



(10) **DE 10 2016 214 146 A1** 2018.02.01

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2016 214 146.5**

(51) Int Cl.: **H05H 1/26 (2006.01)**

(22) Anmeldetag: **01.08.2016**

(43) Offenlegungstag: **01.02.2018**

(71) Anmelder:
Kjellberg Stiftung, 03238 Finsterwalde, DE

DE	24 04 013	A
US	2008 / 0 210 670	A1
US	2015 / 0 303 034	A1
US	4 580 032	A
US	4 692 584	A
EP	1 777 996	A1
EP	3 051 928	A1

(74) Vertreter:
**Pfenning, Meinig & Partner mbB Patentanwälte,
01067 Dresden, DE**

(72) Erfinder:
**Krink, Volker, 03238 Finsterwalde, DE; Grundke,
Timo, 03238 Finsterwalde, DE; Laurisch, Frank,
03238 Finsterwalde, DE; Nogowski, René, Dr. rer.
nat., 01187 Dresden, DE**

**Norm DIN EN ISO 9013 2014-12-00 Entwurf.
Thermisches Schneiden – Einteilung thermischer
Schnitte – Geometrische Produktspezifikation
und Qualität (ISO/DIS 9013:2014); Deutsche
Fassung prEN ISO 9013:2014**

(56) Ermittelte Stand der Technik:

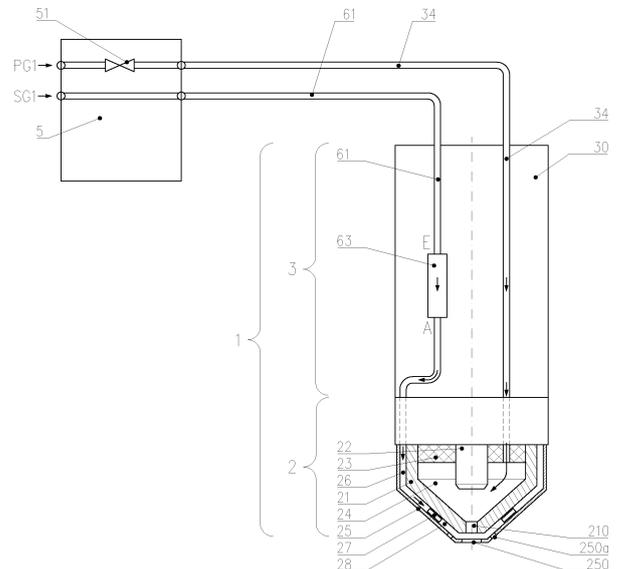
DE	10 2006 038 134	B4
DE	10 2004 049 445	A1
DE	10 2006 018 858	A1
DE	692 32 651	T2

Rechercheantrag gemäß § 43 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Plasmabrenner**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft einen Plasmabrenner, insbesondere Plasmaschneidbrenner, bei dem durch mindestens eine Zuführung mindestens ein Sekundärmedium durch ein Gehäuse des Plasmabrenners bis zu einer Düsenchutzkappenöffnung und/oder weiteren Öffnungen, die in einer Düsenchutzkappe vorhanden sind, geführt ist. In der mindestens einen Zuführung ist unmittelbar innerhalb des Gehäuses des Plasmabrenners mindestens ein Ventil zum Öffnen und Verschließen der Zuführung vorhanden.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft einen Plasmapbrenner, insbesondere einen Plasmaschneidbrenner.

[0002] Als Plasma wird ein thermisch hoch aufgeheiztes elektrisch leitfähiges Gas bezeichnet, das aus positiven und negativen Ionen, Elektronen sowie angeregten und neutralen Atomen und Molekülen besteht. Als Plasmagas werden unterschiedliche Gase, zum Beispiel das einatomige Argon und/oder die zweiatomigen Gase Wasserstoff, Stickstoff, Sauerstoff oder Luft eingesetzt. Diese Gase ionisieren und dissoziieren durch die Energie eines Lichtbogens. Der durch eine Düse eingeschnürte Lichtbogen wird dann als Plasmastrahl bezeichnet. Der Plasmastrahl kann in seinen Parametern durch die Gestaltung der Düse und Elektrode stark beeinflusst werden. Diese Parameter des Plasmastrahls sind zum Beispiel der Strahldurchmesser, die Temperatur, Energiedichte und die Strömungsgeschwindigkeit des Gases.

[0003] Beim Plasmaschneiden wird das Plasma in der Regel mittels einer Düse, die gas- oder wassergekühlt sein kann, eingeschnürt. Dadurch können Energiedichten bis $2 \times 10^6 \text{ W/cm}^2$ erreicht werden. Im Plasmastrahl entstehen Temperaturen bis $30.000 \text{ }^\circ\text{C}$, die in Verbindung mit der hohen Strömungsgeschwindigkeit des Gases sehr hohe Schneidgeschwindigkeiten an Werkstoffen realisieren.

[0004] Plasmapbrenner bestehen üblicherweise aus einem Plasmapbrennerkopf und einem Plasmapbrennerschaft. Im Plasmapbrennerkopf sind eine Elektrode und eine Düse befestigt. Zwischen ihnen strömt das Plasmagas, das durch die Düsenbohrung austritt. Meistens wird das Plasmagas durch eine Gasführung, die zwischen der Elektrode und der Düse angebracht ist, geführt und kann in Rotation gebracht werden. Moderne Plasmapbrenner verfügen zudem über eine Zuführung für ein Sekundärmedium, entweder ein Gas oder eine Flüssigkeit. Die Düse wird dann von einer Düsenschutzkappe umgeben. Die Düse wird insbesondere bei flüssigkeitsgekühlten Plasmapbrennern durch eine Düsenskappe, wie beispielsweise in DE 10 2004 049 445 A1 beschrieben, fixiert. Zwischen der Düsenskappe und der Düse strömt dann das Kühlmedium. Zwischen der Düse oder der Düsenskappe und der Düsenschutzkappe strömt dann das Sekundärmedium und tritt aus der Bohrung der Düsenschutzkappe aus. Es beeinflusst den durch den Lichtbogen und das Plasmagas gebildeten Plasmastrahl. Es kann durch eine Gasführung, die zwischen Düse oder Düsenskappe und Düsenschutzkappe angeordnet ist, in Rotation versetzt werden.

[0005] Die Düsenschutzkappe schützt die Düse und die Düsenskappe vor der Wärme oder dem heraus-spritzendem geschmolzenen Metall des Werkstücks, insbesondere beim Einstechen des Plasmastrahls in

den Werkstoff des zu schneidende Werkstücks. Außerdem schafft es um den Plasmastrahl beim Schneiden eine definierte Atmosphäre.

[0006] So wird häufig Stickstoff als Sekundärmedium eingesetzt, um beim Plasmaschneiden legierter Stähle zu verhindern, dass der in der Umgebungsluft vorhandene Sauerstoff mit den heißen Schnittkanten in Kontakt kommt und diese oxidiert. Außerdem bewirkt der Stickstoff, dass die Oberflächenspannung der Schmelze reduziert und somit besser aus der Schnittfuge ausgetrieben wird.

[0007] Es entstehen bartfreie Schnitte.

[0008] Auch bei der Verwendung von Sauerstoff als Plasmagas für das Schneiden von Baustählen können durch unterschiedliche Zusammensetzungen des Sekundärmediums, wie in DE 10 2006 018 858 A1 beschrieben, z. B. unterschiedliche Stickstoff und Sauerstoffanteile, unterschiedliche Effekte hinsichtlich der Schnittqualität erzielt werden.

[0009] Ebenso ist bekannt, zwischen den einzelnen Schneidvorgängen die Zusammensetzung des Sekundärmediums zu ändern, um zunächst kleine Löcher und dann große Konturen zu schneiden. Das Umschalten erfolgt dabei in dem Zeitraum, in dem nicht geschnitten wird.

[0010] Bekannt sind auch Anordnungen, bei denen Ventile, bevorzugt elektromagnetisch betriebene Ventile, das Sekundärmedium umschalten oder regeln. Diese befinden sich an einer Koppereinheit zwischen den Gasschläuchen des Plasmapbrenners und den Versorgungsschläuchen zur Gasversorgung sind.

[0011] Nachteile des Standes der Technik sind:

- Es ist kein schnelles Ein- und Ausschalten des Sekundärmediums möglich
- Es ist kein schnelles Umschalten von einem auf ein anderes Sekundärmedium möglich
- Es kann während des Schneidens nicht schnell auf Veränderungen, z.B. beim Anschneiden, Einstechen, Durchstechen, während des Schneidens, des Überfahrens der Schnittfuge oder am Schnittende durch Umschalten des Sekundärmediums reagiert werden.
- Es ist kein schneller Wechsel zwischen zwei Schneidvorgängen möglich

[0012] Ursache dafür sind Leitungen zwischen Ventilen und dem Plasmapbrenner. Besonders kritisch ist dies, wenn zwischen unterschiedlichen Sekundärmedien, beispielsweise einem oxidierenden (Sauerstoff, Luft) und einem nicht oxidierenden Gas oder Gasgemisch umgeschaltet werden muss. Kritisch ist ebenfalls das Umschalten zwischen einer Flüssigkeit (z. B. Wasser, Emulsion, Öl, Aerosol) und einem Gas,

[0024] Vorteilhaft kann als Schnellwechselbrenner mit einem von einem Plasmabrennerkopf trennbaren Plasmabrennerschaft ausgebildet sein. Dadurch kann schnell und einfach an unterschiedliche Bearbeitungsaufgaben erreicht werden.

[0025] Die Düsenschutzkappe sollte zusätzlich zur Düsenschutzkappenöffnung oder einer Halterung der Düsenschutzkappe über mindestens eine Öffnung verfügen, durch die zumindest ein Teil eines der Sekundärmedien strömt. Bei mehreren vorhandenen Öffnungen kann jeweils ein Sekundärmedium durch eine oder mehrere ausgewählte Öffnung(en) in Richtung Werkstückoberfläche austreten. Es besteht aber auch die Möglichkeit, wie bereits angesprochen durch eine Gruppe von Öffnungen ein Sekundärmedium und durch Öffnungen, die einer anderen Gruppe zugeordnet sind ein anderes Sekundärmedium ausströmen zu lassen. Es kann auch mindestens eine Öffnung vorhanden sein, durch die ein Sekundärmediumgemisch, das aus zwei unterschiedlichen Sekundärmedien gebildet ist, austreten kann.

[0026] Es können gasförmige und/oder flüssige Sekundärmedien eingesetzt werden. Dabei kann es sich um zwei unterschiedliche Gase, z.B. ausgewählt sind aus Sauerstoff, Stickstoff und einem Edelgas sind, zwei unterschiedliche Flüssigkeiten, die z.B. ausgewählt sind aus Wasser, einer Emulsion, Öl und einem Aerosol oder um ein gasförmiges und ein flüssiges Sekundärmedium handeln. Es besteht aber auch die Möglichkeit, zwei Sekundärmediumgemische einzusetzen, die jeweils mit den gleichen Gasen und/oder Flüssigkeiten gebildet sind und sich dabei lediglich die Anteile der das jeweilige Gemisch bildenden Sekundärmedien voneinander unterscheiden. Dies kann beispielsweise ein unterschiedlicher Anteil an im Sekundärmediengemisch enthaltenem Sauerstoff sein.

[0027] Das/die Ventil(e), die in einer Zuführungen für Sekundärmedium angeordnet ist/sind, sollte(n) geöffnet sein, wenn zumindest ein Teil des elektrischen Schneidstromes durch das Werkstück fließt, so dass in diesem Betriebszustand Sekundärmedium aus dem Plasmabrenner in Richtung Werkstückoberfläche ausströmen kann. In einem Zeitraum, in dem ein Pilotlichtbogen ausgebildet ist, sollte(n) das/die Ventil(e) geschlossen gehalten sein. Dies kann mit einer Steuerung erreicht werden, die bevorzugt an eine Datenbank angeschlossen ist.

[0028] Während des Einstechens des Plasmastrahls in den Werkstoff des Werkstücks kann als ein Sekundärmedium eine Flüssigkeit oder ein Flüssigkeits-Gas-Gemisch und zum Schneiden ein Gas oder Gasgemisch als ein Sekundärmedium eingesetzt werden.

[0029] Das/die Ventil(e), das/die in einer Zuführung für Sekundärmedium angeordnet ist/sind, sollte frühestens zu dem Zeitpunkt geöffnet werden, so dass dann aus der Düsenschutzkappenbohrung Sekundärmedium strömt, an dem beim Einstechen in ein Werkstück das Werkstück mindestens zu 1/3, besser zur Hälfte und am besten vollständig durchstoßen worden ist.

[0030] Mindestens ein Ventil, das in einer Zuführung für Sekundärmedium angeordnet ist, sollte während des Schneidbeginns, zwischen zwei Schneidabschnitten, beim Überfahren einer Schnittfuge F oder am Schneidende ein-, ausgeschaltet werden können. Es besteht dabei die Möglichkeit zwei Ventile, die in zwei unterschiedlichen Zuführungen für Sekundärmedium angeordnet sind, bei oder während dieser Bearbeitungsaufgaben umzuschalten. D.h. das ein bis dahin geöffnetes Ventil geschlossen und ein bis dahin geschlossenes Ventil geöffnet werden kann.

[0031] Bei einem Beginn zum Schneiden mit einem Plasmastrahl kann ein Einstechen oder Anschneiden erfolgen.

[0032] Beim Schneiden einer Kontur kann ein Wechsel der Parameter des Sekundärmediums (wie vorher beschrieben) erfolgen und mindestens ein weiterer Parameter des Plasmaschneidprozesses geändert werden. Dies kann beispielsweise eine Anpassung der elektrischen Parameter, eine Anpassung der Vorschubgeschwindigkeit, des Volumenstroms, der Abstand des Plasmabrenners zur Werkstückoberfläche und/oder die Zusammensetzung des Plasmagases sein. Dazu können sämtliche Parameter in einer Datenbank abgelegt sein und so genutzt werden, dass ein automatischer Betrieb mit einer Steuerung des Plasmabrenners möglich ist. Neben den erwähnten Parametern können auch die Parameter für die jeweilige Bearbeitung eines Werkstückes in der Datenbank vorliegen und genutzt werden.

[0033] Nachfolgend soll die Erfindung beispielhaft erläutert werden. Die einzelnen in den Figuren gezeigten und dazu erläuterten Merkmale können unabhängig vom jeweiligen Beispiel oder der jeweiligen Figur miteinander kombiniert werden.

[0034] Dabei zeigen:

[0035] Fig. 1 in schematischer Form eine Schnittdarstellung durch ein Beispiel eines erfindungsgemäßen Plasmabrenners mit einer Sekundärmediumzuführung mit einem Ventil und einer Plasmagaszuführung;

[0036] Fig. 2 in schematischer Form eine Schnittdarstellung durch ein Beispiel eines erfindungsgemäßen Plasmabrenners mit einer Sekundärmediumzu-

führung mit zwei Ventilen und einer Plasmagaszuführung;

[0037] Fig. 3 in schematischer Form eine Schnittdarstellung durch ein weiteres Beispiel eines erfindungsgemäßen Plasmabrenners mit einer Sekundärmediumzuführung mit zwei Ventilen und einer Plasmagaszuführung;

[0038] Fig. 4 in schematischer Form eine Schnittdarstellung durch ein weiteres Beispiel eines erfindungsgemäßen Plasmabrenners mit einer Sekundärmediumzuführung mit zwei Ventilen und einer Plasmagaszuführung;

[0039] Fig. 5a u. b eine Führung für Sekundärmedien;

[0040] Fig. 6 in schematischer Form eine Schnittdarstellung durch ein Beispiel eines erfindungsgemäßen Plasmabrenners mit zwei Sekundärmediumzuführungen mit zwei Ventilen und einer Plasmagaszuführung;

[0041] Fig. 7 in schematischer Form eine Schnittdarstellung durch ein weiteres Beispiel eines erfindungsgemäßen Plasmabrenners mit zwei Sekundärmediumzuführungen mit zwei Ventilen und einer Plasmagaszuführung;

[0042] Fig. 8 in schematischer Form eine Schnittdarstellung durch ein weiteres Beispiel eines erfindungsgemäßen Plasmabrenners mit zwei Sekundärmediumzuführungen mit zwei Ventilen und einer Plasmagaszuführung;

[0043] Fig. 9 in schematischer Form eine Schnittdarstellung durch ein Beispiel eines erfindungsgemäßen Plasmabrenners mit zwei Sekundärmediumzuführungen mit zwei Ventilen und einer Plasmagaszuführung mit einem Ventil und einem Entlüftungsventil;

[0044] Fig. 10 in schematischer Form eine Schnittdarstellung durch ein Beispiel eines erfindungsgemäßen Plasmabrenners mit zwei Sekundärmediumzuführungen mit zwei Ventilen und zwei Plasmagaszuführungen mit zwei Ventilen und einem Entlüftungsventil;

[0045] Fig. 11 eine Schnittdarstellung durch ein bei der Erfindung einsetzbares Axialventil;

[0046] Fig. 12 Möglichkeit für die Anordnung von Ventilen innerhalb des Gehäuses eines Plasmabrenners und

[0047] Fig. 13 eine weitere Möglichkeit für die Anordnung von Ventilen innerhalb des Gehäuses eines Plasmabrenners.

