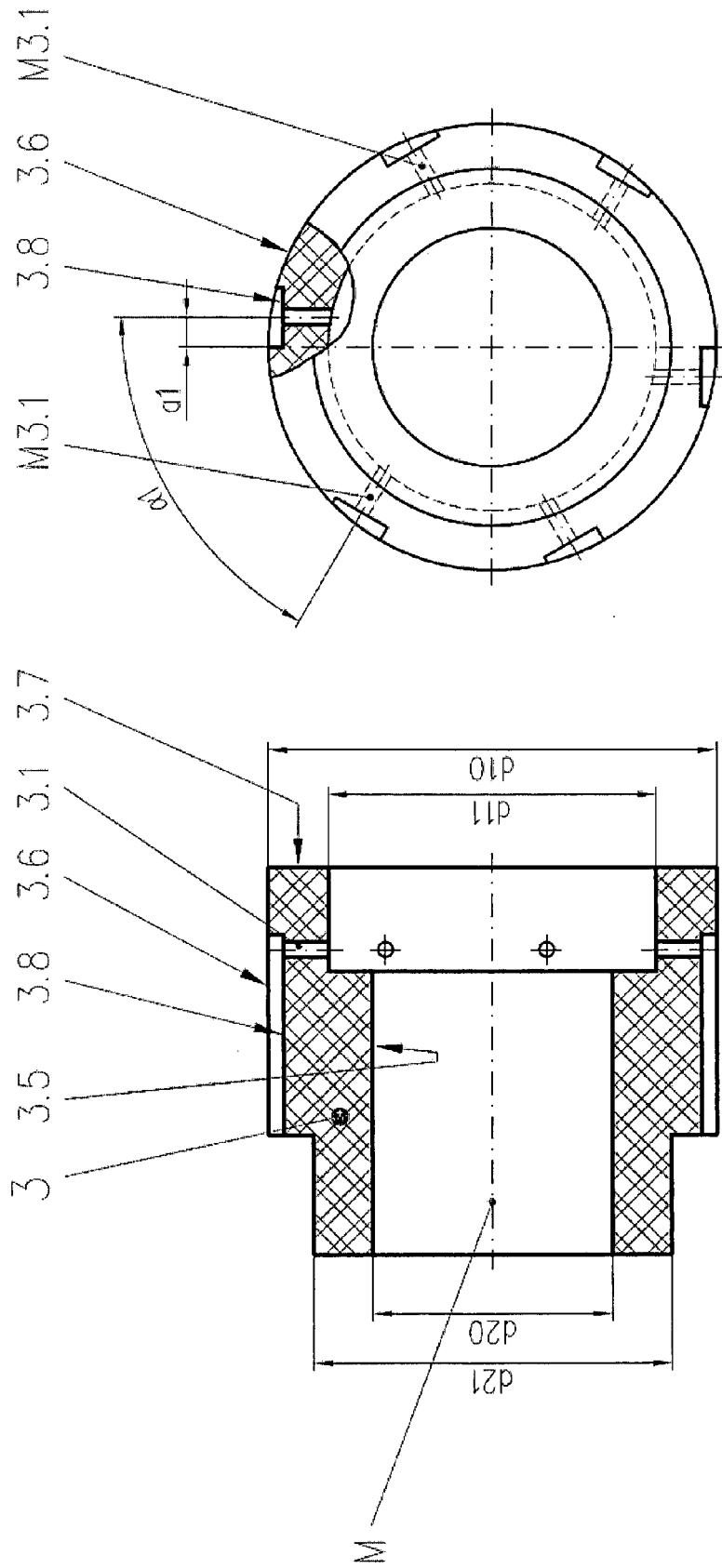
Figur 7



Figur 8

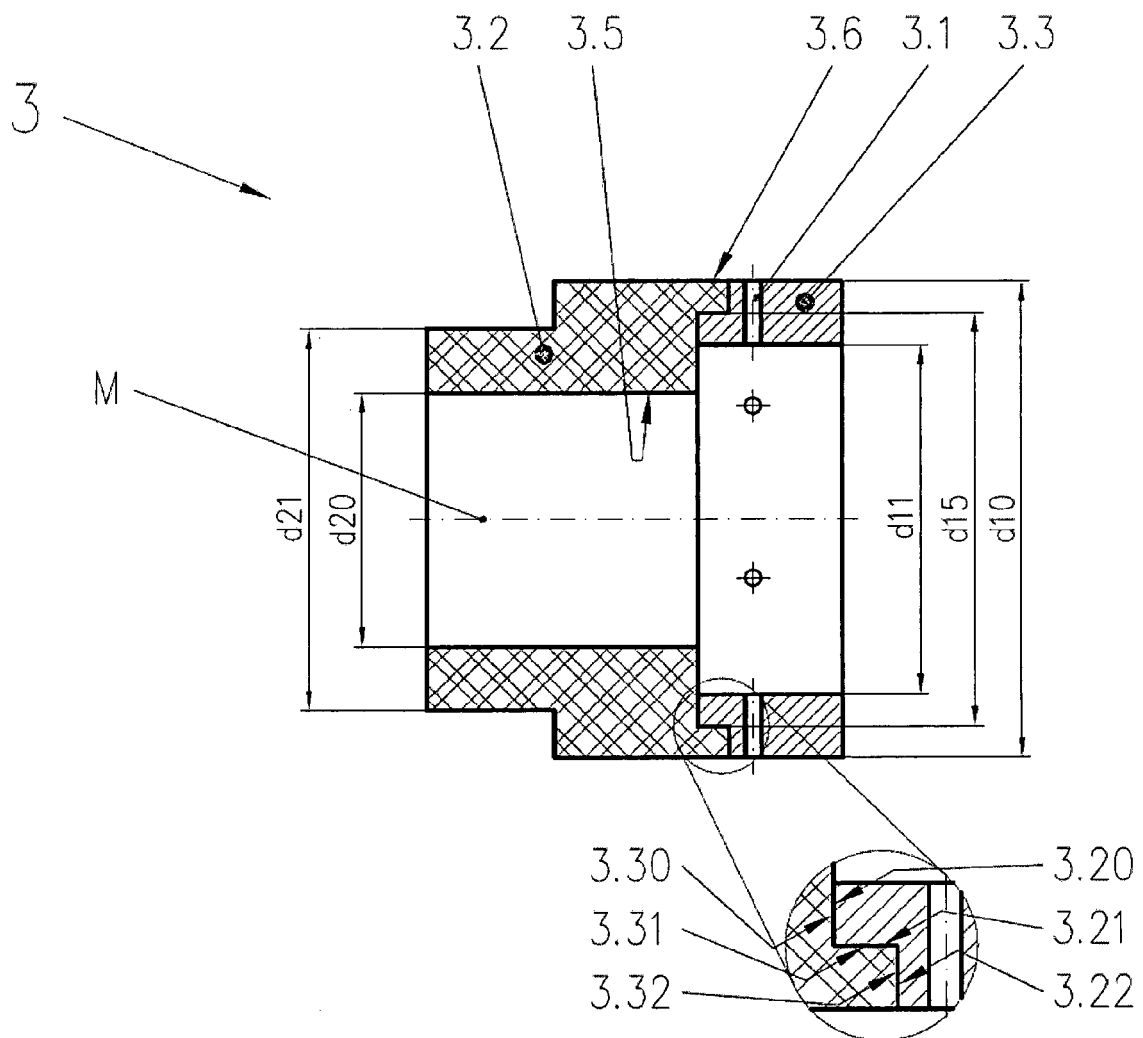


Figur 9

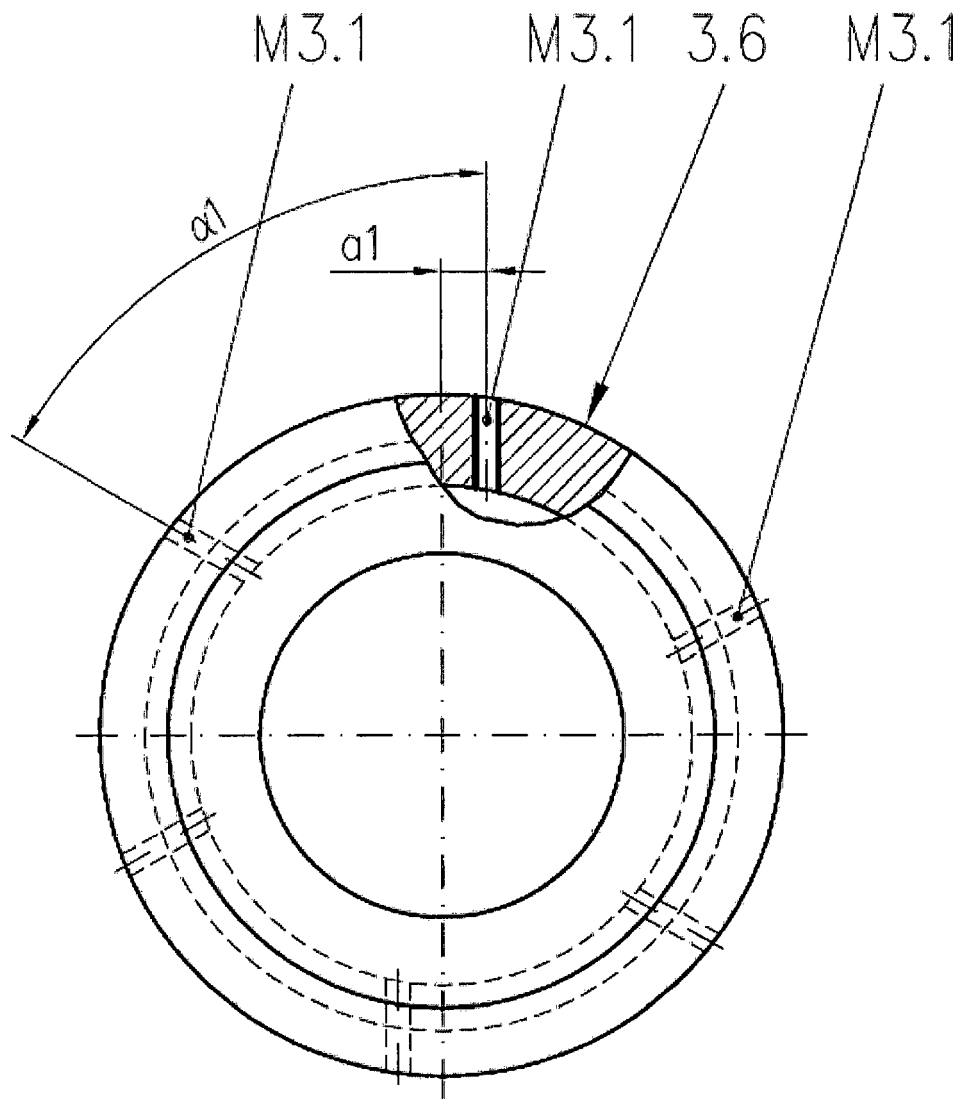


Figur 10b

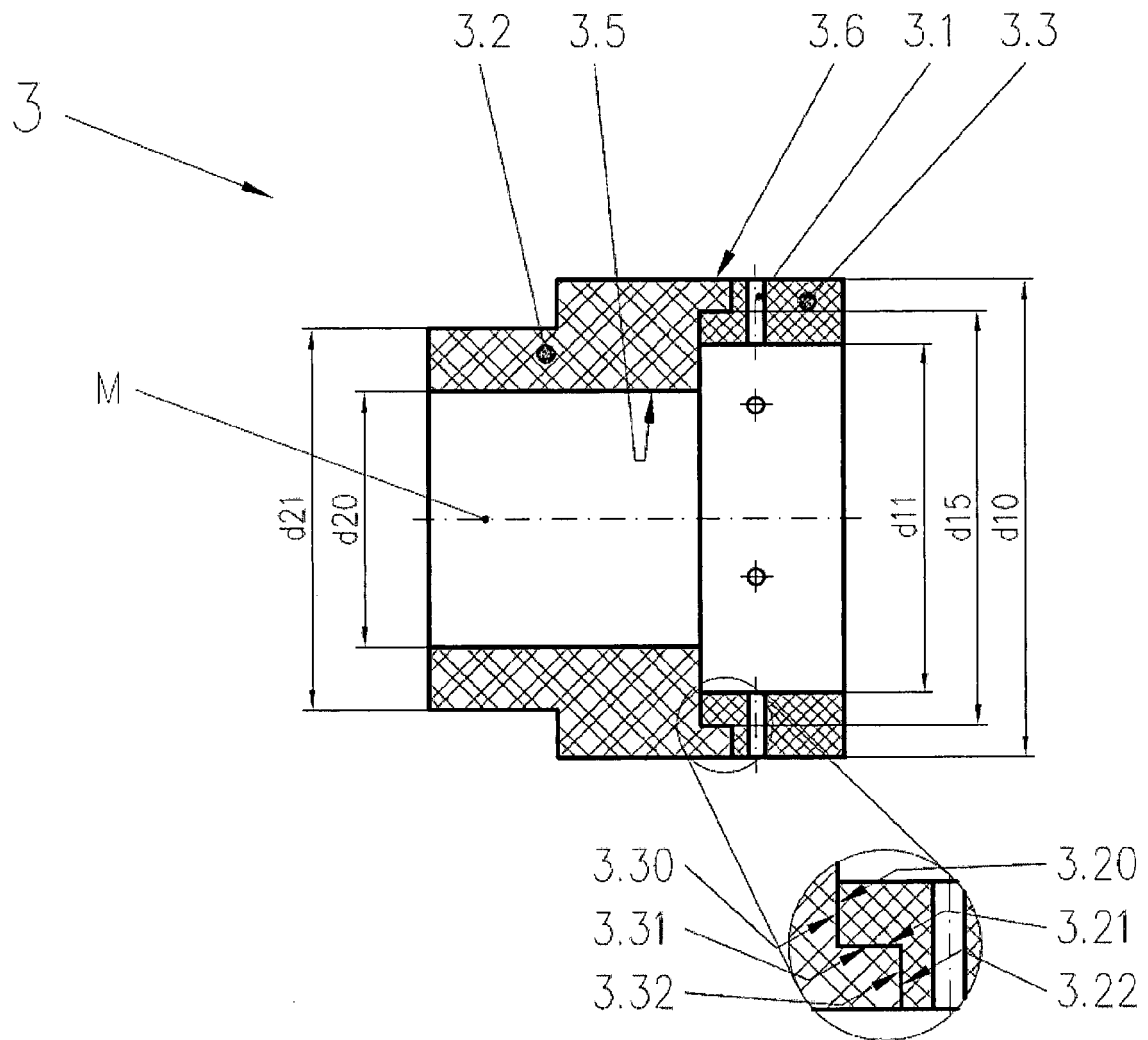
Figur 10a



