(19) **Bundesrepublik Deutschland**
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 692 33 071 T3** 2010.04.15

(12) Übersetzung der geänderten europäischen Patentschrift

(97) **EP 0 794 697 B2**
(21) Deutsches Aktenzeichen: **692 33 071.2**
(96) Europäisches Aktenzeichen: **97 201 302.3**
(96) Europäischer Anmeldetag: **09.03.1992**
(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **10.09.1997**
(97) Veröffentlichungstag der Patenterteilung beim EPA: **21.05.2003**
(97) Veröffentlichungstag des geänderten Patents beim EPA: **16.12.2009**
(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **15.04.2010**

(51) Int Cl.[8]: ***H05H 1/34*** (2006.01)

Patentschrift wurde im Einspruchsverfahren geändert

(30) Unionspriorität:

682991	**12.04.1991**	**US**
682992	**12.04.1991**	**US**
753395	**30.08.1991**	**US**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
CH, DE, FR, GB, IT, LI, SE

(73) Patentinhaber:
Hypertherm, Inc., Hanover, N.H., US

(74) Vertreter:
Andrae Flach Haug, 81541 München

(72) Erfinder:
Couch, Richard W.Jr., Hanover, New Hampshire 03755, US; Sanders, Nicholas A., Norwich, Vermont 05055, US; Luo,Lifeng, Mayfield Heights, OH 44124, US; Sobr,John, Lebanon, NH 03766, US

(54) Bezeichnung: **Lichtbogen-Plasmaschneidvorrichtung**

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

Beschreibung

[0001] Diese Erfindung betrifft im Allgemeinen eine Plasmalichtbogenschneid- und -schweißvorrichtung. Insbesondere betrifft sie die Verwendung eines Schildelements mit einem austauschbaren Außenseitenteil, das sich über das untere Ende des Brenners erstreckt und das ohne die Notwendigkeit des Entfernens des gesamten Schilds entfernt und ausgetauscht werden kann.

[0002] Plasmalichtbogenbrenner besitzen eine große Vielzahl von Anwendungen, wie das Schneiden von dicken Stahlplatten und das Schneiden von vergleichsweise dünnen Blechen aus galvanisiertem Metall, die allgemein bei Heiz-, Lüftungs- und Klimaanlagen-(HVAC-)Systemen verwendet werden. Die Grundkomponenten eines Plasmalichtbogenbrenners umfassen einen Brennerkörper, eine Elektrode (Kathode), die innerhalb des Körpers angebracht ist, eine Düse (Anode) mit einer zentralen Austrittsöffnung, einen Strom eines ionisierbaren Gases, elektrische Anschlüsse, Kanäle für Kühl- und Lichtbogensteuerfluida und eine Stromversorgung, die einen Zündlichtbogen in dem Gas, typischerweise zwischen der Elektrode und der Düse, und dann einen Plasmalichtbogen, einen leitfähigen Strom des ionisierten Gases von der Elektrode zu einem Werkstück, erzeugt. Das Gas kann nichtoxidierend, z. B. Stickstoff, Argon/Wasserstoff oder Argon, oder oxidierend sein, z. B. Sauerstoff oder Luft.

[0003] Verschiedene Plasmalichtbogenbrenner dieses allgemeinen Typs sind in den US-Patenten Nr. 3,641,304, erteilt an Couch und Dean, 3,833,787, erteilt an Couch, 4,203,022, erteilt an Couch und Bailey, 4,421,970, erteilt an Couch, 4,791,269, erteilt an Sanders und Couch, und 4,816,637, erteilt an Sanders und Couch, beschrieben, die alle allgemein zusammen mit der vorliegenden Anmeldung abgetreten sind. Plasmalichtbogenbrenner und verwandte Produkte werden in einer Vielzahl von Modellen von Hypertherm, Inc., Hanover, New Hampshire, verkauft. Der Brenner der Marke MAX 100 von Hypertherm ist für die Brenner mit mittlerer Leistung (100 Amp. Ausgang) unter Verwendung von Luft als Arbeitsgas typisch und ist sowohl für die Plattenherstellung als auch HVAC-Anwendungen brauchbar. Der Brenner der Marke HT 400 ist für Hochleistungsbrenner (260 Amp.) typisch, die oft Sauerstoff als Arbeitsgas verwenden. Hochleistungsbrenner werden typischerweise mit Wasser gekühlt und verwendet, um dicke Metallplatten, z. B. 2,54 cm (1 Zoll) dicke Platten aus Flussstahl, zu durchstoßen und zu schneiden.

[0004] Konstruktionserwägungen bei diesen Brennern umfassen das Kühlen des Brenners, da der Lichtbogen Temperaturen von mehr als 10.000°C erzeugt, die, wenn sie nicht kalt gesteuert werden, den Brenner, insbesondere die Düse, zerstören. Eine weitere Erwägung ist, dass der Lichtbogen gesteuert werden muss, sowohl um den Brenner selbst gegenüber dem Lichtbogen zu schützen als auch um die Qualität des Schnitts, der in einem Werkstück durchgeführt wird, zu erhöhen. Eine frühere Erfindung von einem der vorliegenden Anmelder, die in dem US-Patent Nr. 3,641,308 beschrieben ist, umfasste die Verwendung eines Stroms von Kühlwasser in der Düse eines Brenners, um den Lichtbogen einzuschnüren und dadurch einen Schnitt besserer Qualität zu erzeugen. Es wurde auch gefunden, dass die Schnittqualität sehr verbessert werden kann, wenn das Plasma dazu gebracht wird, zu wirbeln wie durch dessen Zuführen zu der Plasmakammer durch einen Wirbelring mit einem Satz von exzentrischen Löchern.