[0048] Fig. 14 eine weitere Möglichkeit für die Anordnung von Ventilen innerhalb des Gehäuses eines Plasmabrenners.

[0049] Fig. 15a u. b eine Schnittkontur mit großen und kleinen Abschnitten (Konturen)

[0050] Fig. 16a u. b eine Schnittkontur mit Senkrecht- und Fasenschnitt und

[0051] Fig. 17 einen Plasmabrenner mit seiner Positionierung zum Werkstück

[0052] Fig. 1 zeigt einen Plasmabrenner **1** mit einem Plasmabrennerkopf **2** mit einer Düse **21**, einer Elektrode **22**, einer Düsenschutzkappe **25**, einer Zuführung **34** für ein Plasmagas PG1, einer Zuführung **61** für das Sekundärmedium SG1 sowie einem Plasmabrennerschaft **3**, der ein Gehäuse **30** aufweist. Bei der Erfindung, also auch bei allen anderen Beispielen, die unter die Erfindung fallen, kann der Plasmabrennerschaft **3** einteilig ausgebildet sein und lediglich mit einem entsprechend konfigurierten Gehäuse **30** gebildet sein, an dem alle erforderlichen Komponenten vorhanden und ausgebildet sein können. Die Zuführung **61** kann außerhalb des Gehäuses **30** ein Gasschlauch sein, der für eine Zuleitung von Sekundärmedium SG1 mit einer Koppereinheit **5** verbunden ist. An den Gasschlauch schließt sich ein weiterer Teil der Zuführung **61** und das Ventil **63** an, die innerhalb des Gehäuses **30** angeordnet sind. Die Zuführung **34** kann außerhalb des Gehäuses **30** ein Gasschlauch sein, der für eine Zuleitung von Plasmagas PG1 mit einer Koppereinheit **5** verbunden ist. In der Koppereinheit **5** ist ein Magnetventil **51** zum Öffnen und Schließen der Zuführung **34** angeordnet. An den Gasschlauch schließt sich ein weiterer Teil der Zuführung **34** an, der innerhalb des Gehäuses **30** ausgebildet ist. Die Elektrode **22** und die Düse **21** sind durch die Gasführung **23** in einem Abstand zueinander angeordnet, so dass sich ein Raum **24** innerhalb der Düse **21** bildet. Die Zuführung **34** des Plasmagases PG1 ist mit dem Raum **24** verbunden.

[0053] Die Düse **21** hat eine Düsenbohrung **210**, die je nach elektrischem Schneidstrom in ihrem Durchmesser von 0,5 mm für 20 A bis zu 7 mm für 800 A variieren kann. Die Gasführung **23** hat ebenfalls Öffnungen oder Bohrungen (nicht dargestellt), durch die das Plasmagas PG1 strömt. Diese können ebenfalls in unterschiedlicher Größe oder Durchmesser und sogar Anzahl gestaltet sein. Die Düse **21** und die Düsenschutzkappe **25** sind in einem Abstand zueinander angeordnet, so dass die Räume **26** und **28** innerhalb der Düsenschutzkappe **25** gebildet werden. Der Raum **26** befindet sich in Strömungsrichtung des Sekundärmediums SG1 gesehen vor der Führung **27**, der Raum **28** befindet sich zwischen der Führung **27** und der Düsenschutzkappenöffnung **250**. Mit Hilfe der Gasführung **27** kann die Strömung des Se-

kundärmediums SG1 beispielsweise ein Gas, Gasgemisch, eine Flüssigkeit oder ein Gas-Flüssigkeitsgemisch symmetriert und/oder in Rotation versetzt werden. Es besteht auch die Möglichkeit, dass keine Führung **27** eingesetzt ist, wenn z.B. keine Rotation des Sekundärmediums SG1 gewünscht wird. Die Düse **21** kann außerdem durch eine Düsenkappe o.ä. fixiert sein (nicht dargestellt). Dann bilden die Düsenkappe und die Düsenschutzkappe die Räume **26** und **28**.

[0054] Das Sekundärgas SG1 wird also über die Zuführung **61** und das im Plasmabrennerschaft angeordnete Ventil **63** in den Raum **26** geleitet, durch die Führung **27** symmetriert und in Rotation versetzt. Das Sekundärgas SG1 strömt dann in den Raum **28** tritt dann aus der Düsenschutzkappenöffnung **250** aus. Es besteht auch die Möglichkeit, dass sich in der Düsenschutzkappe **25** oder einer Halterung für die Düsenschutzkappe **25** eine oder mehrere weitere Bohrungen **250a** befinden, durch die das Sekundärmedium SG1 ausströmt.

[0055] Das Ventil **63** ist als Axialventil in kleiner Bauform ausgeführt. So hat es beispielsweise einen Außendurchmesser D von **11** mm und eine Länge L von 40 mm. Es benötigt für den Betrieb eine geringe elektrische Leistung, hier beispielsweise ca. 2 W, um die Erwärmung im Gehäuse **30** zu reduzieren.

[0056] Beim Zünden des Lichtbogens und während des Schneidens strömt das Plasmagas PG1 durch das geöffnete Ventil **51** und die Zuführung **34** in das Gehäuse **30** und von dort in den Raum **24** zwischen Elektrode **22** und Düse **21** und strömt letztlich durch die Düsenbohrung **210** und die Düsenschutzkappenöffnung **250** aus. Nach dem Schneiden wird das Ventil **51** wieder geschlossen und die Versorgung **34** des Plasmagases PG1 entleert sich.

[0057] Das Sekundärmedium, hier im Beispiel ein Gas (Sekundärgas SG1) kann zeitgleich mit dem Ventil **51** des Plasmagases PG1 durch das Ventil **63** geschaltet werden. Durch die erfindungsgemäße Anordnung des Ventils **63** im Plasmabrennerschaft **3** und nah am Plasmabrennerkopf **2** kann das Sekundärmedium SG1 auch zu anderen Zeitpunkten ein- und ausgeschaltet werden. Beim Plasmaschneiden wird zunächst der Pilotlichtbogen mit geringem elektrischen Strom, beispielsweise 10 A bis 30 A, der zwischen der Elektrode **22** und der Düse **21** brennt, gezündet. Berührt der durch den Pilotlichtbogen erzeugte Plasmastrahl **6** das zu schneidende Werkstück W setzt der Lichtbogen von der Düse **21** auf das Werkstück W über. Die Steuerung der Plasmaschneidanlage erkennt dies sensorisch und erhöht den elektrischen Strom auf den benötigten Wert, je nach Werkstückdicke im Bearbeitungsbereich auf 30 A bis 600 A.

[0058] Während der Zeit in der der Pilotlichtbogen brennt, wird das Sekundärmedium SG1 noch nicht benötigt. Es stört und verkürzt den aus der Düse **21** heraustretenden Plasmastrahl **6** sogar, da es diesen seitlich anströmt. Deshalb muss der Plasmabrenner **1** mit seiner Düsenschutzkappenöffnung **250** und/oder Öffnungen **250a** dichter am Werkstück W positioniert werden. Dies wiederum führt zur Gefährdung der Düsenschutzkappe **25** und der Düse **21** durch heißen hochspritzenden aufgeschmolzenen Werkstoff. Abhilfe schafft hier das Zuschalten des Sekundärmediums SG1 erst zu dem Zeitpunkt, an dem zumindest ein Teil des elektrischen Schneidstromes über das Werkstück W fließt und der Lichtbogen zumindest teilweise auf das Werkstück W übergegangen ist. So kann einerseits die Düsenschutzkappenöffnung **250** des Plasmabrenners **1** zum Einstechen weit genug weg von der oberen Fläche des Werkstücks positioniert werden und der Lichtbogen setzt dennoch über. Andererseits werden durch eine erfindungsgemäße Anordnung, die das schnelle, nur wenig zeitverzögerte Zuführen und Strömen nach dem Einschalten des Ventils **63** des Sekundärmediums SG1 sichert, die Düsenschutzkappe **25** und die Düse **21** vor hochspritzendem aufgeschmolzenem heißen Werkstoff des zu bearbeitenden Werkstücks W geschützt. Besonders wichtig ist dies bei dicken zu schneidenden Werkstücken mit Dicken ab ca. 20 mm.

[0059] Bei dünneren Werkstücken W ist es dagegen oft sogar besser, wenn das Sekundärmedium SG1 erst dann durch die Düsenschutzkappenöffnung **250** strömt, wenn das Werkstück W teilweise oder vollständig mit dem Plasmastrahl **6** durchstoßen ist. Strömt während eines Teils Zeit des Lochstechens oder der gesamten Zeit des Lochstechens – das ist die Zeit, die benötigt wird, um das Werkstück W vollständig zu durchzustoßen – das Sekundärgas nicht, können kleinere Einstechlöcher erreicht werden. Dies führt zu weniger Schlackeablagerungen auf der Werkstückoberfläche, die den Schneidprozess stören können.

[0060] Auch beim Anschneiden an einer Kante ist es sinnvoll das Sekundärmedium SG1 nicht strömen zu lassen und das Ventil **63** geschlossen zu halten, weil auch hier der Pilotlichtbogen bereits mit größerem Abstand auf das Werkstück W übergeht und sicherer anschneidet.

[0061] Beim Schneiden selbst, wird das Sekundärmedium SG1 wiederum benötigt, um durch seinen Einfluss die Schnittqualität zu verbessern. Dies soll unmittelbar nach dem Lochstechen oder Anschneiden erfolgen, um von Beginn des Schneidens an eine gute Schnittqualität zu erzielen. Zur Schnittqualität gehören die Rechtwinkligkeits- und Neigungstoleranz, Rauigkeit und der Bartanhang sowie der Rillennachlauf (DIN EN ISO 9013).

[0062] Positiv kann ein nichtströmendes Sekundärmedium SG1 auch beim Überfahren von Schnittfugen F oder beim Schneiden von Ecken oder Rundungen wirken. Das Schwingen oder Pulsieren des Plasmastrahls 6 kann reduziert werden.

[0063] In Fig. 2 ist eine ähnliche Anordnung wie in Fig. 1 gezeigt, jedoch befinden sich in der Zuführung 61 für das Sekundärmediums SG1 im Gehäuse 30 des Plasmabrenners 1 zwei parallel geschaltete Ventile 63 und 64. Die Zuführung 61 des Sekundärmediums SG1 wird so in die Zuführungen 61a mit dem Ventil 64 und 61b mit dem Ventil 63 geteilt. So ist es möglich, zu den in der Beschreibung zur Fig. 1 genannten Zeitpunkten die Strömung des Sekundärmediums SG1 ein- und auszuschalten, sondern zusätzlich auch noch den Volumenstrom auf einfache Art und Weise schnell zu ändern. Hier ist beispielhaft dafür in der Zuführung 61a eine Blende 65 eingebaut, die den Volumenstrom im Vergleich zur Zuführung 61b reduziert, was durch den entsprechend kleineren freien Querschnitt, durch den das Sekundärmedium SG1 strömen kann, erreichbar ist. Die Zuführungen 61a und 61b der Teilgasströme von Sekundärmedium SG1a und SG1b des Sekundärgases SG1 werden hier im Plasmabrennerschaft 3 wieder zusammengeführt. So muss nur eine Zuführung 61 zum Plasmabrennerkopf 2 für das Sekundärmedium SG1 bereitgestellt werden. Insbesondere für einen Plasmabrenner 1 mit Schnellwechselkopf ist dies von Vorteil. Eine Reduzierung der Sekundärmediumströmung wirkt zu den gleichen Zeitpunkten positiv, wie dies die beim Beispiel nach Fig. 1 beschriebenen Abschnitte ohne strömendes Sekundärmedium SG1 sind. Durch die neben dem schnellen Ein- und Ausschalten der Strömung des Sekundärmediums SG1 zusätzliche Möglichkeit der Einstellung unterschiedlich großer Volumenströme kann der Plasmaschneidprozess insbesondere an den Übergangsvorgängen, wie Einstechen, Anschneiden, Überfahren einer Fuge F, Schneiden einer Ecke oder einer Rundung weiter verbessert werden. Weiterhin wird im Gegensatz zum Beispiel nach Fig. 1 die Düse 21 hier von einer Düsenkappe 29 fixiert. Dies ermöglicht, dass im Raum zwischen der Düse 21 und der Düsenkappe 22 ein Kühlmedium, beispielsweise Kühlwasser strömt (nicht dargestellt).

[0064] Fig. 3 zeigt beispielhaft eine ähnliche Anordnung wie Fig. 2, jedoch werden die Zuführungen 61a und 61b der Sekundärmedien SG1a und SG1b zum Sekundärmedium SG1 erst im Plasmabrennerkopf 2 zusammengeführt. In diesem Beispiel erfolgt die Zusammenführung in Strömungsrichtung des Sekundärmediums SG1 gesehen weiter vor der Führung 27 des Sekundärmediums.

[0065] Fig. 4 zeigt ebenfalls eine Anordnung, in der die Zuführungen 61a und 61b des Sekundärmediums SG1 erst im Plasmabrennerkopf 2 zusammen-

geführt werden. In diesem Beispiel erfolgt die Zusammenführung im von der Düsenkappe 25 und Düsenkappe 29 in Strömungsrichtung des Sekundärmediums SG1 nach der Gasführung 27 des Sekundärmediums. Die Gasführung 27 verfügt über zwei Gruppen von Öffnungen, die eine Gruppe für das Sekundärmedium SG1a und die andere Gruppe für das Sekundärmedium SG1b. Vorteilhafterweise unterscheiden sich die Öffnungen in ihrer Gestaltung, Dimensionierung und/oder Ausrichtung ihrer Mitteleachsen (Strich-Punkt-Linien), hier beispielhaft im Versatz von der Radialen. Die Öffnungen 271 und 272 der Gruppen können in verschiedenen Ebenen und in den Ebenen jeweils versetzt zueinander angeordnet sein. Dies zeigt auch Fig. 5. So kann das Sekundärmedium SG1 in zwei unterschiedlich rotierende Sekundärmediumströme SG1a und SG1b sowie SG1 und SG2 aufgeteilt werden, die letztlich den Plasmastrahl 6 umströmen. So ist beim Einstechen in den Werkstoff des Werkstücks W oft eine geringe oder keine Rotation eines strömenden Sekundärmediums SG1 sinnvoll, beim Schneiden dagegen ist eine größere Rotation vorteilhaft. Durch den einen größeren Versatz g von der Radialen wird die Rotation der austretenden Sekundärmediumströmung erhöht. Zusätzlich ergibt sich die Möglichkeit während eines Schneidens durch das Umschalten oder gemeinsame Einschalten der Strömungen der Sekundärmedien SG1a und SG1b die Schnittqualität zu beeinflussen. Dabei werden lange gerade Abschnitte mit großer Rotation des ausströmenden Sekundärmediums SG1 und hoher Vorschubgeschwindigkeit und kleine Abschnitte mit geringerer Rotation des ausströmenden Sekundärmediums SG1 und kleinerer Vorschubgeschwindigkeit geschnitten. Ein langer Abschnitt beginnt in der Regel bei einer Länge, die mindestens dem doppelten der Dicke des zu schneidenden Werkstücks W entspricht, er liegt jedoch mindestens bei 10 mm Länge. Mit größerer Rotation, also größerer Winkelgeschwindigkeit der Strömung des Sekundärmediums SG1 kann schneller geschnitten werden, bei geringerer Rotation muss langsamer geschnitten werden. Eine geringere Vorschubgeschwindigkeit ist jedoch für das Schneiden von kleinen Abschnitten, z. B. kleinen Radien, die beispielsweise kleiner als die doppelte Dicke des Werkstücks W betragen, Sägezähnen, Viereckkonturen, deren Kantenlänge ebenfalls kleiner als das Doppelte der Dicke des Werkstücks W im jeweiligen Bearbeitungsbereich beträgt, vorteilhaft. Durch die geringere Vorschubgeschwindigkeit führt das Führungssystem den Plasmabrenner 1 auch bei Richtungsänderungen der ausgeführten Bewegung genauer. Außerdem läuft der Plasmastrahl 6 nicht nach, der Rillennachlauf wird reduziert, was bei Ecken an Innenkonturen (Fig. 17) und Innenecken positiv wirkt. Bei langen Abschnitten spielt dies keine Rolle, hier kann mit großer Rotation der Strömung des Sekundärmediums SG1 mit größerer Vorschubgeschwindigkeit geschnitten werden.