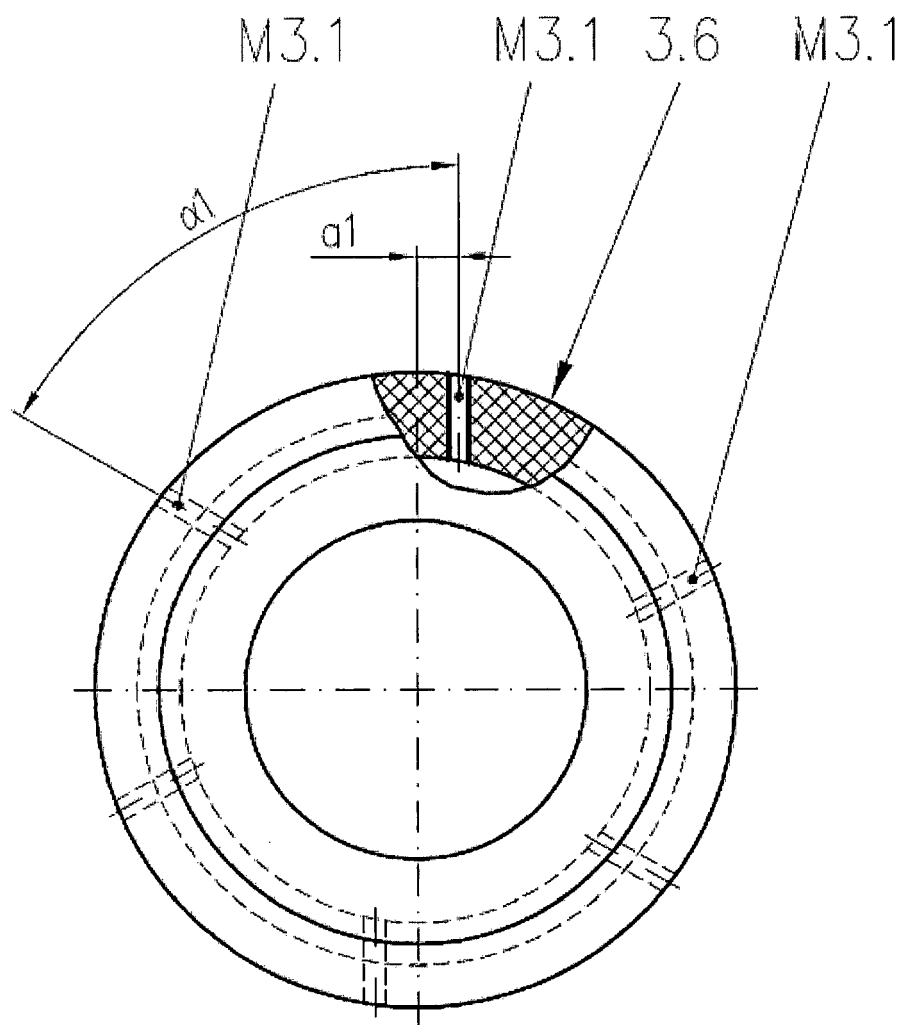
Figur 11a



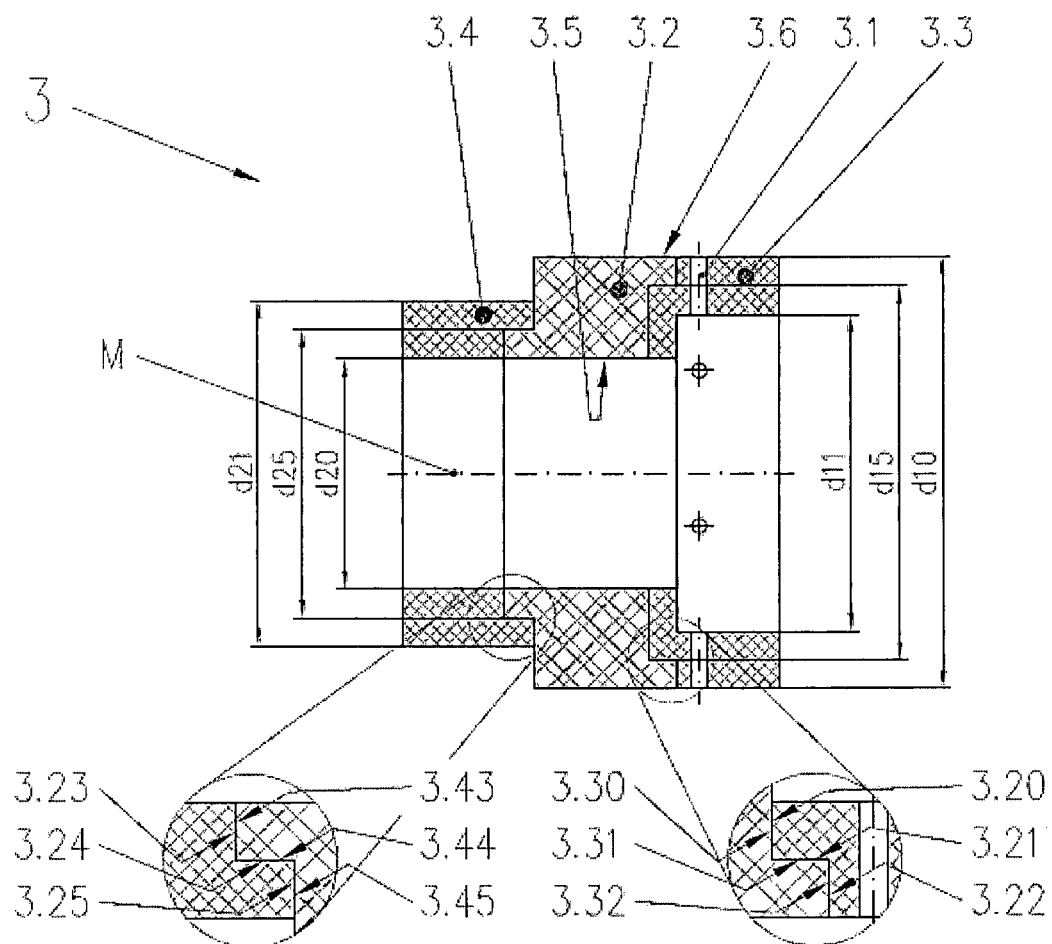
Figur 11b



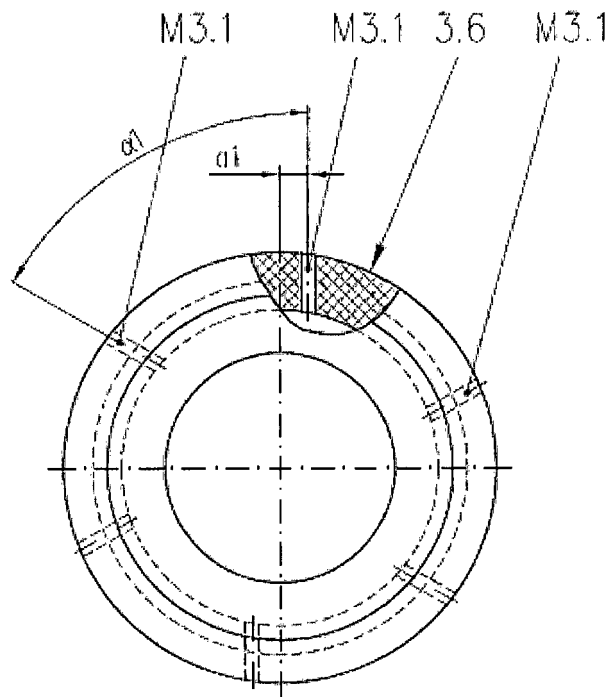
Figur 12a



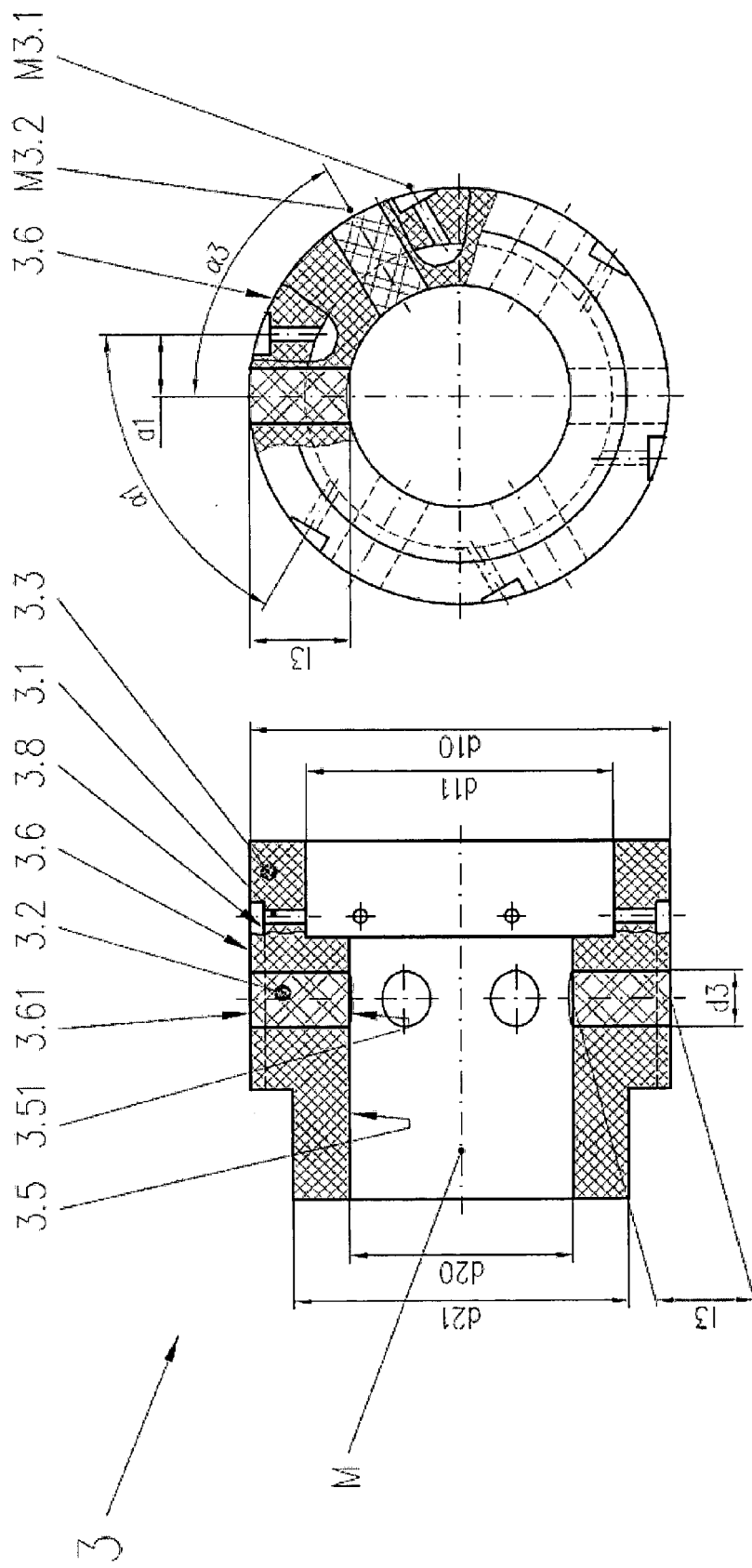
Figur 12b



Figur 13a

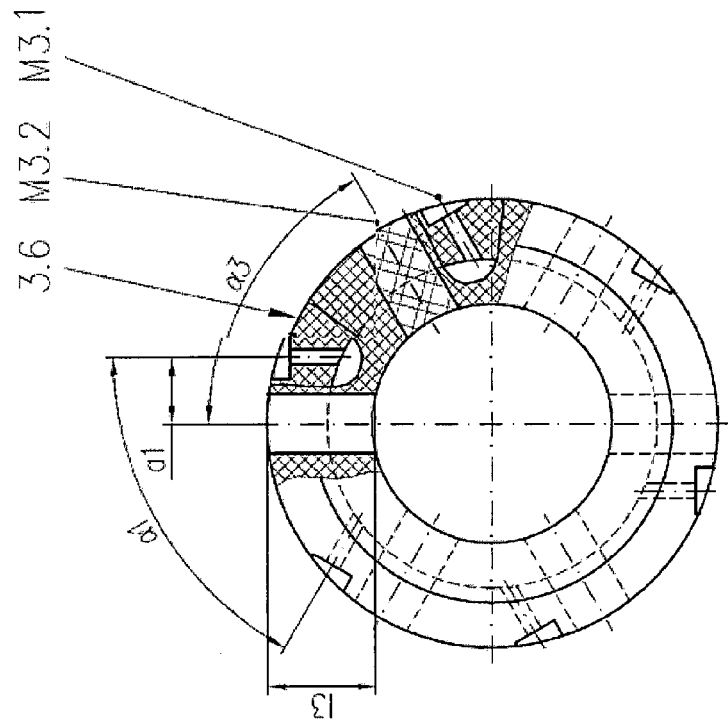


Figur 13b

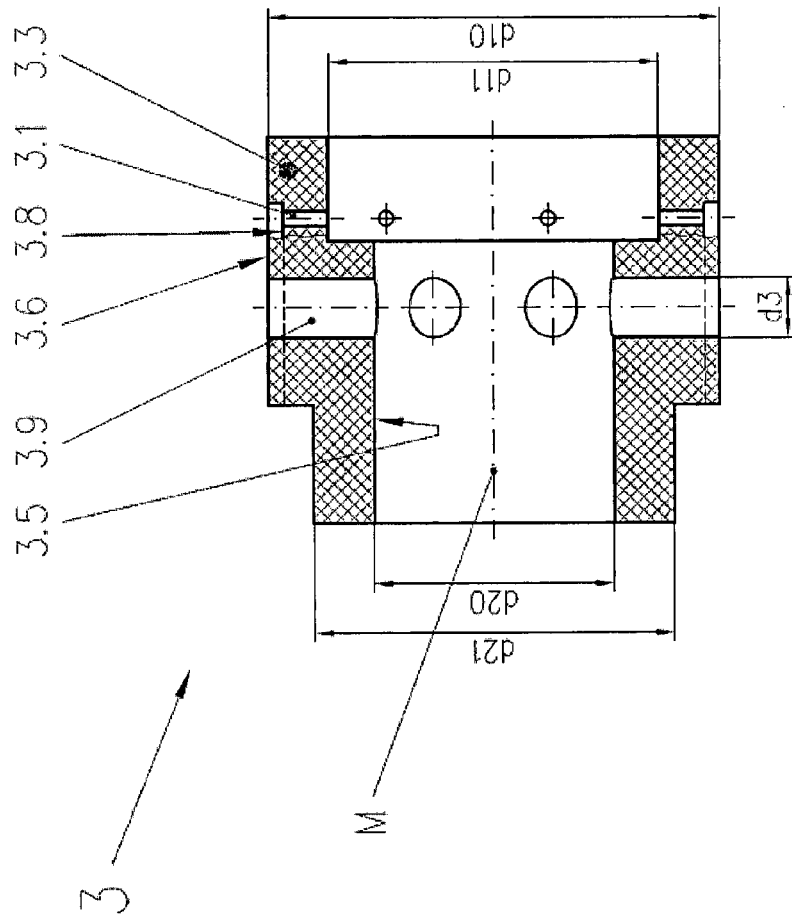


Figur 14b

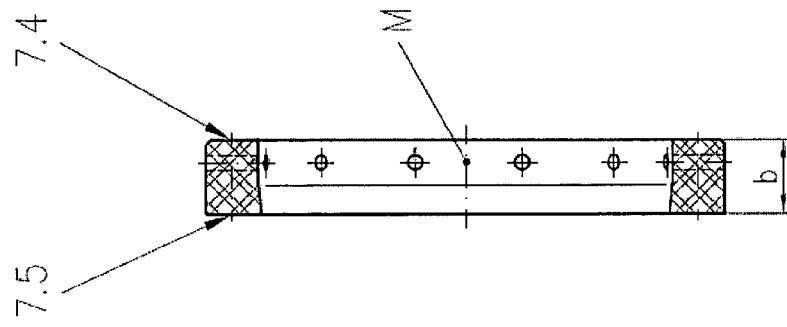
Figur 14a



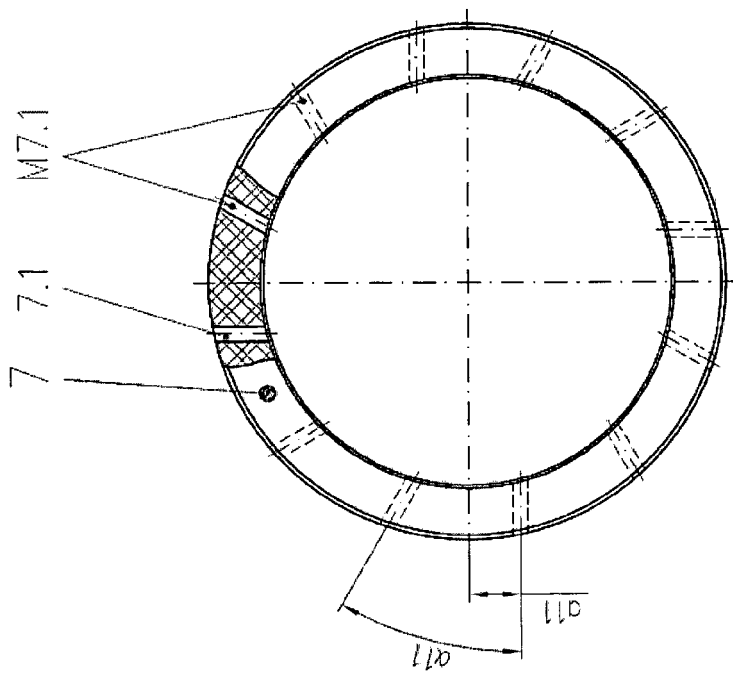
Figur 14d