[0066] Fig. 5a und b zeigen beispielhaft eine Führung **27** für das Sekundärmedium, hier beispielhaft Gas, das hier als Sekundärgas SG1, SG2, SG1a und SG1b bezeichnet ist. Die Gruppe der Bohrungen **271** sind für das Sekundärmedium SG1 oder SG1a, die Bohrungen der Gruppe **272** für das Sekundärmedium SG2 oder SG1b. Die Bohrungen einer Gruppe sind in einer Ebene angeordnet. Die Gruppe der Bohrungen **271** weist beispielhaft einen Versatz zur Radialen von **3** mm und die Gruppe der Bohrungen **272** keinen Versatz zur Radialen auf. Wenn diese Führung **27** in den Plasmabrenner **1** nach Fig. 4 eingebaut ist, verfügt die Strömung des Sekundärmediums SG1a, das durch die Zuführung **61a** und die Gruppe der Bohrungen **271** zugeführt wird, über eine größere Rotation mit höherer Winkelgeschwindigkeit als die Strömung des Sekundärmediums SG1b, das durch die Zuführung **61b** und die Gruppe der Bohrungen **272** zugeführt wird. Es sind auch andere Öffnungen als Bohrungen **271** und **272**, wie z. B. Nuten, Vierecke, halbkreisförmige oder eckige Formen möglich. Ebenso können die Öffnungen unterschiedlich große freie Querschnitte aufweisen, durch die Sekundärmedium austreten kann.

[0067] Die Anordnung gemäß Fig. 6 weist die Merkmale des Beispiels nach Fig. 1 auf, hat aber zusätzlich zur Zuführung **61** für das Sekundärmedium SG1 eine Zuführung **62** für ein zweites Sekundärmedium SG2. Die Zuführungen **61**, **62** können außerhalb des Gehäuses **30** Schläuche sein, die für eine Zuleitung der Sekundärmedien SG1, SG2 mit einer Koppereinheit **5** verbunden sind. An den Schläuchen schließen sich jeweils ein weiterer Teil der Zuführungen **61**, **62** und jeweils die Ventile **63**, **64** an, die innerhalb des Gehäuses **30** angeordnet sind. Die Zuführungen **61** und **62** der Sekundärmedien SG1 und SG2 werden hier im Plasmabrennerschaft **3** wieder zusammengeführt. So muss nur eine Zuführung **66** zum Plasmabrennerkopf **2** für die Sekundärmedien SG1 und SG2 bereitgestellt werden. Für einen Plasmabrenner **1** mit Schnellwechsellkopf ist dies von besonderem Vorteil. Durch diese Anordnung kann zusätzlich zum schnellen Ein- und Ausschalten sowie der schnellen Änderung des Volumenstroms der Sekundärmedienströme auch die Zusammensetzung des austretenden Sekundärmediums durch Umschalten oder gleichzeitiges Einschalten der Ventile **63**, **64** erfolgen. So werden bei einem Werkstück **W** aus Baustahl kleine Konturen oder kleine Abschnitte mit einem Sekundärmediumgemisch geschnitten, das einen höheren Anteil an Sauerstoff in Bezug zu einem Anteil an Stickstoff; CO₂, Luft oder Argon aufweist als bei großen Abschnitten. Hier gelten die Angaben, die bei der Erläuterung Fig. 4 gemacht wurden. Beispielhaft sind solche Konturen auch in den Fig. 15a und Fig. 15b dargestellt. Der Sauerstoffanteil liegt dann bei über 40 Vol.-%. Bei K3 handelt es sich um einen kleinen Abschnitt und bei den Abschnitten K1 und K5 um größere Abschnitte. Ebenso ist es von Vorteil, wenn

beim Einstechen in Baustahl mit Sauerstoff als alleiniges Sekundärmedium eingestochen wird, weil dadurch die Schmelze dünnflüssiger wird und das Einstechen schneller vonstattengeht. Beim Schneiden selbst kann ein zu hoher Sauerstoffanteil wieder zur Bildung von Unregelmäßigkeiten auf der Schnittkante oder -fläche führen. Auch hier ist ein schnelles Umschalten vorteilhaft. Ein weiterer Anwendungsfall ist die Nutzung einer Flüssigkeit, beispielsweise Wasser, als eines der eingesetzten Sekundärmedien. So kann vorteilhaft zum Einstechen in Baustahl Wasser als Sekundärmedium SG1 strömen. Dies verhindert oder reduziert die hochspritzenden heißen Metallspritzer und schützt so den Plasmabrenner **1** und auch die Umgebung. Nach dem Durchstechen durch das Werkstück **W** wird das Wasser ausgeschaltet und es strömt ein Gas oder Gasgemisch als Sekundärmedium SG2. Auch für hochlegierten Stahl und Nichtferrousmetalle kann das Verfahren eingesetzt werden.

[0068] Weiterhin kann das Sekundärmedium oder Sekundärmediumgemisch auch beim Übergang von Senkrechtschneiden zum Fasenschneiden hinsichtlich der Parameter wie Strömungsgeschwindigkeit, Volumenstrom, Rotation und Zusammensetzung geändert werden. Beim Fasenschneiden steht der Plasmabrenner **1** (Mittelachse) nicht wie beim Senkrechtschneiden im rechten Winkel zur Werkstückoberfläche, sondern wird geneigt, um eine Schnittkante mit einem bestimmten Winkel auszubilden. Dies ist für die weitere Bearbeitung, in der Regel einem nachfolgenden Schweißen von Vorteil. Da sich die effektive Dicke des zu schneidenden Werkstücks **W** beim Übergang vom Senkrecht- zum Fasenschneiden ändert (vergrößert) sind dann veränderte Parameter für eine höhere Schnittqualität sinnvoll. Gleiches gilt prinzipiell für den Übergang vom Fasen- zum Senkrechtschneiden (Verringerung). Es ist weiterhin vorteilhaft, wenn der Wechsel der Parameter in Abschnitten erfolgt, die nach dem Ausschneiden des Werkstücks **W** nicht auf der Schnittkontur lagen, also beispielsweise am Schneidbeginn, umfahrenen Ecken, am Schnittende, Überfahren einer Schnittfuge oder anderen Teilen des „Abfallstücks“.

[0069] Fig. 7 zeigt beispielhaft eine ähnliche Anordnung wie Fig. 6, jedoch werden die Zuführungen **61** und **62** der Sekundärmedien SG1 und SG2 erst im Plasmabrennerkopf **2** zusammengeführt. In diesem Beispiel erfolgt die Zusammenführung in Strömungsrichtung der Sekundärmedien SG1, SG2 gesehen vor der Führung **27** für die Sekundärmedien.

[0070] Fig. 8 zeigt ebenfalls eine Anordnung, in der die Zuführungen **61** und **62** der Sekundärmedien SG1, SG2 erst im Plasmabrennerkopf **2** zusammengeführt werden. Die Fig. 8 weist alle Vorteile des Beispiels nach Fig. 6 auf. Weitere Vorteile werden nachfolgend beschrieben. In diesem Beispiel erfolgt die Zusammenführung der Sekundärmedien SG1 und

SG2 vor der Düsenschutzkappe **25** und Düsenkappe **29** in Strömungsrichtung der Sekundärmedien SG1, SG2 und nach der Führung **27** für die Sekundärmedien. Die Führung **27** verfügt über zwei Gruppen von Öffnungen, die eine Gruppe für das Sekundärmedium SG1 und die andere Gruppe für das Sekundärmedium SG2. Vorteilhafterweise unterscheiden sich die Öffnungen **271** und **272** in ihrer Gestaltung, hier beispielhaft im Versatz von der Radialen. Dies zeigt auch **Fig. 5a**. So kann das Sekundärmedium SG1 eine unterschiedlich rotierende Sekundärmediumströmung als das Sekundärmedium SG2, die letztlich den Plasmastrahl **6** umströmen, bilden. So ist beim Einstechen in den Werkstückwerkstoff oft eine geringe oder keine Rotation der Sekundärmedien SG1, SG2 sinnvoll, beim Schneiden dagegen ist jedoch eine größere Rotation mit höherer Winkelgeschwindigkeit erwünscht. Durch den einen größeren Versatz von der Radialen wird die Rotation erhöht. Zusätzlich ergibt sich die Möglichkeit, während eines Schnittes durch das Umschalten oder gemeinsame Einschalten der Strömungen der Sekundärmedien SG1 und SG2 die Schnittqualität zu beeinflussen. Dabei werden lange gerade Abschnitte mit großer Rotation und hoher Geschwindigkeit und kleine Abschnitte mit geringerer Rotation und kleinerer Geschwindigkeit geschnitten. Ein langer Abschnitt beginnt in der Regel bei einer Länge, die mindestens dem doppelten der Dicke des zu schneidenden Werkstücks W im jeweiligen Bearbeitungsbereich entspricht, mindestens jedoch einer Länge von 10 mm. Mit größerer Rotation der Strömung des/der Sekundärmediums/-medien kann schneller geschnitten werden, bei geringerer Rotation muss langsamer geschnitten werden. Eine geringere Vorschubgeschwindigkeit ist jedoch für das Schneiden von kleinen Abschnitten, z. B. kleinen Radien, die beispielsweise kleiner als das Doppelte der Dicke des Werkstücks W im jeweiligen Bearbeitungsbereich betragen, sind z.B. sägezahnförmige Konturen, Viereckkonturen, deren Kantenlänge ebenfalls kleiner als das Doppelte der Werkstückdicke im jeweiligen Bearbeitungsbereich beträgt, vorteilhaft. Durch die geringere Vorschubgeschwindigkeit führt das Führungssystem den Plasmabrenner **1** auch bei Richtungsänderungen der ausgeführten Vorschubbewegung genauer. Außerdem läuft der Plasmastrahl **6** nicht nach, der Rillennachlauf wird reduziert, was bei Ecken an Innenkonturen und Innenecken positiv wirkt. Bei langen Abschnitten spielt dies keine Rolle, hier kann mit großer Rotation der Strömung des/der Sekundärmediums/-medien schnell geschnitten werden. Bei dieser Anordnung kann das austretende Sekundärmedium oder Sekundärmediumgemisch hinsichtlich der Parameter wie Strömungsgeschwindigkeit, Volumenstrom, Rotation der Strömung und Zusammensetzung geändert werden.

[0071] Die **Fig. 9** zeigt zusätzlich in der Zuführung **34** des Plasmagases PG1 ein Ventil **31** im Gehäuse

30 des Plasmabrennerschaftes **3**, das das Plasmagas PG1 ein- und ausschaltet. Das Ventil **33** dient der Entlüftung des Hohlraums **11**, was insbesondere am Schnittpunkt notwendig ist, um ein schnelles Abströmen des Plasmagases PG1 zu gewährleisten.

[0072] **Fig. 10** zeigt ergänzend zu **Fig. 9** die Zuführung **35** eines weiteren Plasmagases PG2, das über einen Gasschlauch **35** und ein Ventil **31** analog zu Plasmagas PG1 zugeführt wird. Dadurch kann durch Um- und Zuschaltung der Ventile **31** und **32** ein Wechsel der Plasmagase PG1 oder PG2 in Abhängigkeit vom Prozesszustand erfolgen. Das Ventil **33** dient ebenfalls der Entlüftung des Hohlraums **11**.

[0073] **Fig. 11** zeigt den stark vereinfachten Aufbau eines Axialmagnetventils, wie es bei der Erfindung in den Zuführungen für Sekundärmedien und Plasmagas eingesetzt werden kann. Im Inneren seines Körpers ist die Spule S mit den Windungen, die vom Plasmagas vom Eingang E zum Ausgang A durchströmen werden kann, angeordnet. Im Inneren ist auch der Mechanismus zum Öffnen und Schließen angeordnet. Der Körper des Magnetventils hat eine Länge L und einen Außendurchmesser D . Das hier dargestellte Magnetventil hat eine Länge L von 25 mm und einen Durchmesser von 10 mm.

[0074] **Fig. 12** zeigt eine mögliche raumsparende Anordnung der Ventile **31**, **63** und **64**. Sie sind im Gehäuse **30** so angeordnet, dass sie in einer Ebene senkrecht zur Mittellinie M jeweils in einem Winkel α_1 , von 120° angeordnet sind. Die Abweichung von diesem Winkel sollte $\pm 30^\circ$ nicht überschreiten. Dadurch ist die Anordnung raumsparend und kann im Gehäuse **30** bzw. Plasmabrennerschaft **3** angeordnet werden. Die Abstände der mittleren Längsachsen L_1 , L_2 und L_3 zwischen den Ventilen **31**, **32**, **33** sind jeweils ≤ 20 mm. Von den Ventilen **31**, **32** und **33** ist mindestens ein Ventil mit seinem Eingang E entgegengesetzt zu den anderen Ventilen, d.h. zu deren Ausgängen A ausgerichtet. Das entgegengesetzt ausgerichtete Ventil ist im gezeigten Beispiel das Ventil **33** im Hohlraum **11**.

[0075] **Fig. 13** zeigt eine Anordnung mit vier Ventilen **31**, **33**, **63** und **64**. Sie sind im Inneren des Gehäuses **30** so angeordnet, dass sie in einer Ebene senkrecht zur Mittellinie M jeweils in Winkeln α_1 , α_2 , α_3 , α_4 von 90° angeordnet sind. Die Abweichung von diesen Winkeln sollte $\pm 30^\circ$ nicht überschreiten. Dadurch ist die Anordnung raumsparend und kann im Gehäuse **30** bzw. Plasmabrennerschaft **3** angeordnet werden. Die Abstände der mittleren Längsachsen L_1 , L_2 , L_3 und L_4 der Ventile **31**, **33**, **63** und **64** sind ≤ 20 mm. Von diesen Ventilen **31** und **33** ist mindestens ein Ventil mit seinem Eingang E entgegengesetzt zu den anderen Ventilen, d.h. zu deren Ausgängen A ausgerichtet.

[0076] Fig. 14 zeigt eine Anordnung mit vier Ventilen **31**, **33**, **63** und **64** sowie eines weiteren Ventils **32**. Sie sind im Inneren des Gehäuses **30** so angeordnet, dass sie in einer Ebene senkrecht zur Mittellinie M jeweils in Winkeln α_1 , α_2 , α_3 , α_4 , α_5 von 72° angeordnet sind. Die Abweichung von diesen Winkeln sollte $\pm 15^\circ$ nicht überschreiten. Dadurch ist die Anordnung raumsparend und kann im Gehäuse **30** bzw. Plasmabrennerschaft **3** angeordnet werden. Die Abstände der mittleren Längsachsen L1, L2, L3, L4 und L5 zwischen den Ventilen sind ≤ 20 mm. Von diesen Ventilen **31** bis **33** ist mindestens ein Ventil mit seinem Eingang E entgegengesetzt zu den anderen Ventilen, d.h. zu deren Ausgängen A ausgerichtet.

[0077] Fig. 15a zeigt eine schematische die Konturführung eines Plasmabrenners zum Schneiden einer Kontur aus einem Werkstück W aus Sicht von oben auf das Werkstück und die Fig. 15b das entstandene Werkstück in perspektivischer Darstellung. Hier soll ein Werkstück mit zwei langen Abschnitten, Kontur K1, K5 und mehreren kurzen Abschnitten, Kontur K3, geschnitten werden. Abschnitt K0 ist dabei der Schneidbeginn, es wird dort in das Werkstück eingestochen. Die Abschnitte Konturen K2 und K4 sind schneidtechnisch bedingt, um eine scharfe Ecke zu erzielen und befinden sich im sogenannten „Abfallteil“, sie sind nicht Teil des ausgeschnittenen Werkstücks.

[0078] Folgende Möglichkeiten bestehen während des Einstechens:

a. Zum Zeitpunkt des Pilotlichtbogenbetriebs wird das Sekundärmedium noch nicht benötigt. Es stört und verkürzt den aus der Düse **21** heraustretenden Plasmastrahl **6** sogar, da es diesen seitlich anströmt. Deshalb muss der Plasmabrenner **1** mit seiner Düsenschutzkappenöffnung **250** mit einem kleineren Abstand zur Werkstückoberfläche (Fig. 17, Abstand d) positioniert werden. Dies wiederum führt zu Gefährdung der Düsenschutzkappe **25** und der Düse **21** durch heißes hochspritzendes aufgeschmolzenes Material. Abhilfe schafft hier das Zuschalten des Sekundärmediums erst zu dem Zeitpunkt, an dem zumindest ein Teil des elektrischen Schneidstromes über das Werkstück fließt und der Lichtbogen zumindest teilweise auf das Werkstück übergegangen ist. So kann einerseits die Düsenschutzkappenöffnung **250** des Plasmabrenners **1** zum Einstechen mit größerem Abstand d zur Werkstückoberfläche positioniert werden und der Lichtbogen setzt dennoch über.

Durch ein Strömen des Sekundärmediums SG1 mit größerer Strömungsgeschwindigkeit werden die Düsenschutzkappe **25** und die Düse **21** vor hochspritzendem aufgeschmolzenem heißen Werkstoff des zu bearbeitenden Werkstücks geschützt. Besonders wichtig ist dies bei dicken von

zu schneiden Werkstücken ab ca. 20 mm im jeweiligen Bearbeitungsbereich.

Dafür kann beispielsweise ein Plasmabrenner **1** entsprechend den Fig. 1 bis Fig. 10 eingesetzt werden.

b. Bei dünneren Werkstückdicken ist es günstiger, Sekundärmedium erst dann durch die Düsenschutzkappenöffnung **250** strömt, wenn das Werkstück teilweise oder vollständig durchstochen ist. Strömt während eines Teils Zeit des Lochstechens oder der gesamten Zeit des Lochstechens – das ist die Zeit, die benötigt wird, um das Werkstück vollständig zu durchstoßen – Sekundärmedium nicht, werden kleinere Einstechlöcher erreicht. Dies führt zu weniger Schlackeablagerungen auf der Werkstückoberfläche, die den Schneidprozess stören können. Sekundärmedium soll frühestens zu dem Zeitpunkt aus der Düsenschutzkappenöffnung **250** strömen, an dem beim Einstechen in ein Werkstück das Werkstück mindestens zu 1/3, besser zur Hälfte und am besten vollständig durchstochen worden ist.

Dafür kann beispielsweise ein Plasmabrenner entsprechend den Fig. 1 bis Fig. 10 eingesetzt werden.

c. Weiterhin ist beim Einstechen in das Werkstück oft eine geringe oder keine Rotation des Sekundärmediums SG1, SG1a, SG1b, SG2 sinnvoll, beim Schneiden dagegen eine größere Rotation mit größerer Winkelgeschwindigkeit.

Dafür kann beispielsweise ein Plasmabrenner **1** entsprechend den Fig. 4 und Fig. 8 eingesetzt werden. Durch den einen größeren Versatz der Öffnungen **271** und **272** von der Radialen in der Gasführung **27** für die Sekundärmedien rotieren die Sekundärmedien SG1a und SG1b (Fig. 4) sowie SG1 und SG2 (Fig. 8) unterschiedlich stark. Der Wechsel der Rotation des Sekundärmediums bzw. der Sekundärmedien soll frühestens zu dem Zeitpunkt aus der Düsenschutzkappenöffnung **250** erfolgen, an dem beim Einstechen in ein Werkstück das Werkstück mindestens zu 1/3, besser zur Hälfte und am besten vollständig durchstochen worden ist.

d. Ebenso kann es vorteilhaft zum Einstechen in Baustahl sein, wenn Wasser als Sekundärmedium SG1 strömt. Dies verhindert oder reduziert die hochspritzenden heißen Metallspritzer und schützt so den Plasmabrenner **1** und auch die Umgebung. Nach dem Durchstechen durch das Werkstück wird das Wasser ausgeschaltet und es strömt ein Gas oder Gasgemisch als Sekundärmedium SG2.

Der Wechsel von Wasser auf Gas als Sekundärmedium soll frühestens zu dem Zeitpunkt aus der Düsenschutzkappenöffnung **250** erfolgen, an dem beim Einstechen in ein Werkstück das Werkstück mindestens zu 1/3, besser zur Hälfte und am besten vollständig durchstochen worden ist.

Auch für hochlegierten Stahl und Nichteisenmetalle kann das Verfahren eingesetzt werden.

Dafür kann beispielsweise ein Plasmabrenner **1** entsprechend den **Fig. 6** und **Fig. 10** eingesetzt werden.

e. Ebenso ist es von Vorteil, wenn beim Einstechen in Baustahl mit Sauerstoff oder einem höheren Sauerstoffanteil bei einem Sekundärmediumgemisch eingestochen wird, weil dann die Schmelze dünnflüssiger wird und das Einstechen schneller vonstattengeht. Beim Schneiden selbst kann ein zu hoher Sauerstoffanteil wieder zur Bildung von Unregelmäßigkeiten auf der Schnittkante oder -fläche führen. Auch für das Schneiden von hochlegiertem Stahl, Aluminium und anderen Metallen kann ein Wechsel des Sekundärmediums zwischen dem Einstechen und dem Schneiden vorteilhaft sein. Der Wechsel von ausströmendem Sekundärmedium soll frühestens zu dem Zeitpunkt aus der Düsenschutzkappenöffnung **250** erfolgen, an dem beim Einstechen in ein Werkstück das Werkstück mindestens zu 1/3, besser zur Hälfte und am besten vollständig durchstoßen worden ist.

Dafür kann beispielsweise ein Plasmabrenner **1** entsprechend den **Fig. 6** und **Fig. 10** eingesetzt werden.

f. Es kann von besonderem Vorteil sein, wenn beim Einstechen in das Werkstück das Sekundärmedium und die Rotation der Strömung des Sekundärmediums geändert werden. Hier kommt es zu den in den unter den Punkten c. und e. beschriebenen Effekten. Als Plasmabrenner **1** kann beispielhaft der in **Fig. 8** gezeigte eingesetzt werden.

[0079] Grundsätzlich kann es vorteilhaft sein, das/ die Sekundärmedium/-medien in einen oder mehreren Parametern, wie beispielsweise Strömungsgeschwindigkeit, Volumenstrom, Rotation der Strömung und Zusammensetzung während der Phase des Einstechens im Vergleich zu anderen Betriebszuständen zu ändern.

[0080] Nach dem Durchstechen wird die Schneidbewegung mit dem gewählten Sekundärmedium vorgenommen. Nach dem Durchstechen des Werkstücks Kontur K0 wird der lange Abschnitt K1 geschnitten, danach soll im Abschnitt Kontur K2 um die Ecke gefahren werden. Eine scharfkantige Ecke erhält man, wenn der Plasmaschneidbrenner **1** wie in Ecke Abschnitt Kontur K2 geführt wird. Hier verlässt der Plasmaschneidbrenner **1**, wie in **Fig. 15a** mit dargestellt, die Kontur des zu schneidenden Teils und wird über das „Abfallteil“ geführt, um dann wieder auf die Kontur des zu schneidenden Teils zurückzukehren. Dies wird auch „umfahrene Ecke“ genannt. Nach dem Abschnitt Kontur K2 schließt sich eine Abschnitt Kontur K3 mit einer beispielhaften Folge kleiner Abschnitte mit Vorschubachsrichtungswechseln an. Während

der Zeit, in der der Plasmabrenner **1** sich über dem „Abfallteil“ im Abschnitt Kontur K2 geführt wird, erfolgte mindestens eine Veränderungen am ausströmenden Sekundärmedium.

[0081] Folgende Möglichkeiten bestehen beim Überfahren des „Abfallteils“ auf Kontur K2:

a. Es ist vorteilhaft während des Schneidens durch Verändern der Rotation der Strömung des/ der Sekundärmediums/-medien die Schnittqualität zu beeinflussen. Dabei werden lange gerade Abschnitte mit großer Rotation und hoher Geschwindigkeit und kleine Abschnitte mit geringerer Rotation und kleinerer Vorschubgeschwindigkeit geschnitten. Ein langer Abschnitt beginnt in der Regel bei einer Länge, die mindestens dem doppelten der Werkstückdicke im jeweiligen Bearbeitungsbereich des zu schneidenden Werkstücks entspricht, mindestens jedoch eine Länge von 10 mm. Mit größerer Rotation der Strömung des/ der Sekundärmediums/-medien kann mit größerer Vorschubgeschwindigkeit geschnitten werden, bei geringerer Rotation muss mit kleinerer Vorschubgeschwindigkeit werden. Eine geringere Vorschubgeschwindigkeit ist jedoch für das Schneiden von kleinen Abschnitten, z. B. kleinen Radien, die beispielsweise kleiner als das Doppelte der Werkstückdicke im jeweiligen Bearbeitungsbereich sind, sägezahnförmige Konturen, Viereckkonturen, deren Kantenlänge ebenfalls kleiner als das Doppelte der Werkstückdicke beträgt, vorteilhaft. Durch die geringere Vorschubgeschwindigkeit führt das Führungssystem den Plasmabrenner **1** auch bei Richtungsänderungen der ausgeführten Bewegung genauer. Außerdem läuft der Plasmastrahl **6** nicht nach, der Rillennachlauf wird reduziert, was bei Ecken an Innenkonturen und Innenecken positiv wirkt. Bei langen Abschnitten spielt dies keine Rolle, hier kann mit großer Rotation der Strömung des/ der Sekundärmediums/-medien mit größerer Vorschubgeschwindigkeit geschnitten werden. Dafür kann beispielsweise ein Plasmabrenner **1** entsprechend den **Fig. 4** und **Fig. 8** eingesetzt werden.

b. Es ist weiterhin vorteilhaft während des Schneidens eine Änderung des Volumenstroms und/ oder der Zusammensetzung des Sekundärmediums vorzunehmen. So werden bei einem Werkstück aus Baustahl kleine Konturen oder kleine Abschnitte mit einem Sekundärmediumgemisch geschnitten, das einen höheren Anteil an Sauerstoff aufweist als bei großen Abschnitten. Der Sauerstoffanteil liegt dann bei über 40Vol.%. Dafür kann beispielsweise ein Plasmabrenner **1** entsprechend den **Fig. 6** bis **Fig. 10** eingesetzt werden.

c. Es ist von besonderem Vorteil, wenn die in den Punkten a. und b. beschriebenen Möglichkeiten kombiniert werden.

Dafür kann beispielsweise ein Plasmabrenner entsprechend der **Fig. 8** eingesetzt werden.

d. Bei dieser Anordnung kann das Sekundärmedium oder Sekundärmediumgemisch hinsichtlich der Parameter wie Strömungsgeschwindigkeit, Volumenstrom, Rotation der Strömung und Zusammensetzung geändert werden.

e. Grundsätzlich kann es vorteilhaft sein, das Sekundärmedium oder Sekundärmediumgemisch mit einem oder mehreren Parametern, wie beispielsweise Strömungsgeschwindigkeit, Volumenstrom, Rotation der Strömung und Zusammensetzung während des Schneidens und besonders vorteilhaft beim Überfahren des „Abfallteils“ zu verändern.

[0082] Erfolgt die Veränderung eines der beschriebenen Parameter im Bereich des Abfallteils, also nicht an einer Schnittkante des auszuscheidenden Werkstücks, wird auf der Schnittkante dieses Werkstücks kein Übergang bzw. Unterschied in der Schnittqualität sichtbar. Es ist aber auch möglich, einen Wechsel der Parameter auf einem Abschnitt der entstehenden Schnittkante des Werkstücks vorzunehmen. Hierzu muss dann aber außer dem Sekundärmedium mindestens ein weiterer Parameter des Plasmaschneidprozesses, Vorschubgeschwindigkeit, Abstand Plasmabrenner – Werkstückoberfläche (Düsenschutzkappe – Werkstückoberfläche), elektrischer Schneidstrom und/oder elektrische Schneidspannung, geändert werden. Es ist aber auch möglich, einen der beschriebenen Wechsel des Sekundärmediums beim Überfahren einer Schnittfuge *F* zu realisieren. Im Abschnitt *K10* Schnittende endet das Schneiden. Auch hier können Parameter des ausströmenden Sekundärmediums oder Sekundärmediumgemischs nochmals geändert werden.

[0083] Nach einem der beschriebenen Wechsel mindestens eines Parameters des Sekundärmediums bzw. der Sekundärmedien wird die Kontur *K3* mit den kleinen Abschnitten mit dem bzw. den dafür am besten geeigneten Parametern geschnitten. Der Wechsel auf die Parameter auf den Abschnitt mit langer Kontur *K5* erfolgt im Bereich *K4* auf dem „Abfallteil“ analog zum Wechsel im Abschnitt Kontur *K2*.

[0084] Die **Fig. 16a** und **Fig. 16b** zeigen ebenfalls ein geschnittenes Bauteil. Auch hier erfolgt eine wie in den **Fig. 15a** und **Fig. 15b** beschriebenen Form der Wechsel des ausströmenden Sekundärmediums in den Abschnitten *K2* und *K4* zwischen den Abschnitten *K1* und *K3* sowie *K5*. Die Parameter des ausströmenden Sekundärmediums für den Abschnitt werden gegenüber dem Abschnitt *K21* geändert, weil im Abschnitt *K3* eine Fase mit einem Winkel, beispielsweise 45° geschnitten wird. Dies ist auch im letzten Absatz zu **Fig. 6** beschrieben.

[0085] **Fig. 17** zeigt beispielhaft einen Plasmabrenner **1** mit seiner Positionierung zum Werkstück mit dem Abstand *d* zwischen Düsenschutzkappe **25** und Werkstück *W*.

Bezugszeichenliste

1	Plasmabrenner
2	Plasmabrennerkopf
3	Plasmabrennerschaft
5	Koppeleinheit
6	Plasmastrahl (Pilot- oder Schneidlichtbogen)
11	Hohlraum
21	Düse
22	Elektrode
23	Gasführung
24	Raum (zwischen Elektrode-Düse)
25	Düsenschutzkappe
26	Raum (Düse-Düsenschutzkappe)
27	Medienführung SG1, SG2, SG1a, SG2a
28	Raum (Düse-Düsenschutzkappe), zur Düsen spitze hin
29	Düsenkappe
30	Gehäuse
31	Ventil PG1
32	Ventil PG2
33	Ventil Entlüftung
34	Zuführung PG1
35	Zuführung PG2
37	Leitung
51	Ventil
61	Zuführung SG1
61a	Zuführung SG1a
61b	Zuführung SG1b
62	Zuführung SG2
63	Ventil SG1, SG1a
64	Ventil SG2, SG1b
65	Blende
66	Zuführung
210	Düsenbohrung
250	Düsenschutzkappenöffnung
250a	weitere Bohrung
271	Bohrungen in Medienführung 27 für Sekundärmedium SG1, SG1a
272	Bohrungen in Medienführung 27 für Sekundärmedium SG2, SG1b
A	Ausgang
D	Durchmesser
D	Abstand Plasmabrenner-Werkstück
E	Eingang
F	Fuge
g	Versatz
K	Kontur des geschnittenen Werkstücks
K0	Schneidbeginn, Einstechen
K1	Abschnitt Kontur 1
K2	Abschnitt zwischen zwei Abschnitten
K3	Abschnitt Kontur 3

K4	Abschnitt zwischen zwei Abschnitten
K5	Abschnitt Kontur
K10	Schneidende
L	Länge

Mittelachse des Plasmabrenners

PG1	Plasmagas 1
PG2	Plasmagas 2
SG1	Sekundärmedium 1
SG1a	Sekundärmedium 1a
SG1b	Sekundärmedium 1b
SG2	Sekundärmedium 2
S	Spule
L1-L4	Abstände der Ventile
V	Schneidrichtung, Vorschubachsrichtung
W	Werkstück
W1	Schnittfläche
W2	Werkstückdicke
$\alpha 1-\alpha 4$	Winkel

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- DE 102004049445 A1 [0004]
- DE 102006018858 A1 [0008]

Zitierte Nicht-Patentliteratur

- DIN EN ISO 9013 [0061]

Patentansprüche

1. Plasmabrenner, insbesondere Plasmaschneidbrenner, bei dem durch mindestens eine Zuführung (61, 62) mindestens ein Sekundärmedium (SG1, SG2) durch ein Gehäuse (30) des Plasmabrenners (1) bis zu einer Düsen- Schutzkappenöffnung (250) und/oder weiteren Öffnungen (250a), die in einer Düsen- Schutzkappe (25) vorhanden sind, geführt ist und in der mindestens einen Zuführung (61, 62) unmittelbar innerhalb des Gehäuses (30) des Plasmabrenners (1) mindestens ein Ventil (63, 64) zum Öffnen und Verschließen der Zuführung (61, 62) vorhanden ist.

2. Plasmabrenner nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die eine Zuführung (61) in mindestens zwei parallele Zuführungen (61a, 61b) durch die Sekundärmedium (SG1) in Richtung Düsen- Schutzkappenöffnung (250) und/oder weiteren Öffnungen (250a) strömt, aufgeteilt ist und innerhalb des Gehäuses (30) mindestens zwei Ventile (63, 64) zum Öffnen und Verschließen der jeweiligen aufgeteilten Zuführung (61a, 61b) vorhanden, die jeweils einzeln aktivierbar sind.

3. Plasmabrenner nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass in mindestens einer der aufgeteilten Zuführungen (61a, 61b) eine Blende (65), eine Drossel oder ein den freien Querschnitt der jeweiligen Zuführung (61a) gegenüber dem freien Querschnitt gegenüber der jeweils anderen aufgeteilten Zuführung (61b) veränderndes Element vorhanden ist.