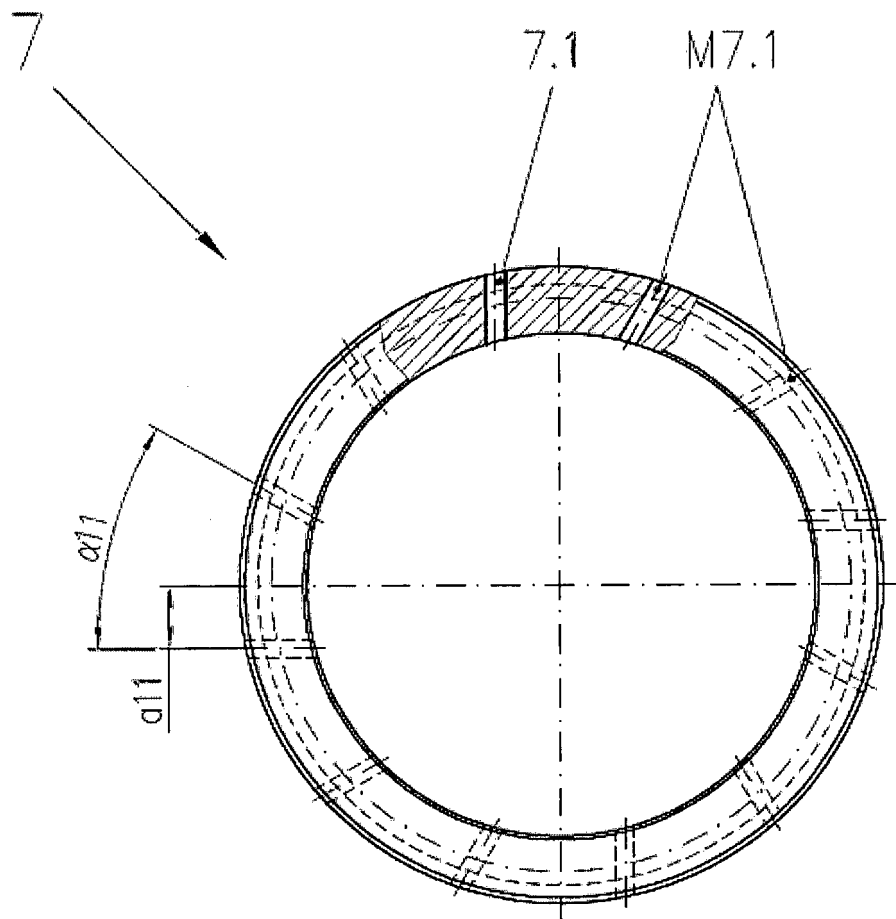
Figur 14c



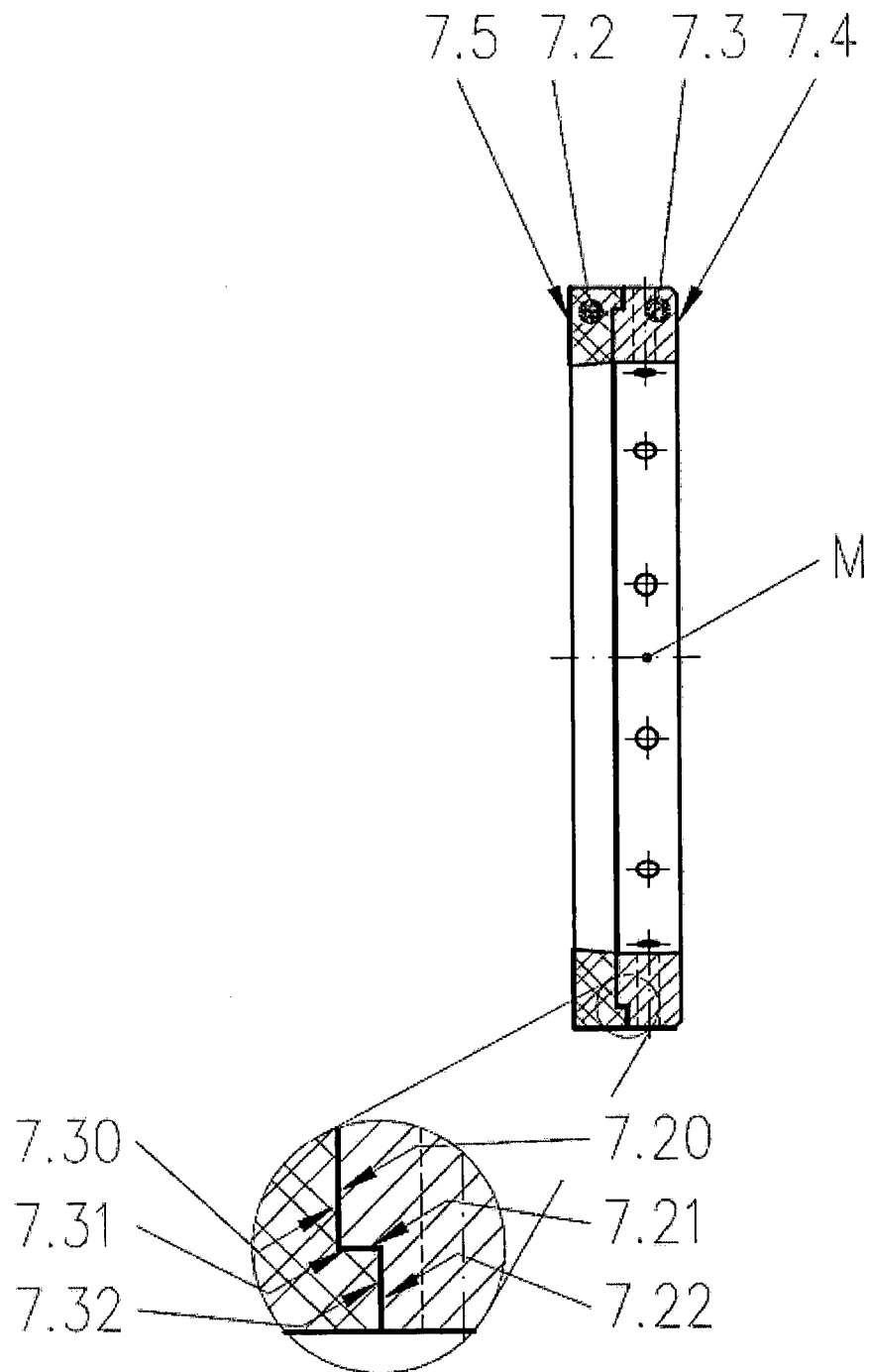
Figur 15b



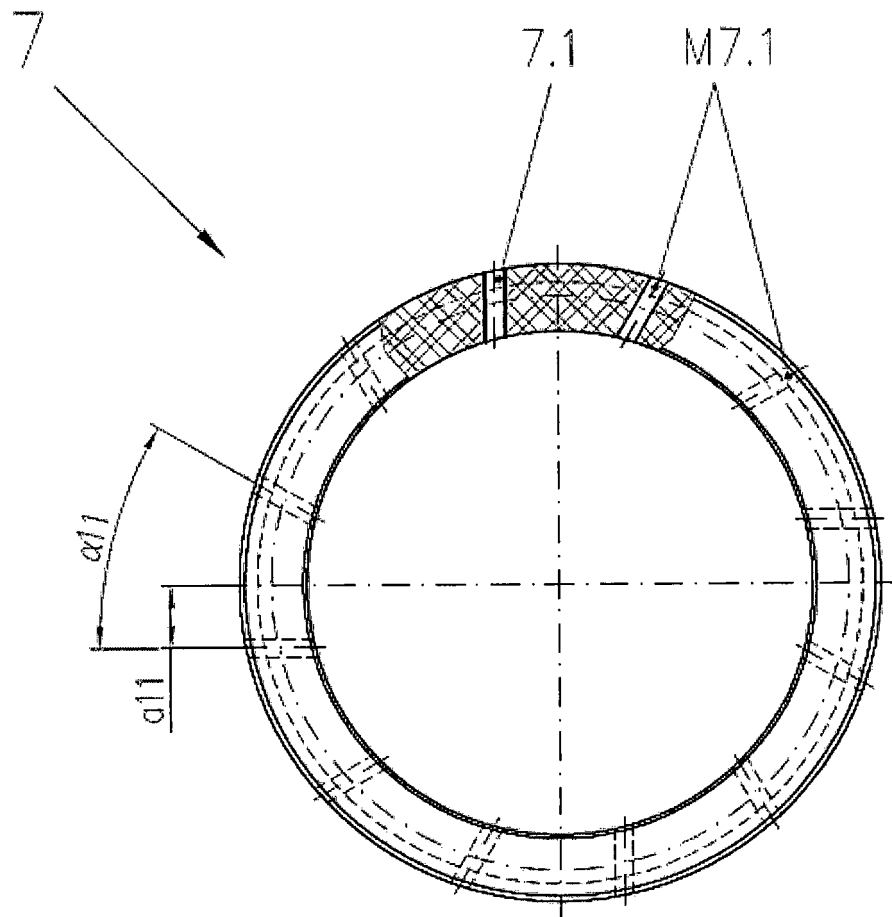
Figur 15a



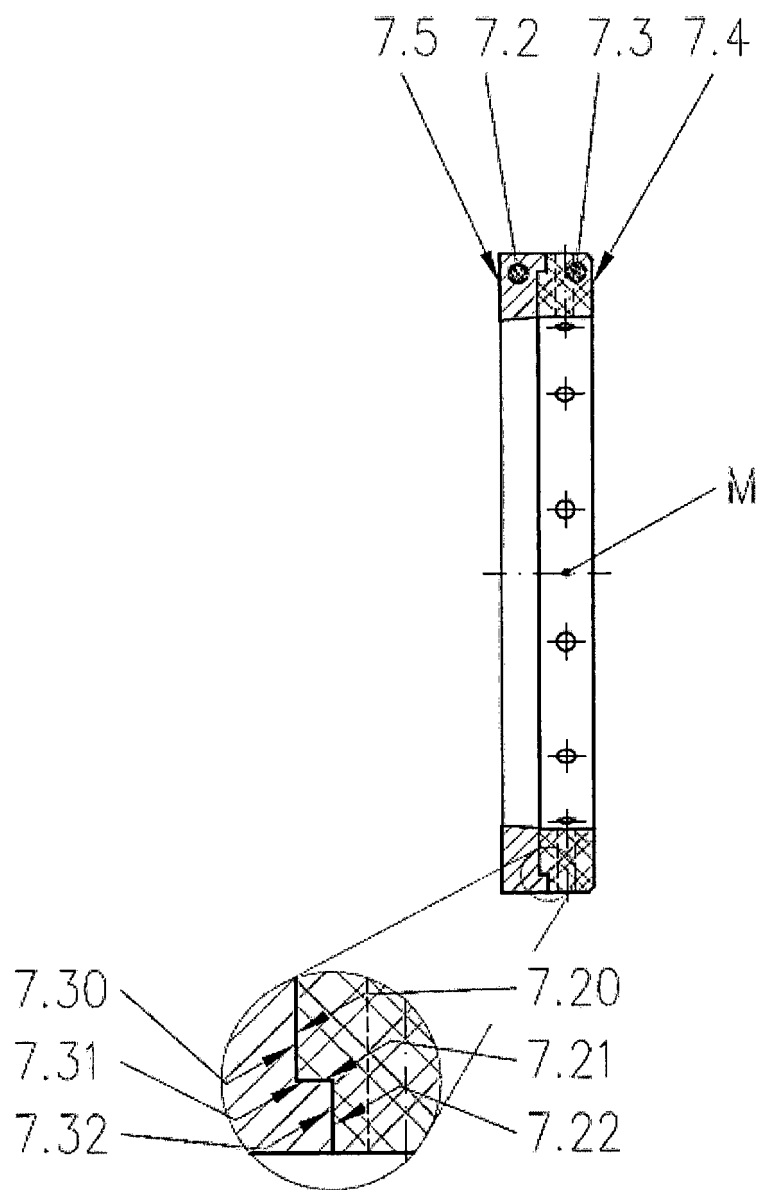
Figur 16a