4. Plasmabrenner nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass mindestens zwei Zuführungen (61, 62) für zwei unterschiedliche Sekundärmedien (SG1, SG2) durch das Gehäuse (30) des Plasmabrenners (1) bis zu einer Düsen- Schutzkappenöffnung (250) geführt werden und/oder weiteren Öffnungen (250a), die in der Düsen- Schutzkappe (25) vorhanden sind, geführt sind und in den Zuführungen (61, 62) für jeweils ein Sekundär- medium (SG1, SG2) innerhalb des Gehäuses (30) jeweils mindestens ein Ventil (63, 64) zum Öffnen und Verschließen der jeweiligen Zuführung (61, 62) vorhanden ist.

5. Plasmabrenner nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Zusammenführung der aufgeteilten Zuführungen (61a, 61b) für ein Sekundärmedium oder die Zusammenführung der Zuführungen (61, 62) für unterschiedliche Sekundärmedien (SG1, SG2) innerhalb des Gehäuses (30) des Plasmabrenners (1), innerhalb des Plasmakopfes, in einem mit der Düse oder Düsenkappe und der Düsen- Schutzkappe gebildeten Raum, angeordnet ist und bevorzugt der Zusammenfluss der Sekundärmedienströme aus den aufgeteilten Zuführun-

gen (61a, 61b und/oder 61, 62) vor, während bzw. nach dem Passieren einer Gasführung (27) des Plasmabrenners (1) erfolgt.

6. Plasmabrenner nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass an der Gasführung (27) mindestens zwei Öffnungen (271, 272) oder zwei Gruppen von Öffnungen (271, 272), die das/die jeweilige(n) Sekundärmedium/-medien (SG1, SG2) führen, vorhanden sind; wobei bevorzugt die Öffnungen (271, 272) unterschiedlich große und geometrisch gestaltete freie Querschnitte aufweisen und/oder in unterschiedlichen Achsrichtungen ausgerichtet sind oder Öffnungen (271, 272) unterschiedlicher Gruppen radial versetzt zueinander angeordnet sind und/oder die Anzahl von Öffnungen (271, 272) in den einzelnen Gruppen unterschiedlich gewählt ist.

7. Plasmabrenner nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass mindestens ein an eine Zuführung (34) angeschlossener Hohlraum (11) innerhalb des Gehäuses (30) vorhanden ist, an dem an einer Öffnung ein die Öffnung öffnendes und verschließendes Ventil (33), mit dem eine Abführung des mindestens einen Plasmagases aus der mindestens einen Zuführung (34) für das Plasmagas bis zur Düsenöffnung (210) in geöffnetem Zustand dieses Ventils (33) erreichbar ist, vorhanden ist.

8. Plasmabrenner nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass innerhalb des Gehäuses (30) angeordnete Ventile (33, 63, 64) elektrisch, pneumatisch oder hydraulisch betätigbar, bevorzugt als Axialventil ausgebildet sind und besonders bevorzugt einen maximalen Außendurchmesser oder eine maximale mittlere Flächendiagonale von maximal 15 mm, eine maximale Länge von 50 mm aufweisen und/oder der maximale Außendurchmesser des Gehäuses 52 mm beträgt und/oder der maximale Außendurchmesser der Ventile maximal $\frac{1}{4}$, des Außendurchmessers oder einer maximalen mittleren Flächendiagonale des Gehäuses (30) aufweist und/oder die Ventile (33, 63, 64) eine maximale elektrische Leistungsaufnahme von 10 W zu ihrem Betrieb erfordern; wobei bevorzugt bei elektrisch betreibbaren Ventil(en) (33, 63, 64) das jeweilige Sekundärmedium oder das Plasmagas die Wicklung einer Spule (S) durchströmt.

9. Plasmabrenner nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Plasmabrenner (1) als Schnellwechselbrenner mit einem von einem Plasmabrennerkopf (2) trennbaren Plasmabrennerschaft (3) ausgebildet ist.

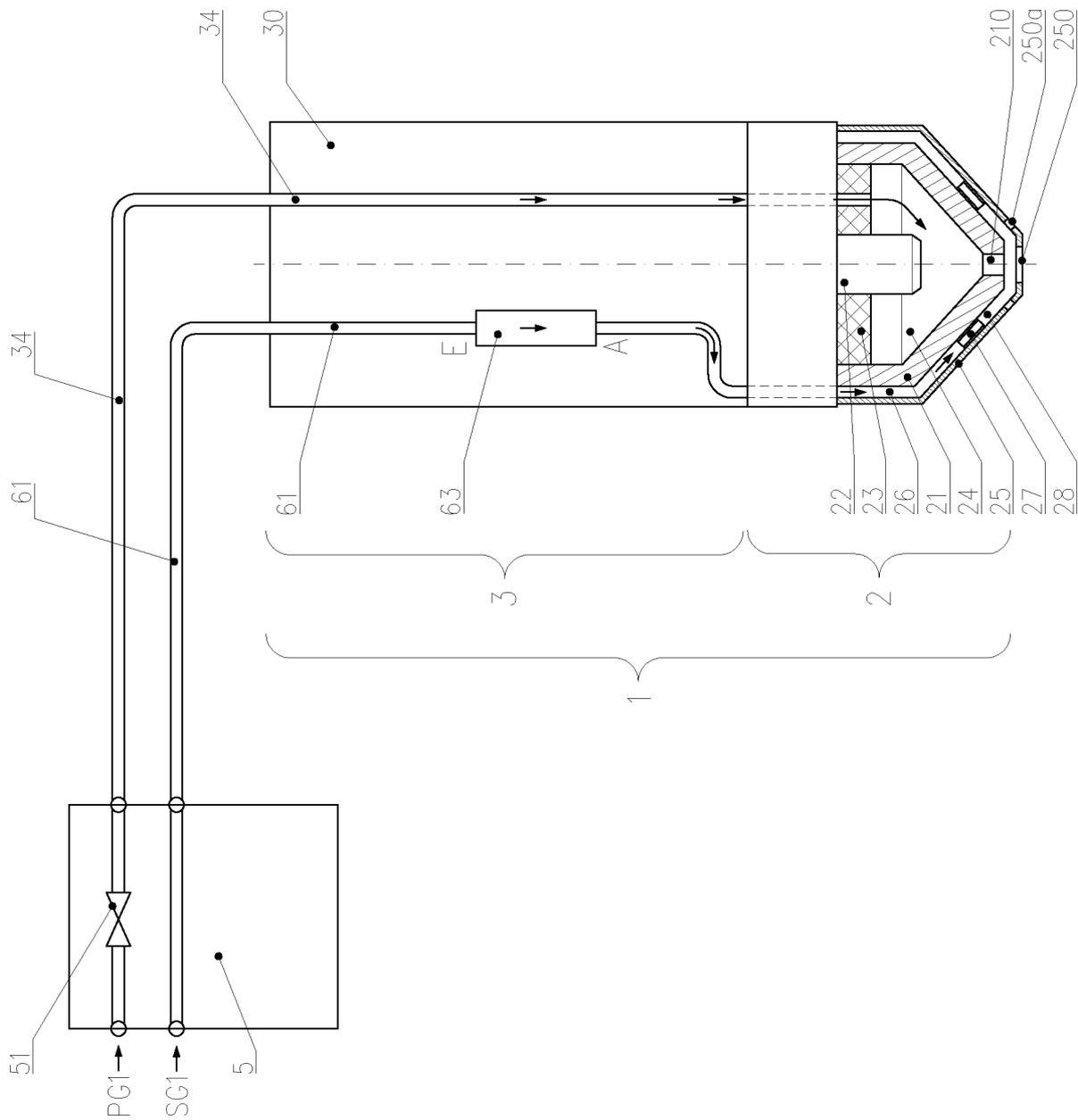
10. Plasmabrenner nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass zusätzlich zur Düsenschutzkappenöffnung (250) oder einer Halterung der Düsenschutzkappe (25) mindestens eine Öffnung (250a) vorhanden ist, durch die zumindest ein Teil eines der Sekundärmedien (SG1, SG2) strömt, wobei bei mehreren vorhandenen Öffnungen (250a) jeweils ein Sekundärmedium (SG1 oder SG2) durch eine oder mehrere ausgewählte Öffnung(en) (250a) in Richtung Werkstückoberfläche austritt.

11. Plasmabrenner nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass gasförmige und/oder flüssige Sekundärmedien einsetzbar sind.

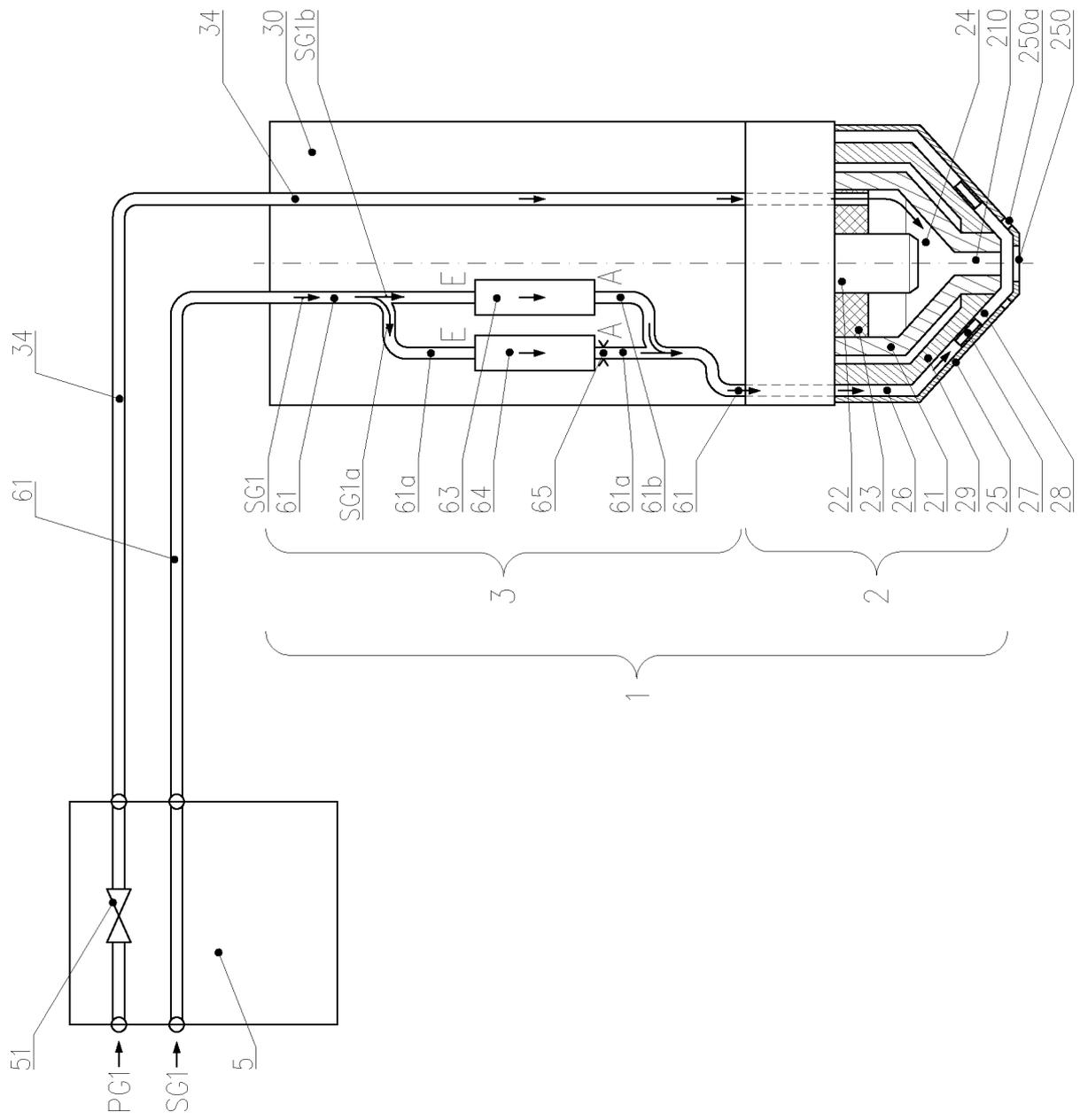
12. Plasmabrenner nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Plasmabrenner (1) an eine Steuerung angeschlossen ist, die so ausgebildet ist, dass das/die Ventil(e) (63, 64), die in einer Zuführung (61, 62, 61a, 61b) für Sekundärmedium (SG1, SG2) angeordnet ist/sind, geöffnet ist/sind, wenn zumindest ein Teil des elektrischen Schneidstromes durch das Werkstück (W) fließt, so dass in diesem Betriebszustand Sekundärmedium (SG1, SG2) aus dem Plasmabrenner (1) in Richtung Werkstückoberfläche ausströmen kann und in einem Zeitraum, in dem ein Pilotlichtbogen ausgebildet ist, das/die Ventil(e) (63, 64) geschlossen gehalten ist/sind und/oder das/die Ventil(e) (63, 64), das/die in einer Zuführung (61, 62, 61a, 61b) für Sekundärmedium (SG1, SG2) angeordnet ist/sind, frühestens zu dem Zeitpunkt geöffnet werden, an dem beim Einstechen in ein Werkstück das Werkstück (W) mindestens zu 1/3, bevorzugt zur Hälfte und besonders bevorzugt vollständig durchstoßen worden ist und/oder mindestens ein Ventil (63, 64), das in einer Zuführung für Sekundärmedium (SG1, SG2) angeordnet ist, während des Schneidbeginns (K0), zwischen zwei Schneidabschnitten (K2), beim Überfahren einer Schnitffuge (F) oder am Schneidende (K10) ein-, ausgeschaltet wird.

Es folgen 20 Seiten Zeichnungen

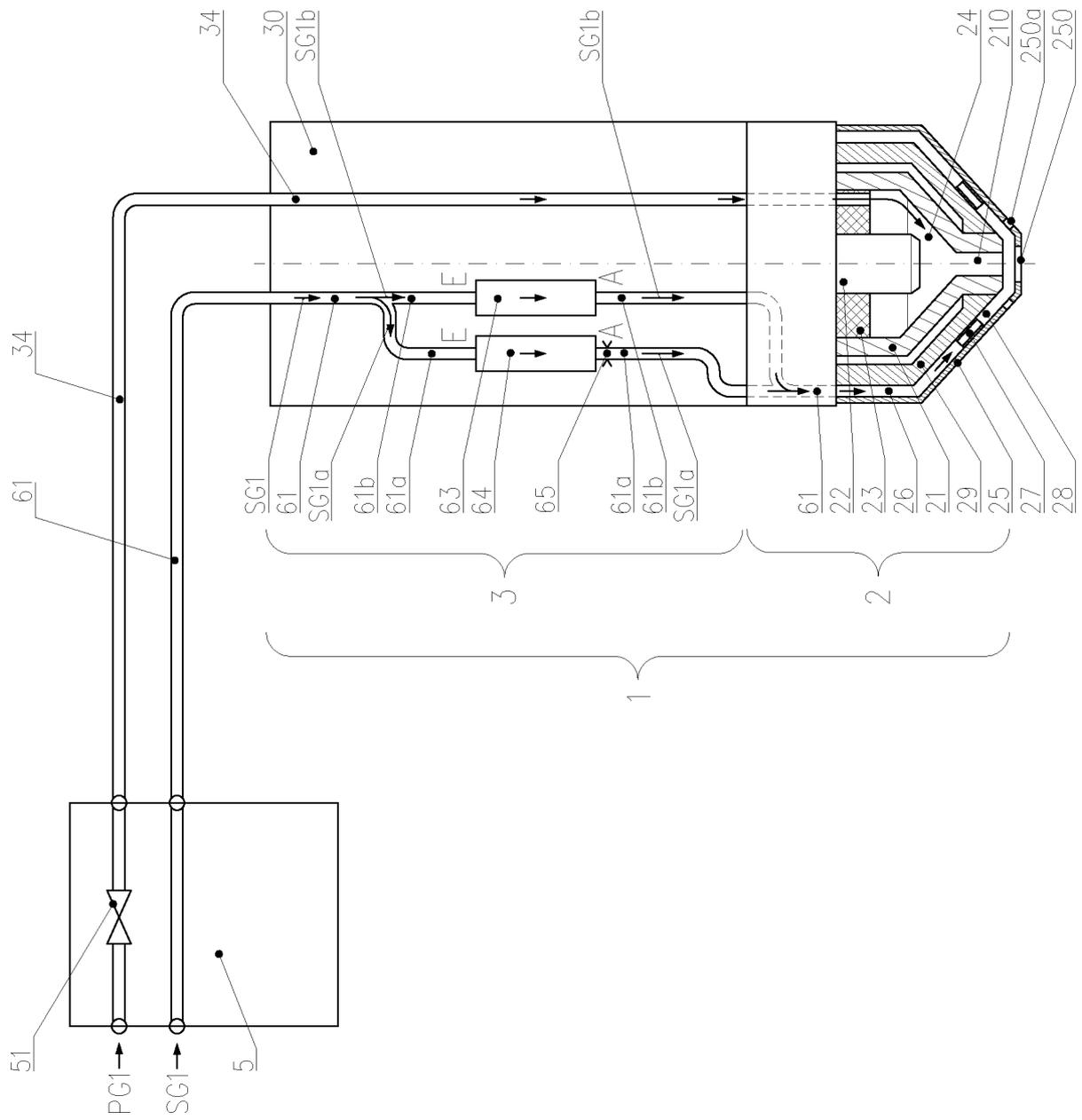
Anhängende Zeichnungen



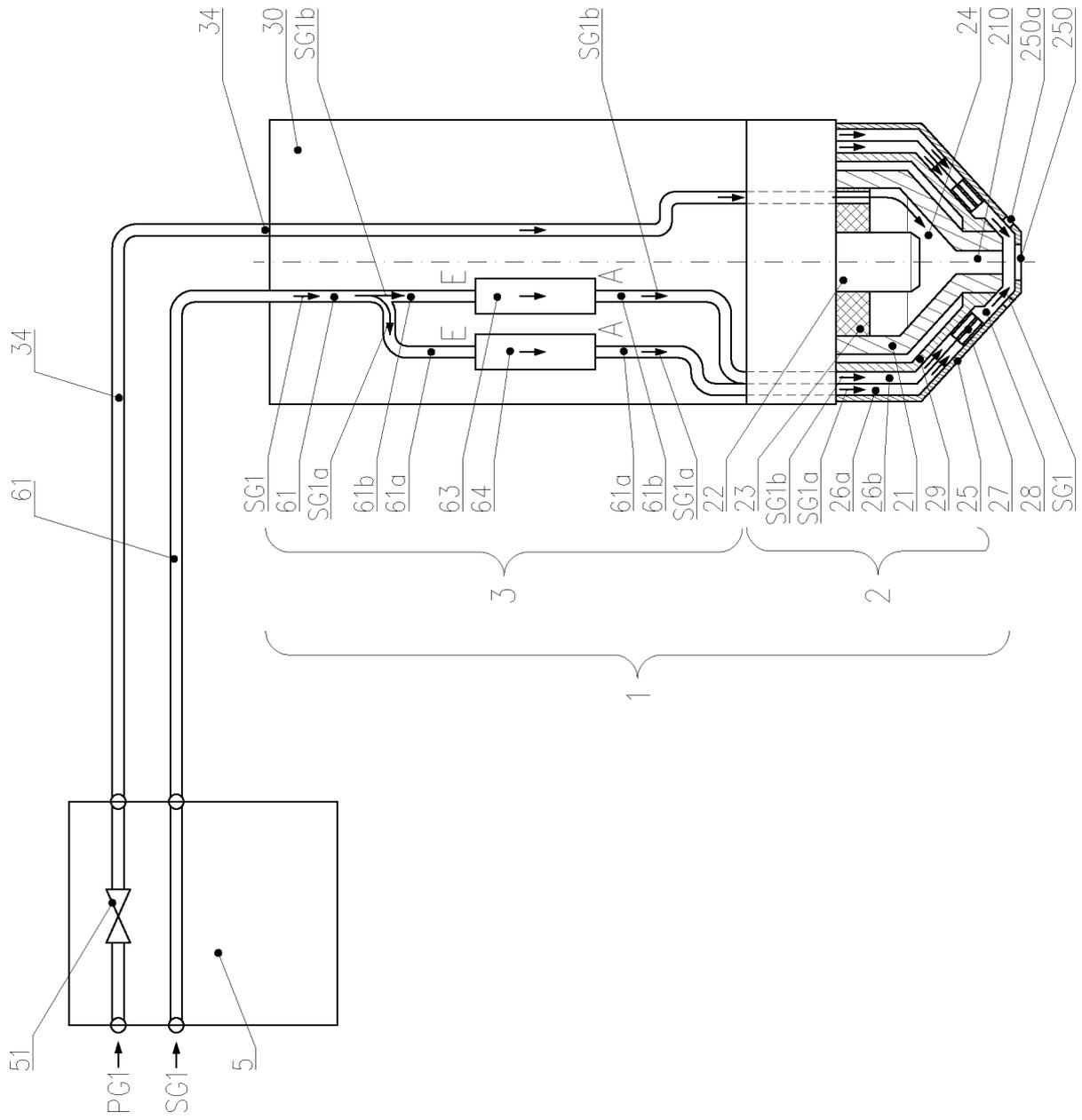
Figur 1



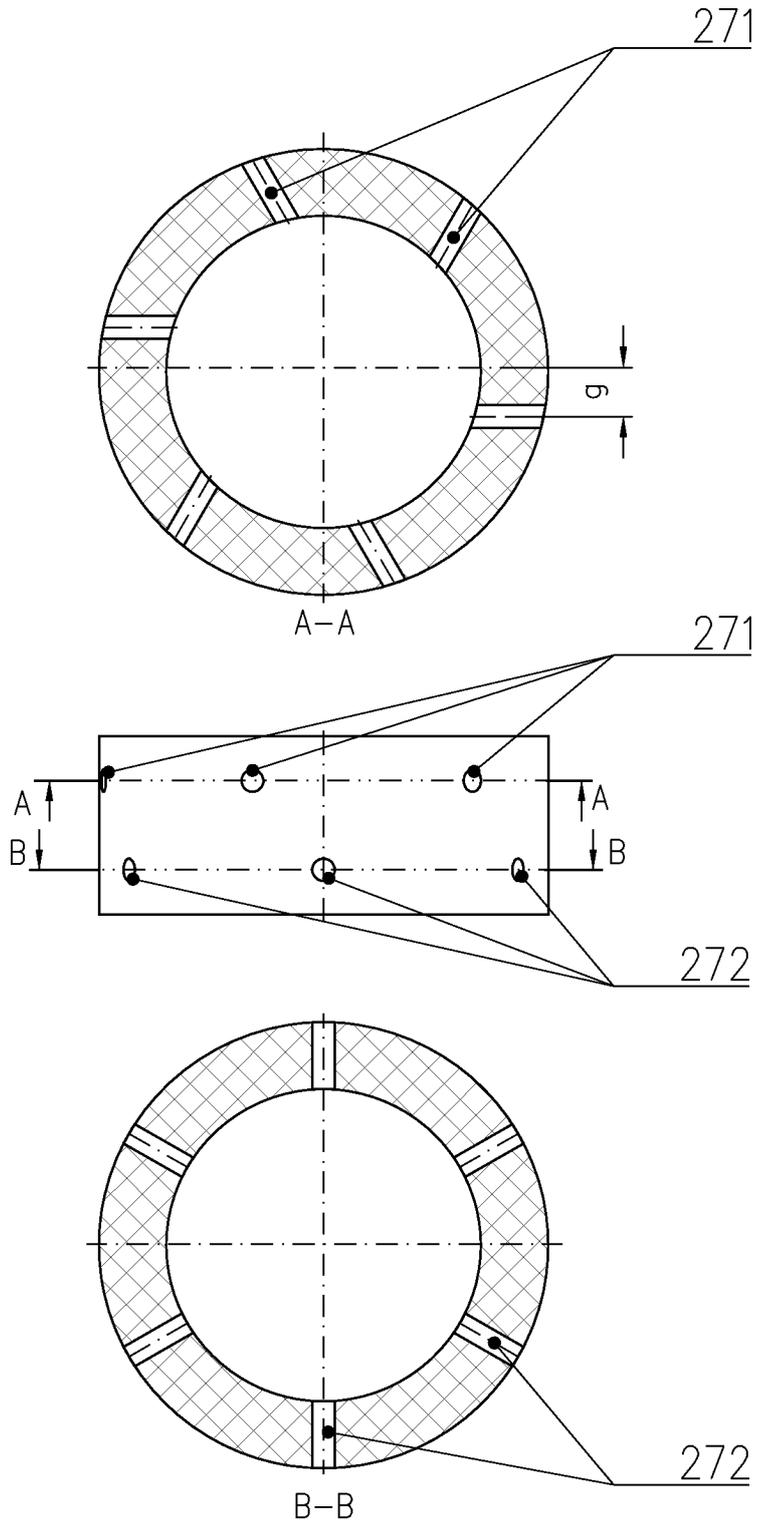
Figur 2



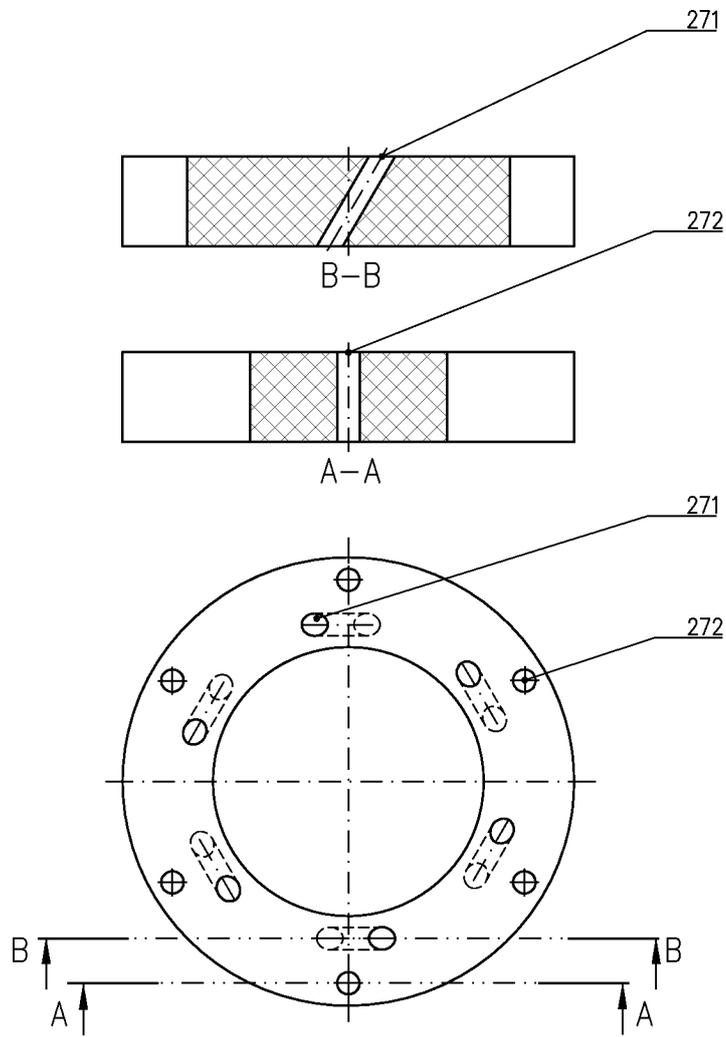
Figur 3



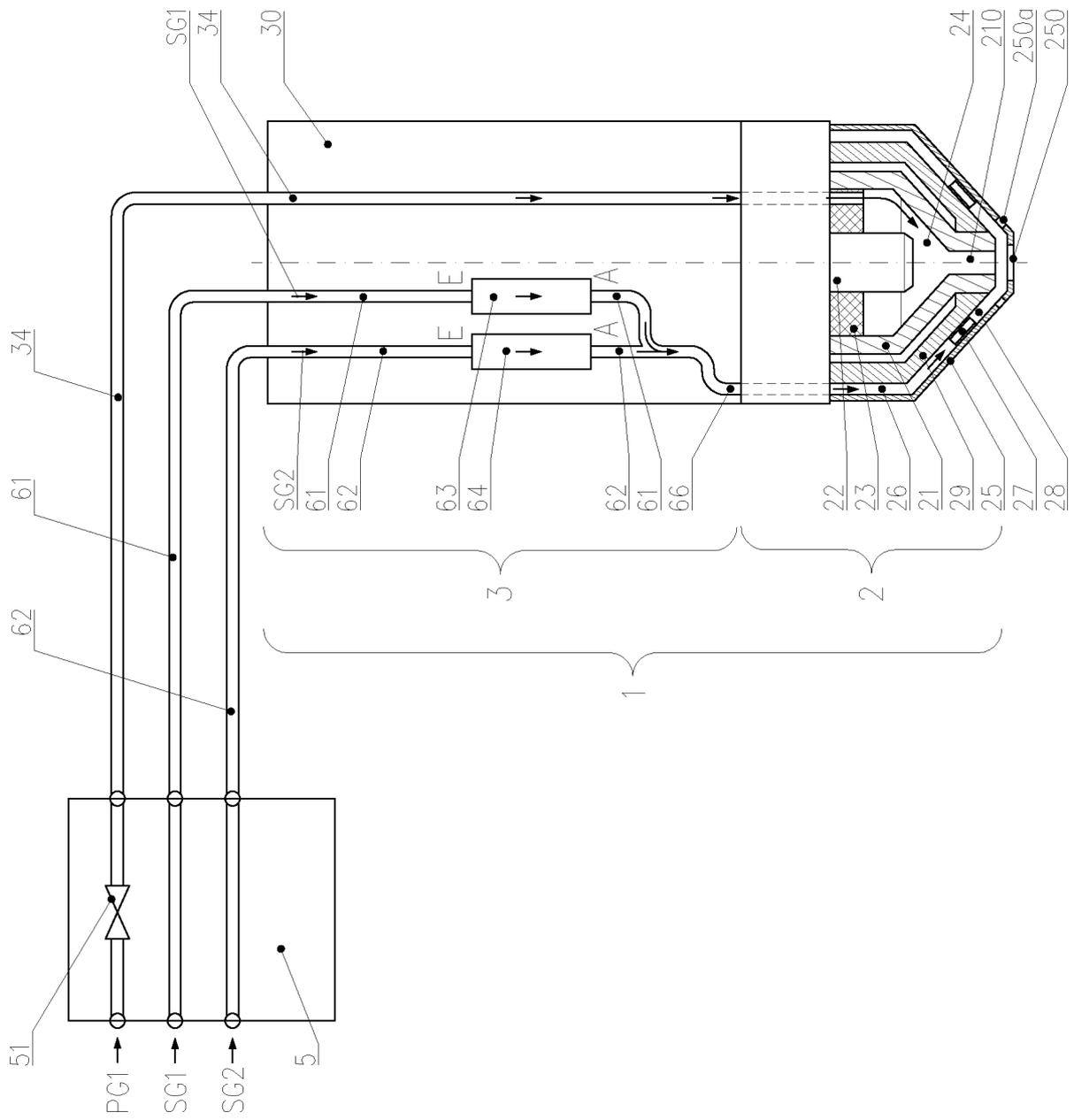
Figur 4



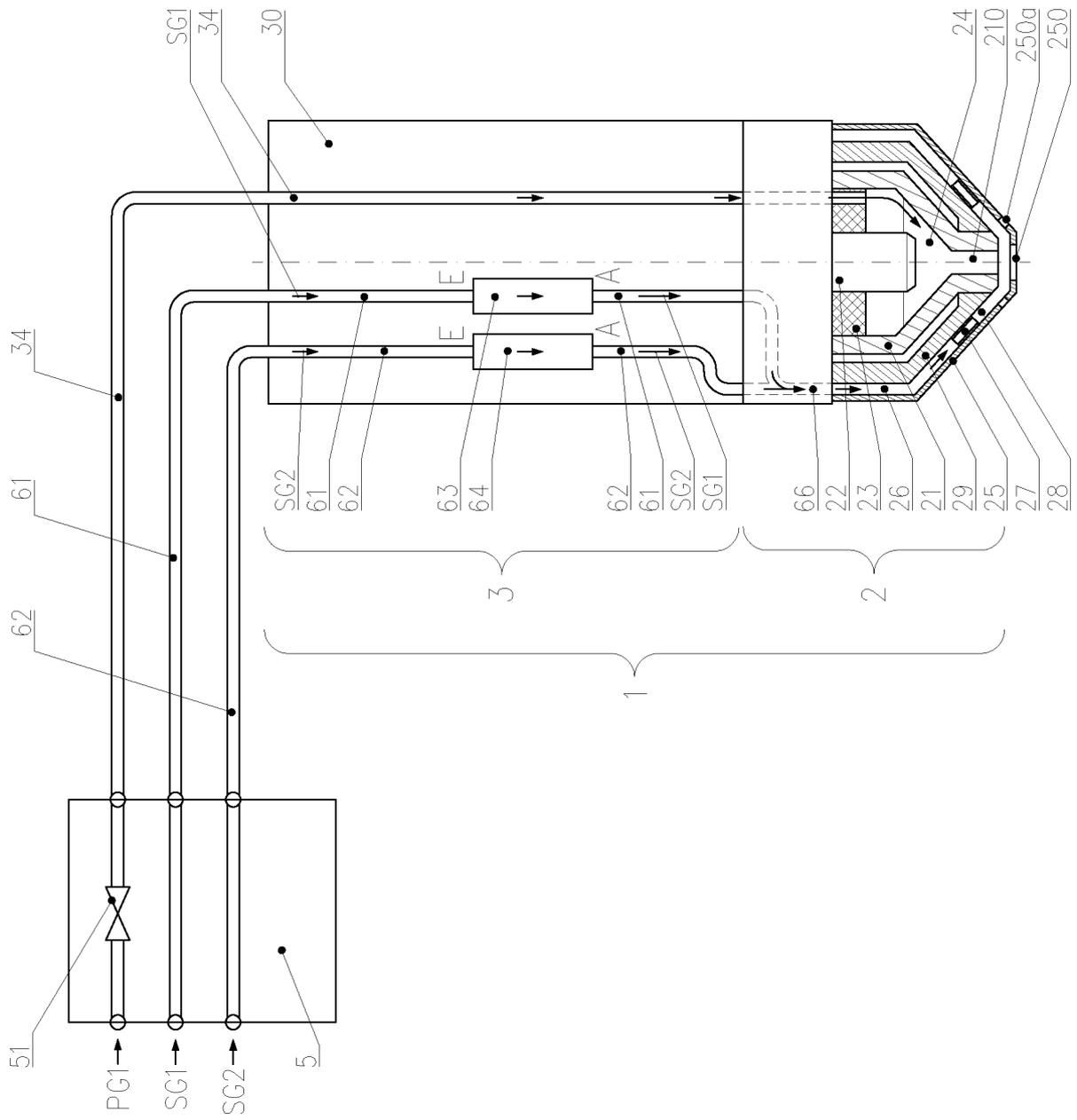