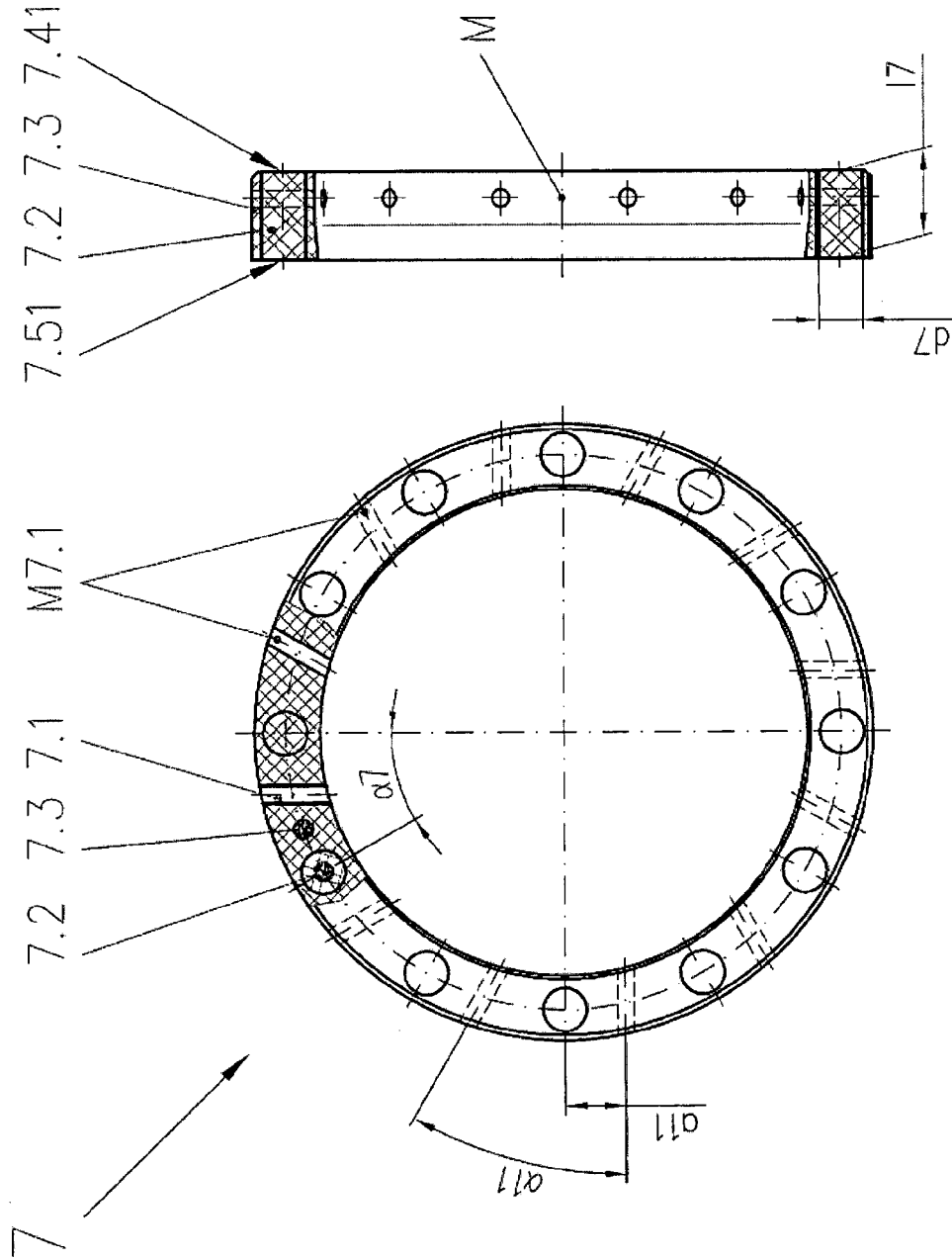
Figur 16b



Figur 17a

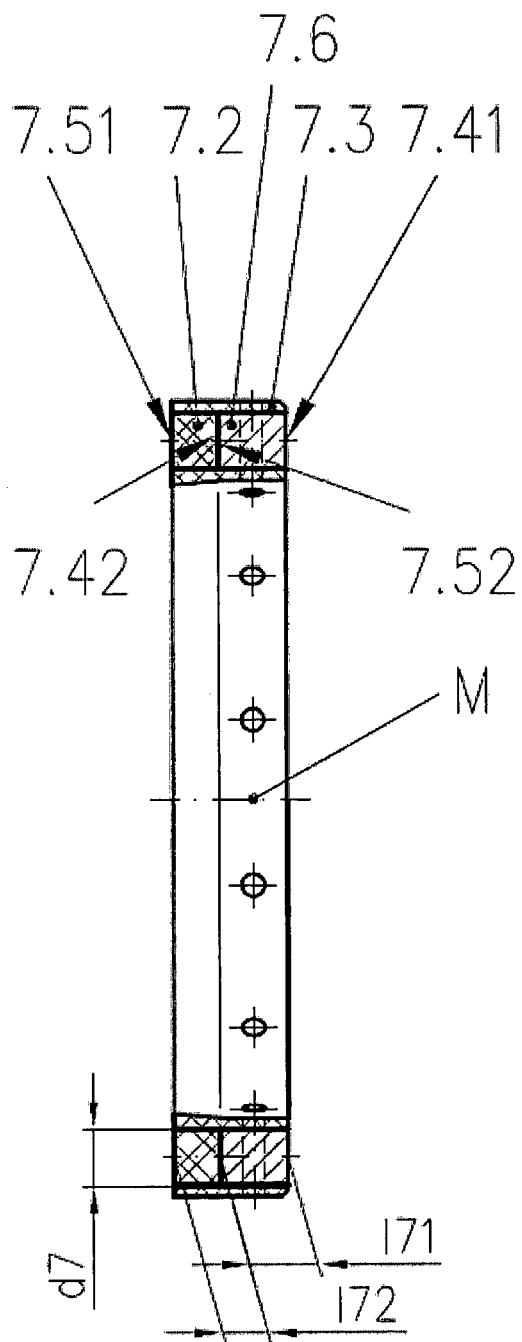


Figur 17b

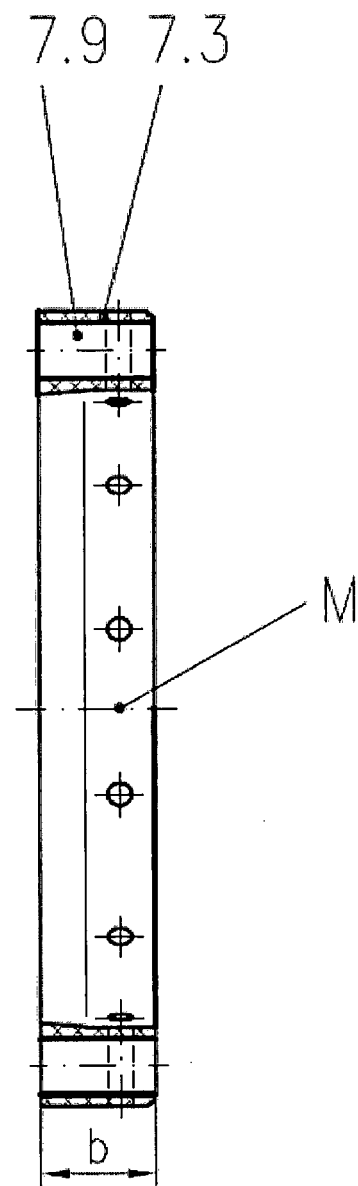


Figur 18b

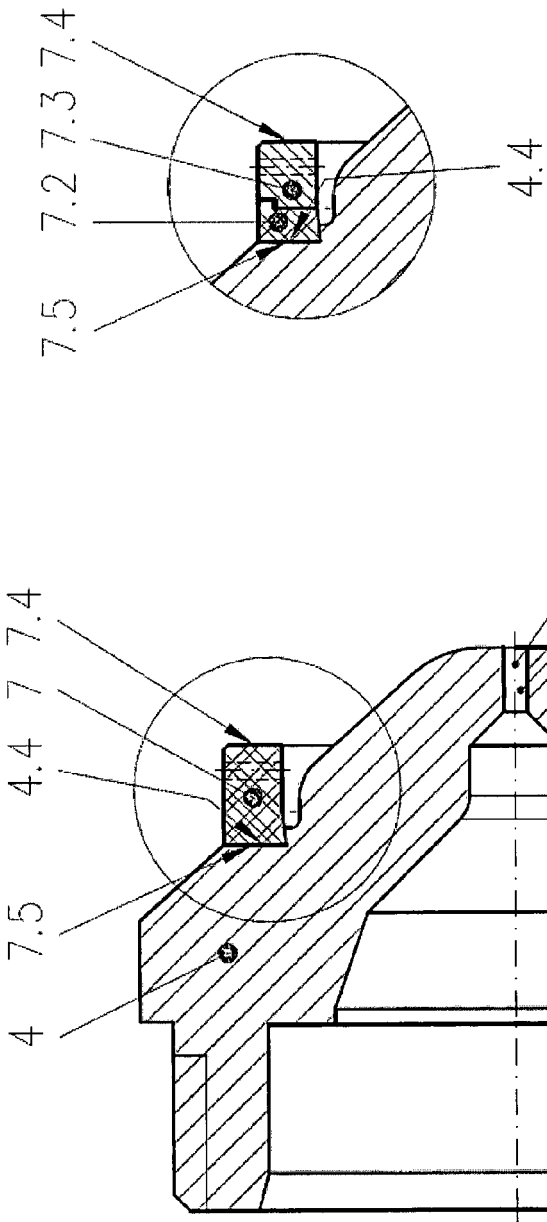
Figur 18a