Figur 5a



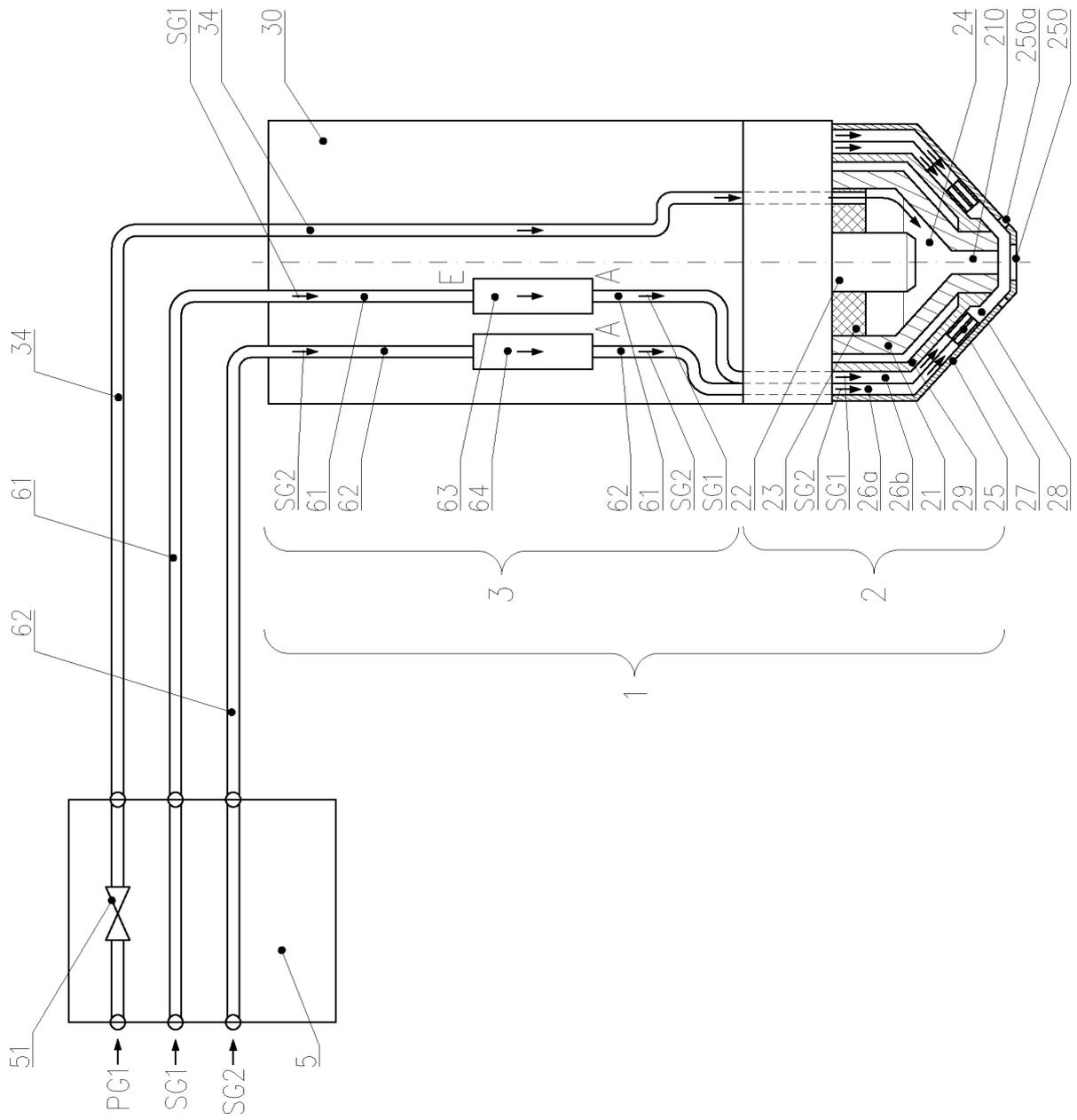
Figur 5b



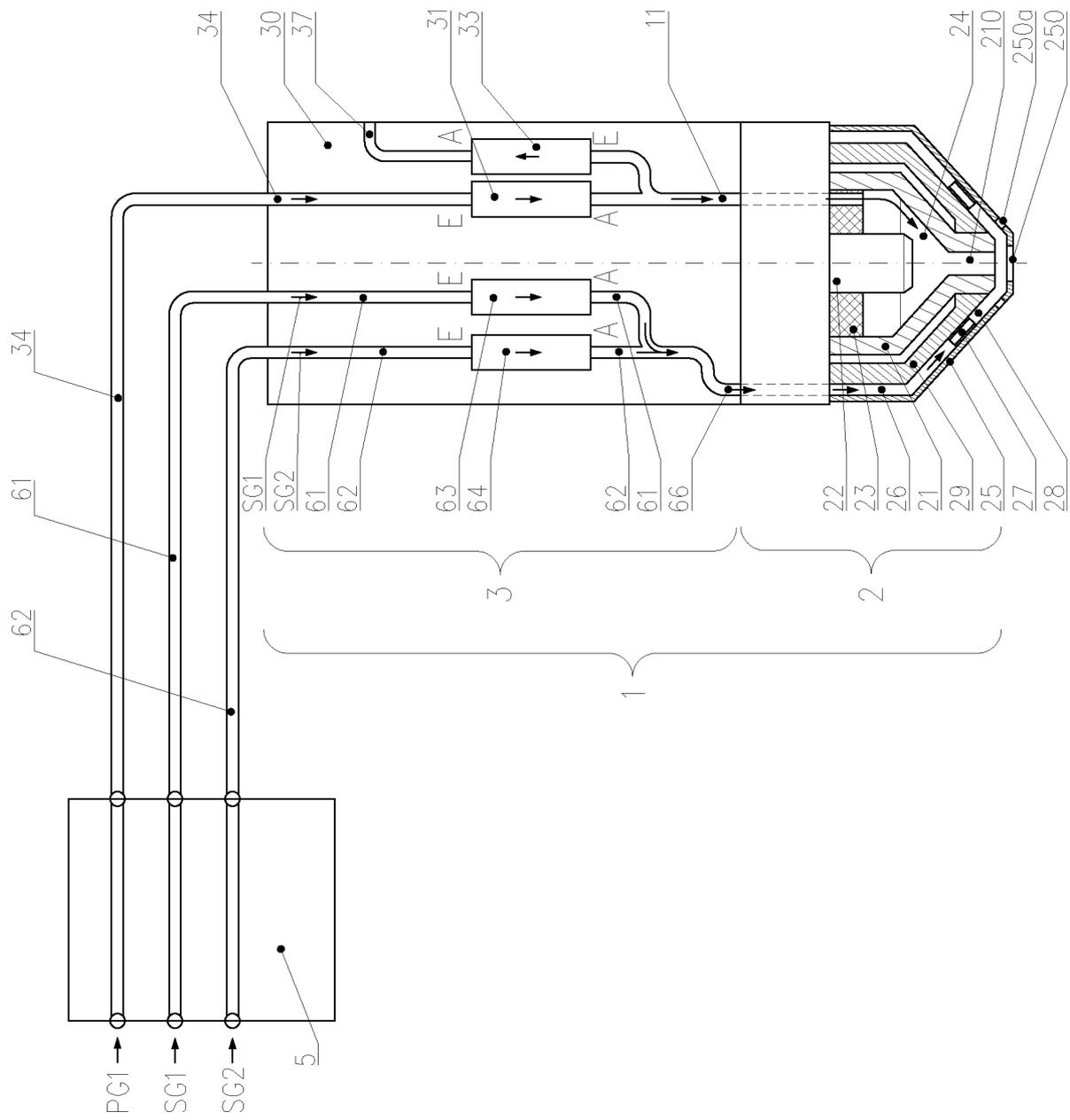
Figur 6



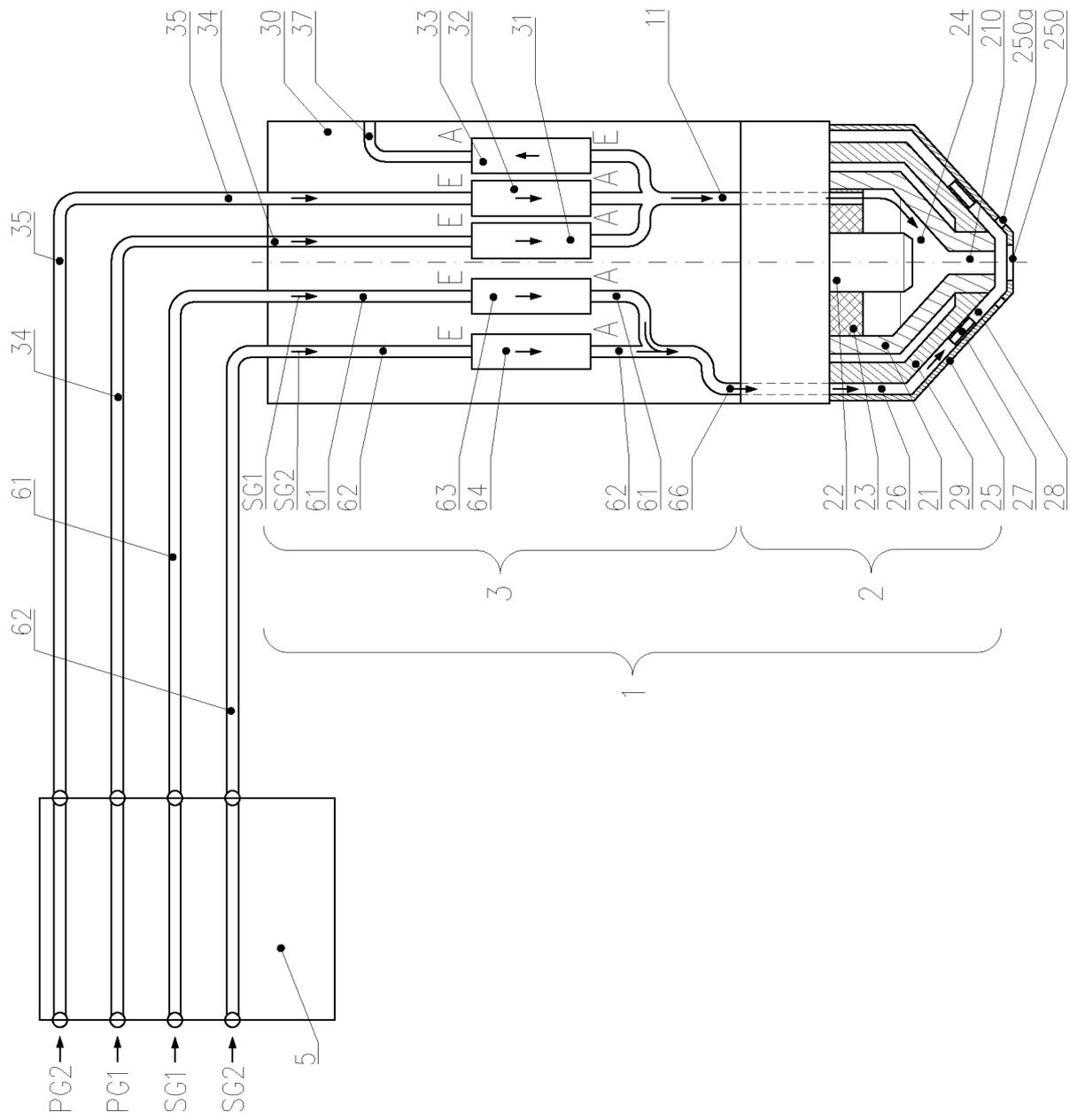
Figur 7



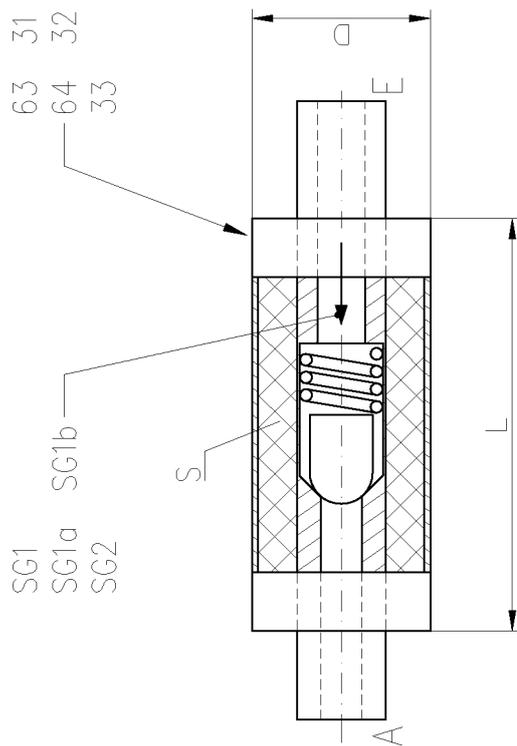
Figur 8



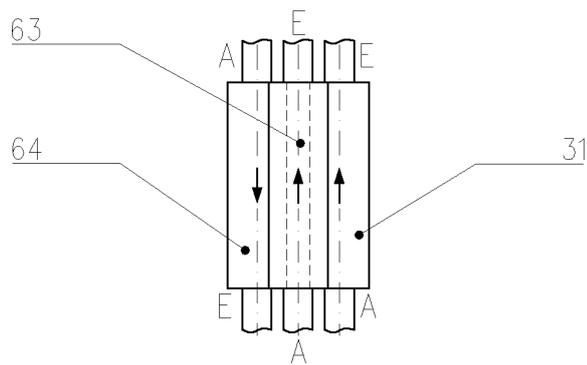
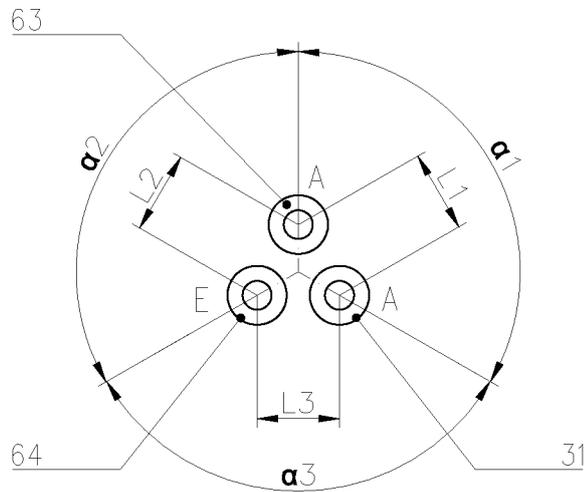
Figur 9



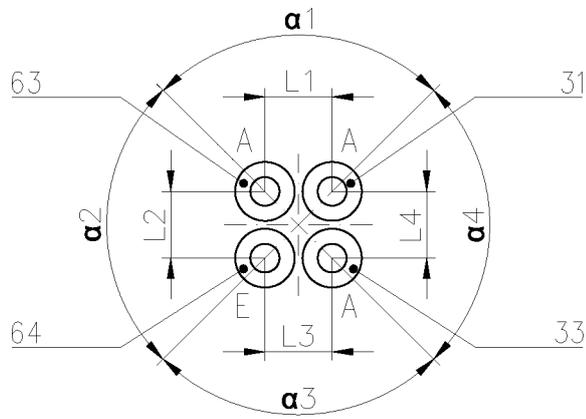
Figur 10



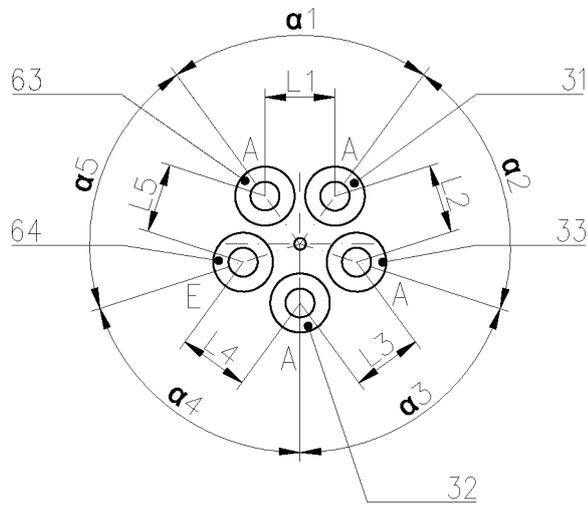
Figur 11



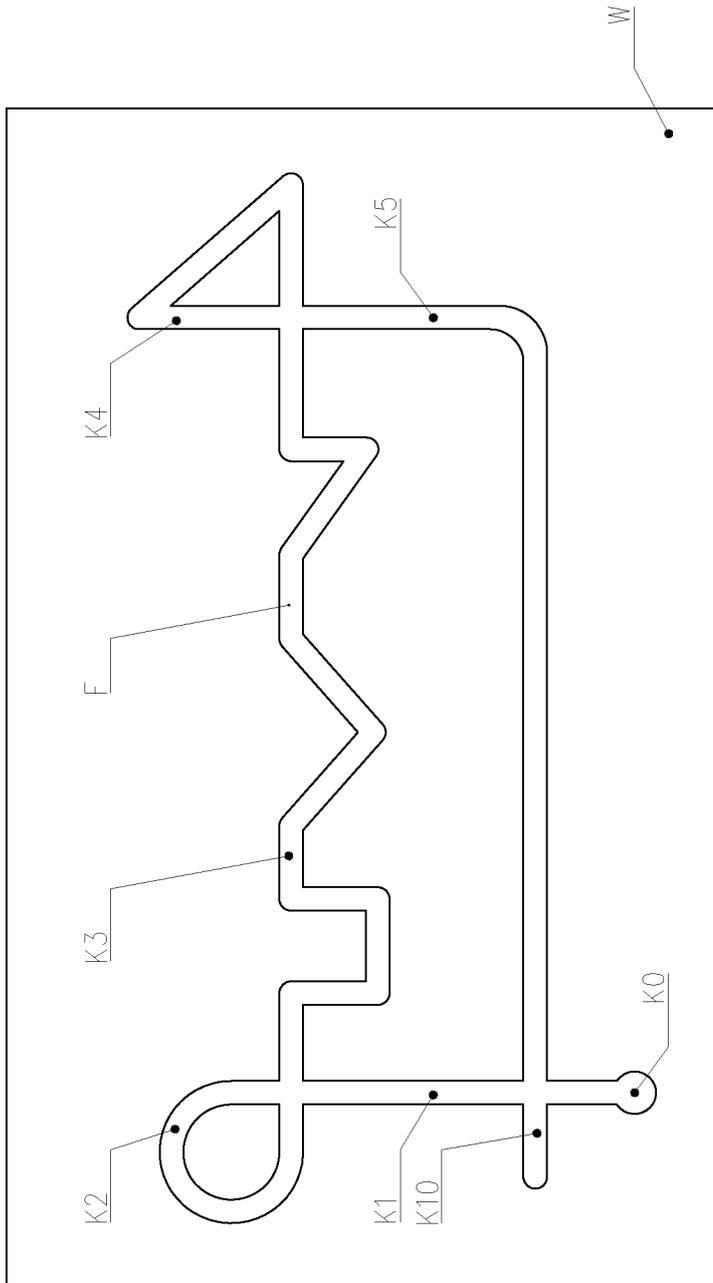
Figur 12



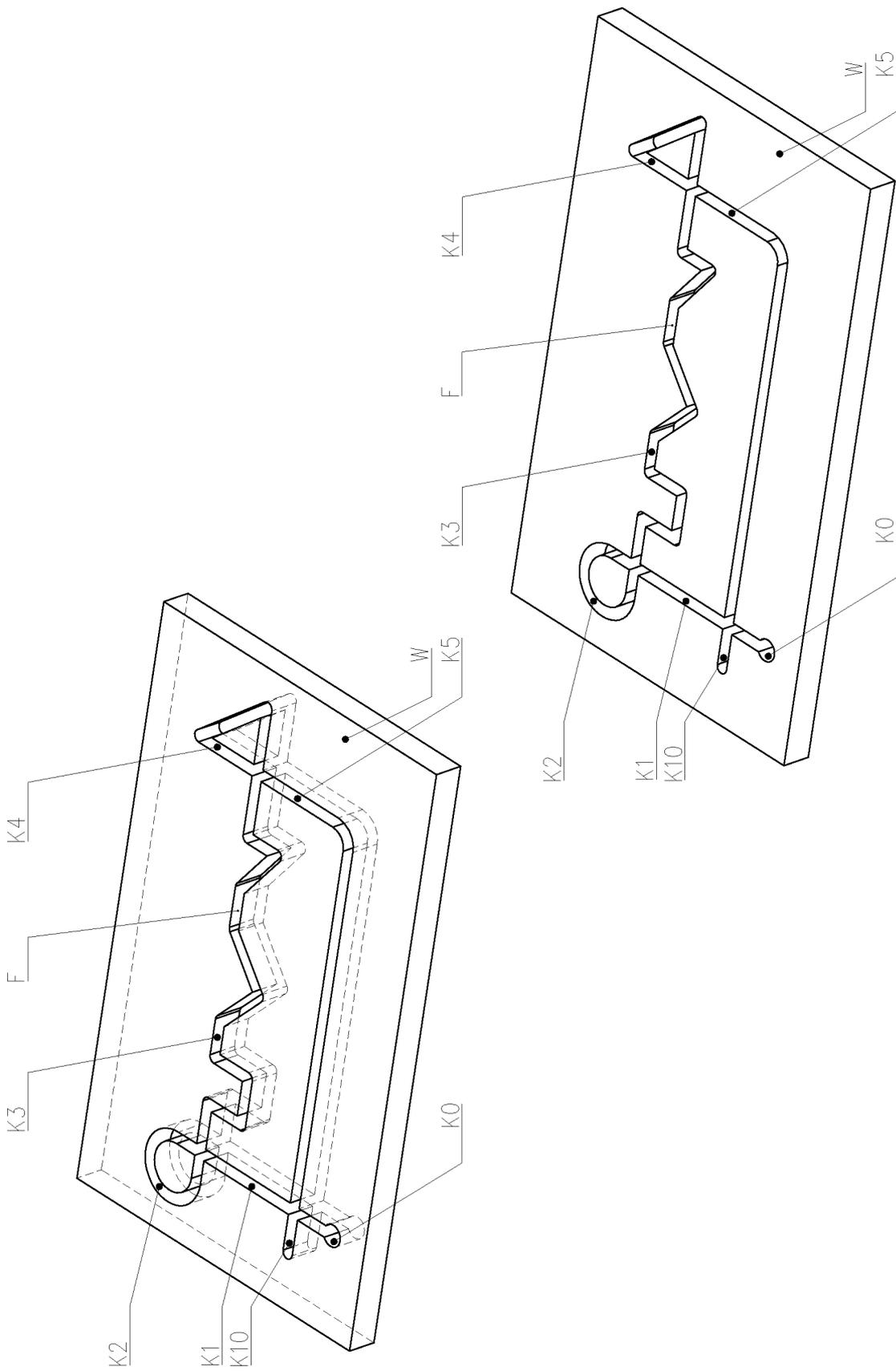
Figur 13



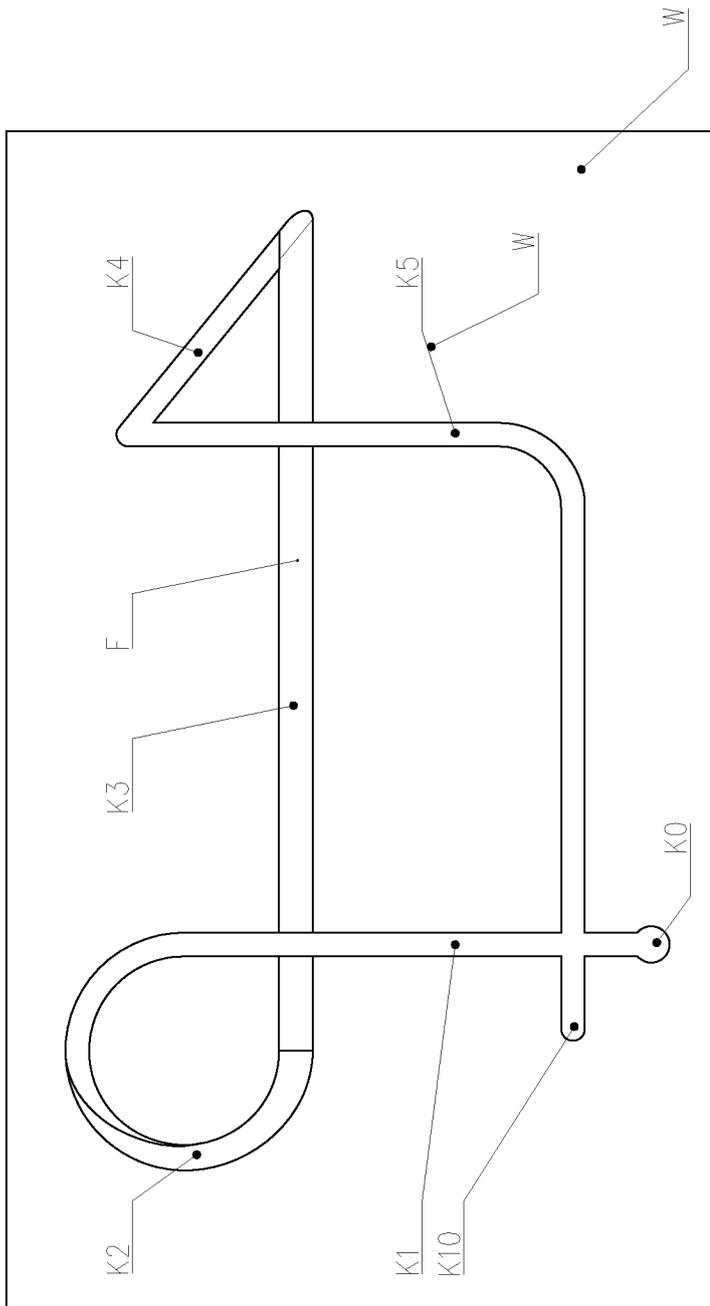
Figur 14



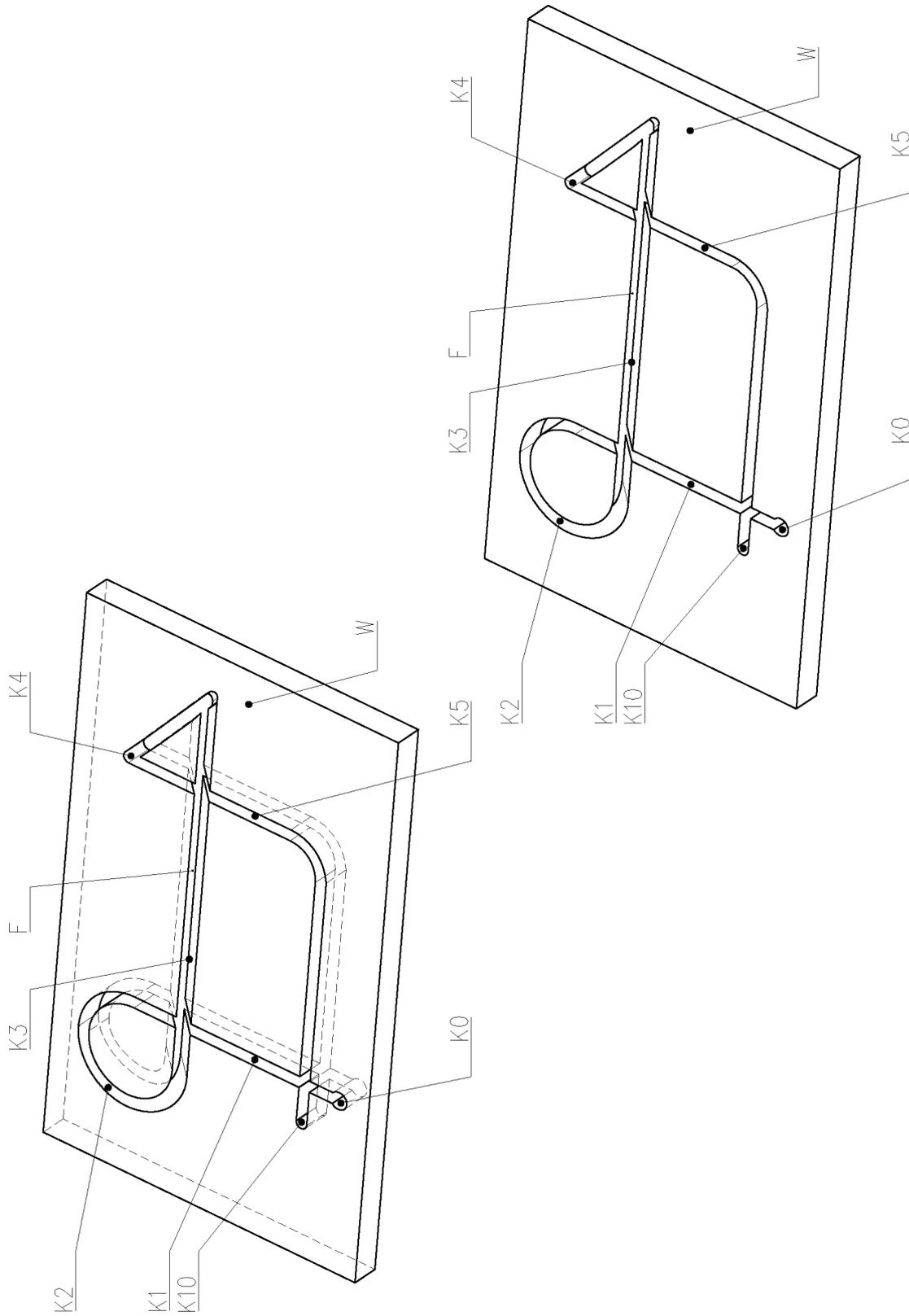
Figur 15a



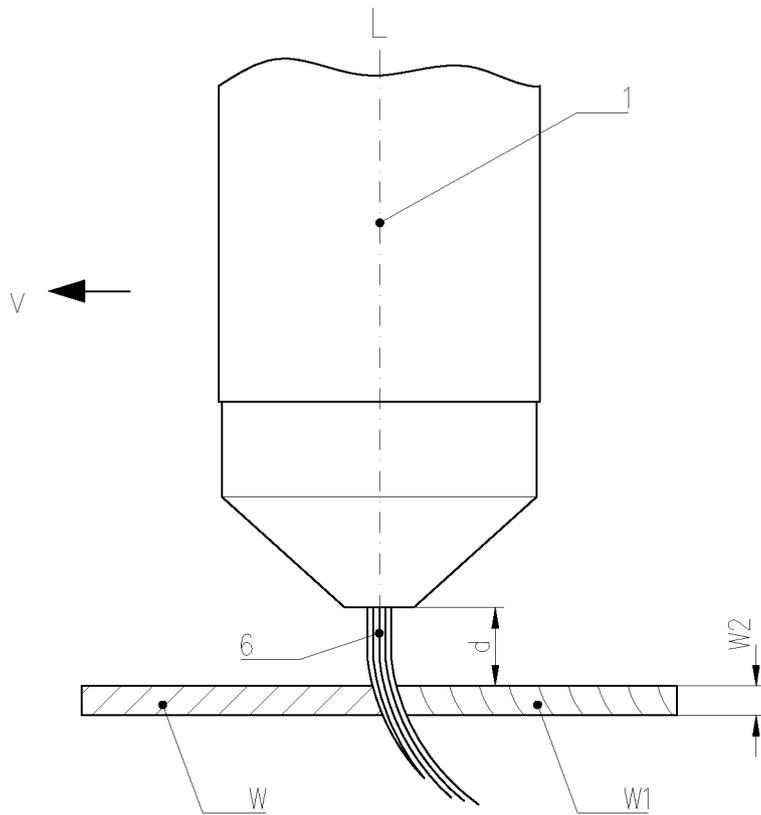
Figur 15b



Figur 16a



Figur 16b



Figur 17