Figur 18c

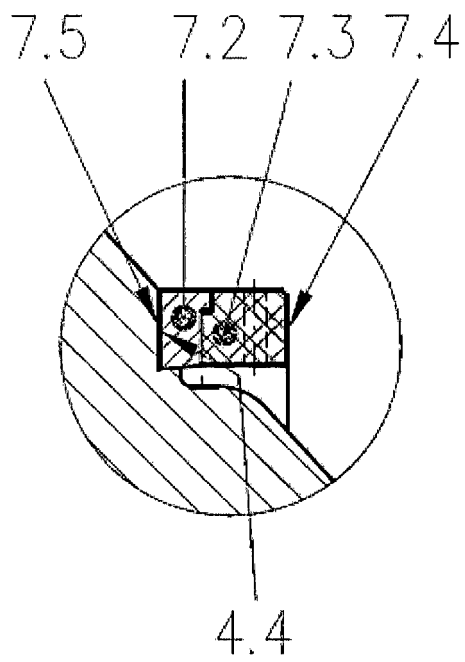


Figur 18d

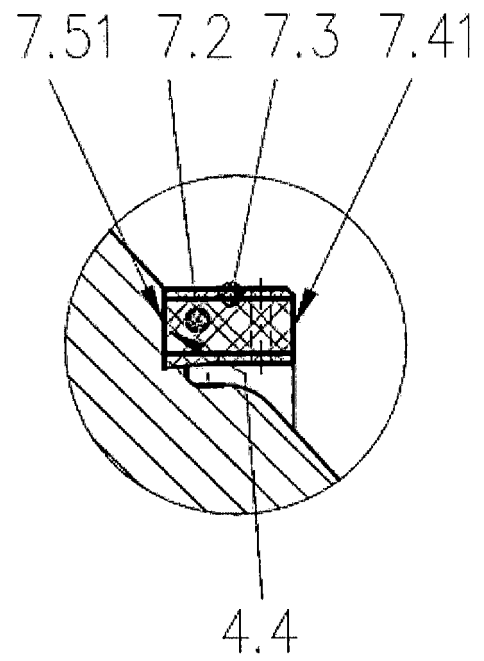


Figur 19b

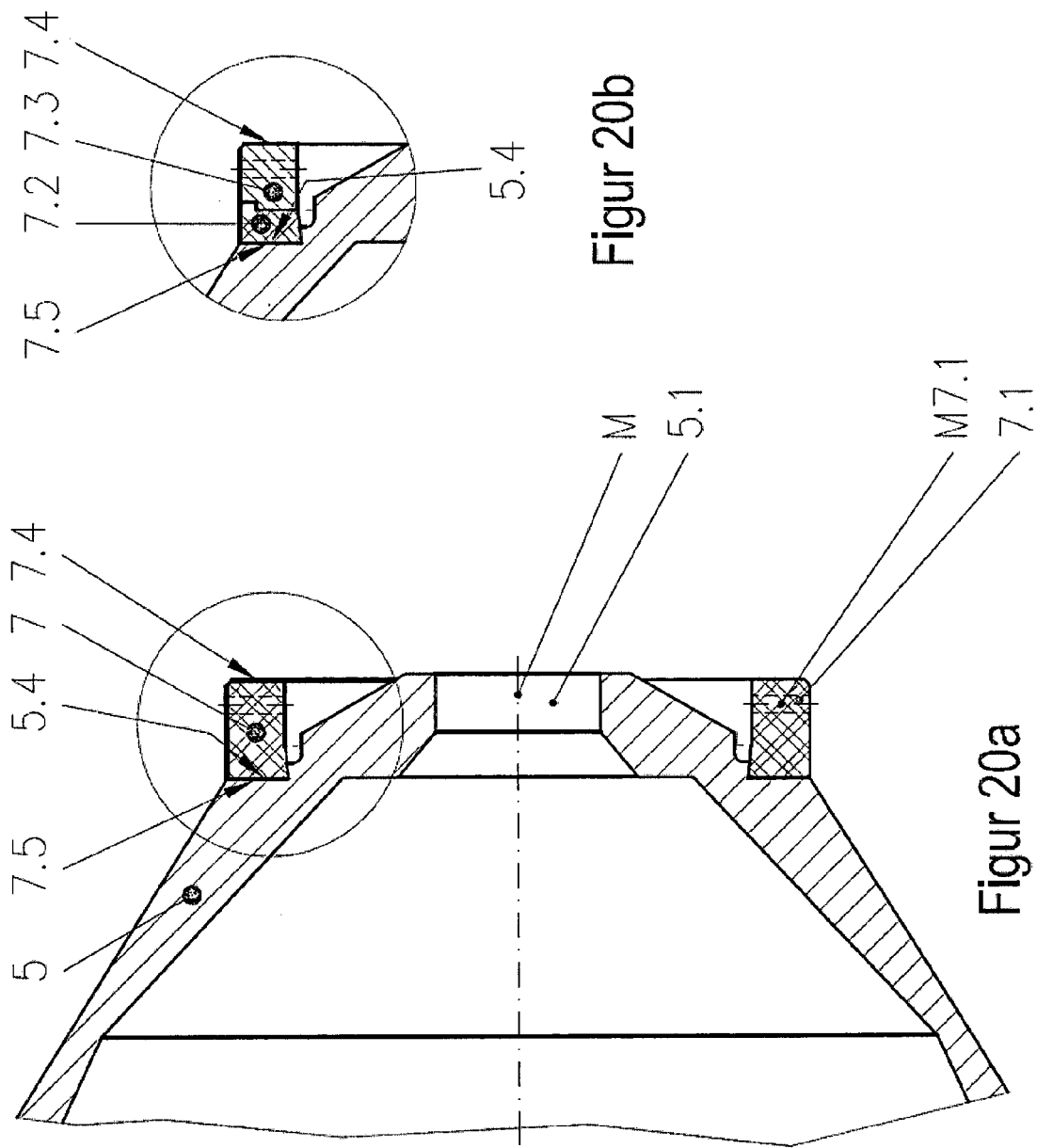
Figur 19a

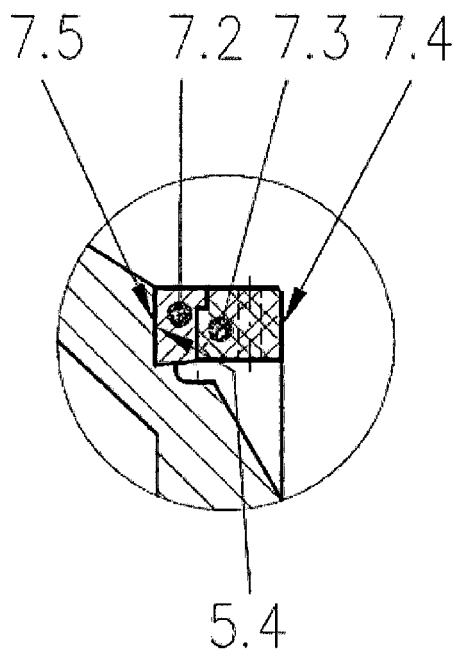


Figur 19c

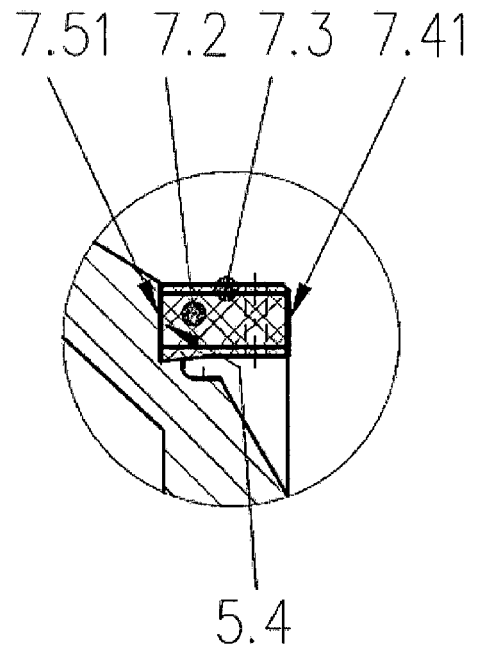


Figur 19d

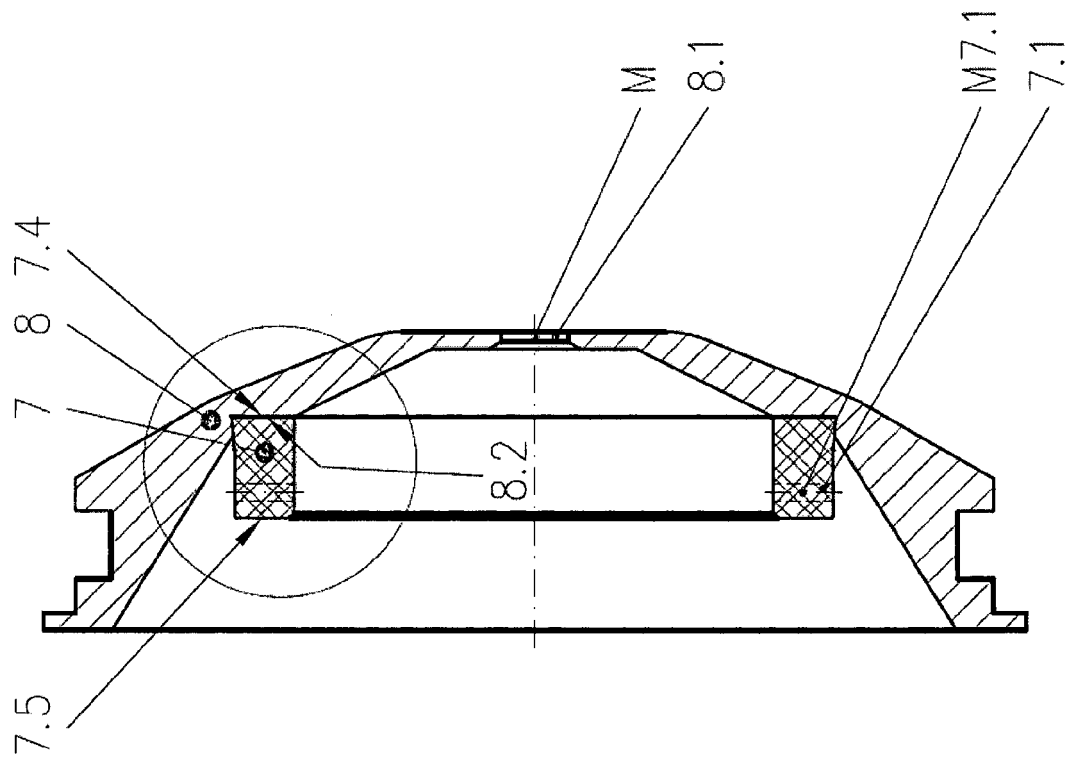




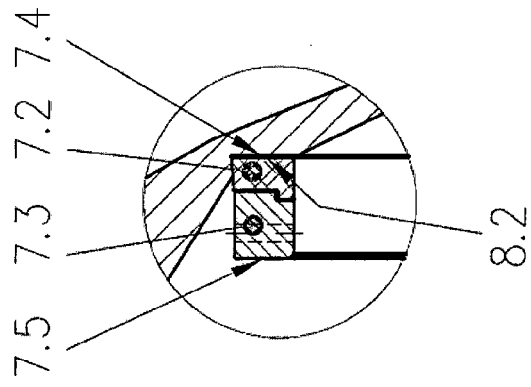
Figur 20c



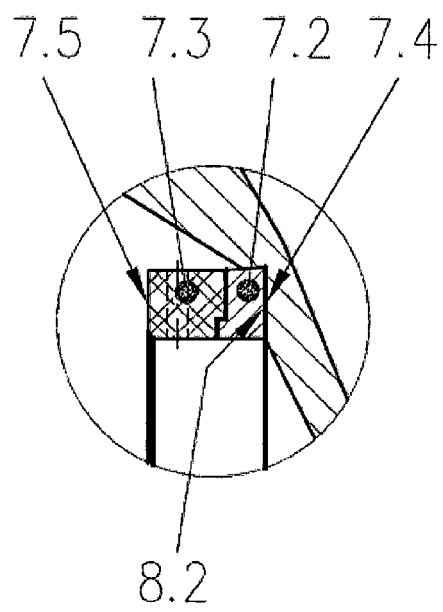
Figur 20d



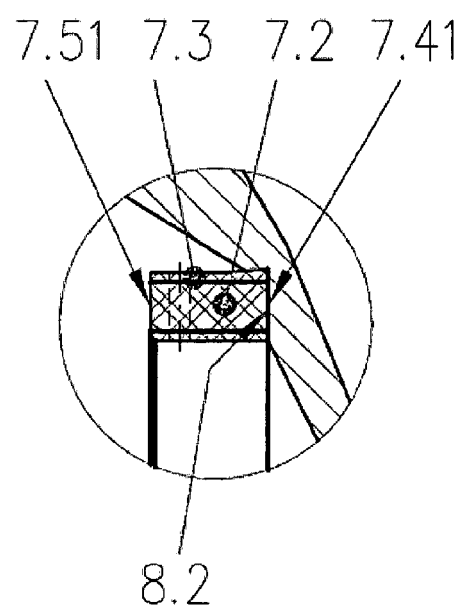
Figur 21a



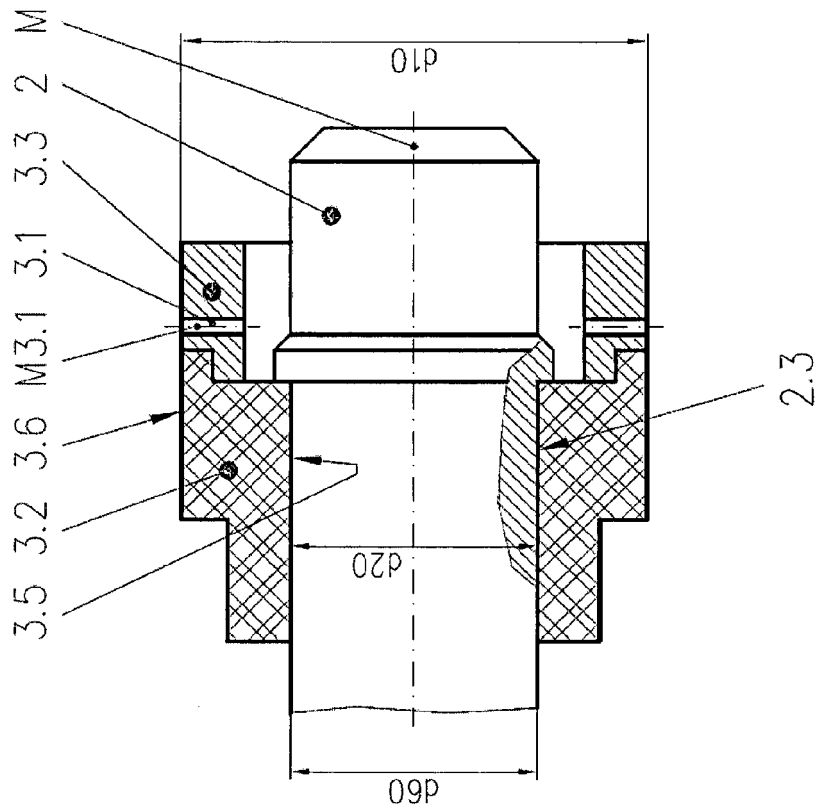
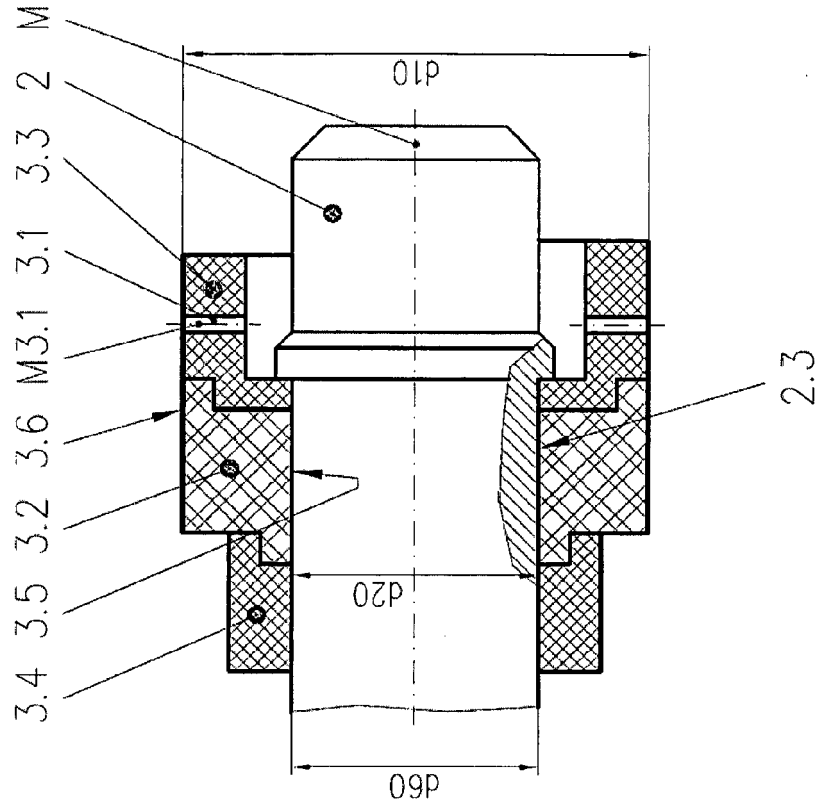
Figur 21b

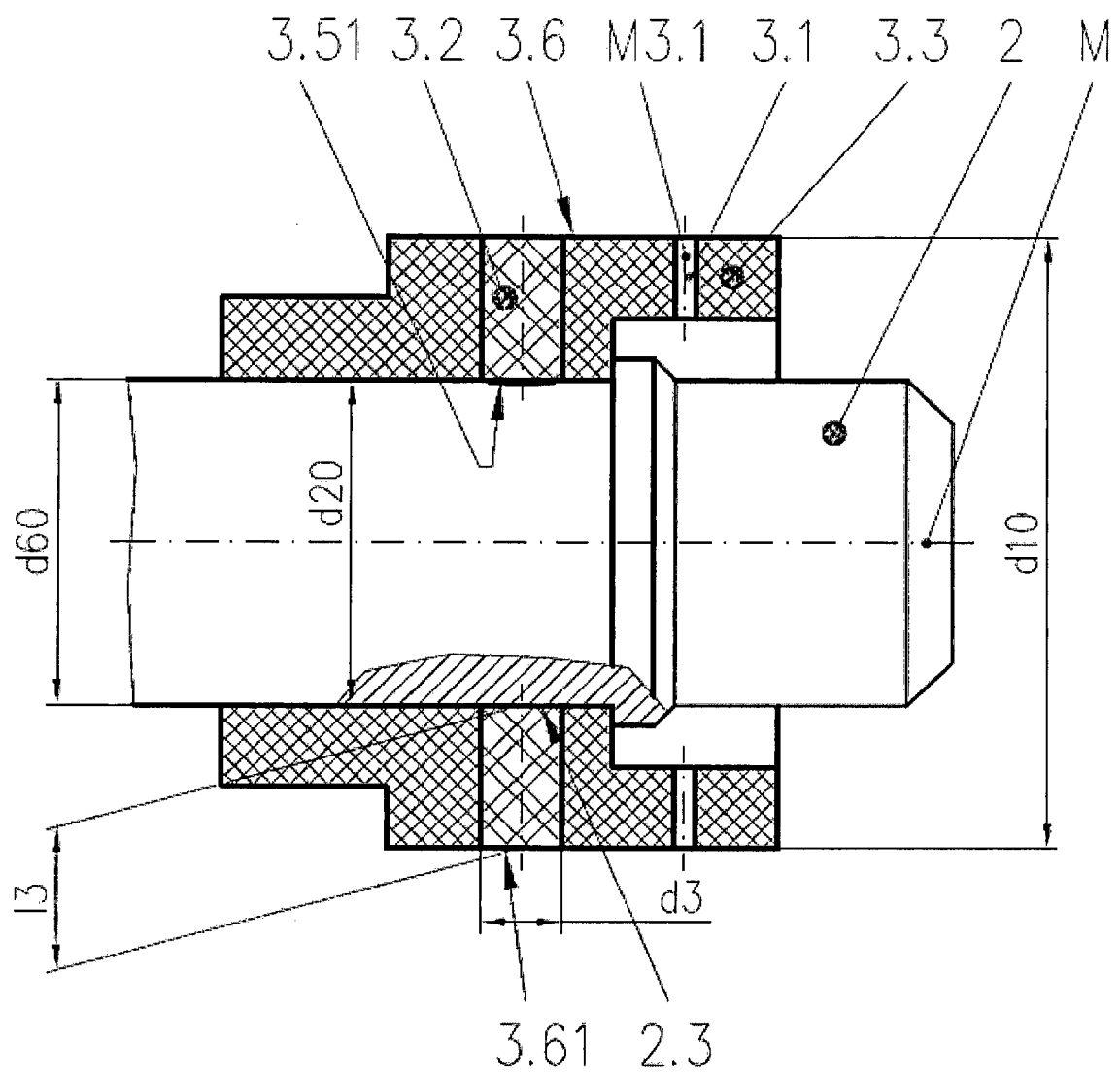


Figur 21c



Figur 21d





Figur 23