[0005] Bei dem Schneiden von Teilen aus Metallplatten, beginnt ein Schnitt oft durch das Durchstoßen der Platte an einem inneren Punkt. Da das Metall nicht durchgeschnitten wird, wenn das Durchstoßen beginnt, kann das geschmolzene Metall nicht unter der Schwerkraft aus dem Kerbschnitt laufen. Es wird deshalb nach oben auf den Brenner gespritzt. Dies ist unerwünscht, weil das Metall den Lichtbogen destabilisieren kann, und bewirkt, dass er die Düse aushöhlt, und es kann an der Düse anhaften, was oft zu einer Doppellichtbogenbildung führt, bei dem der Plasmalichtbogen von der Elektrode zur Düse fließt und dann über den Leitungspfad des geschmolzenen Metalls zu dem Werkstück. Sowohl das Aushöhlen als auch die Doppellichtbogenbildung verringern die Standzeit der Düse oder zerstören sie. Es ist auch wichtig, dass der sich ergebende Schnitt glatt und so frei von Schlacke wie möglich ist und einen Schnittwinkel aufweist, der vorzugsweise bei oder nahe 0° liegt, d. h. dass die ”gute” Seite des Kerbschnitts eine Oberfläche aufweist, die rechtwinklig zu der Metallplatte selbst ist.

[0006] In der Vergangenheit bestand zur Bekämpfung des Aushöhlens und der Doppellichtbogenbildung aufgrund von verspritztem Metall die Lösung für Hochstrombrenner (200 Amp. und mehr) in der Verwendung einer mehrteiligen Düse mit Wassereinspritzkühlung. Typische derartige Düsen, die von Hypertherm, Inc. vertrieben werden, sind in schematischer Form in Fig. 1A und Fig. 1B dargestellt. Die Hypertherm Modelle Nr. HT400 0.099, HT400 0.166 und PACT500 0.187 entsprechen Fig. 1A und verwenden eine mit Wasser gekühlte keramische Düsenaußenseite. Fig. 2B zeigt eine Abwandlung dieser Konstruktion, die von Hypertherm, Inc. als Modell PAC500 0.250 vertrieben wird.

[0007] Für einen Niederstrombetrieb, 0 bis 200 Ampère, ist eine Wassereinspritzkühlung aufgrund der Kosten und der Energieabführung aus dem Plasma durch die Wasserkühlung weniger praktisch. Die übliche kommerzielle Lösung für luftgekühlte Nieder-

leistungsbrenner war es, dem Metall einfach zu gestatten, an den Brennerteilen anzuhaften, und diese dann auszutauschen. Eine typische Düsenstandzeit für einen solchen Brenner, der mit 40 bis 50 Ampere beim Durchstoßen und Schneiden von 6,35 mm (1/4 Zoll) Flussstahl betrieben wird, beträgt etwa eine Stunde. Kosten sind natürlich mit dem Austausch von Teilen, der Produktionszeit, die während des Austauschvorgangs verloren geht, sowie Sicherheitserwägungen verbunden, die immer auftreten, wenn ein Brenner zerlegt und wieder zusammengebaut wird.

[0008] Das Gaskühlen von Düsen ist beispielsweise auch aus der EP 0 196 612 bekannt. Es beinhaltet üblicherweise einen Doppelstrom, d. h. einen primären Strom eines Plasmagases und einen sekundären Strom. Sie können an einem gemeinsamen Einlass oder getrennten Einlässen ihren Ursprung haben. Der primäre Strom muss durch ein ionisierbares Gas gebildet werden, der sekundäre Strom ist nicht notwendigerweise ionisierbar. Der primäre Strom geht durch die Plasmakammer, wo er ionisiert wird, und verlässt den Brenner durch seine Düse, um einen Plasmagasstrahl zu bilden. Das sekundäre Gas strömt außerhalb der Düse, um eine kalte Schicht aus nicht-ionisiertem Gas um den Lichtbogen herum zu bilden. Bei herkömmlichen Brennern sind die Temperatur und die Geschwindigkeit des Primär- oder Plasmagases viel höher als diejenigen des Sekundärgasstroms.

[0009] Während die Schneidfähigkeiten des Brenners hauptsächlich von dem Plasmagasstrahl abhängen, kann der sekundäre Strom für das Kühlen des Brenners und zur Schaffung einer geschützten gasförmigen Umgebung am Werkstück wichtig sein. Fig. 2A zeigt eine typische Verwendung eines Sekundärgasstroms über die Außenfläche einer Düse in Richtung auf das Werkstück. Diese Anordnung wird für Niederstromanwendungen verwendet. Düsen dieses Typs werden von Hypertherm, Inc. als Modell Nr. HT 40.038 und MAX100 0.059 vertrieben. Fig. 2B zeigt eine weitere Gaskühlanordnung mit einer Isolierbüchse aus Keramik am unteren Ende der Düse, um die Düse gegen Kontakt an dem Werkstück zu schützen. Keramik ist jedoch spröde, und diese Anordnung bietet keinen Schutz der Düse während des Durchstoßens.

[0010] Das US-Patent Nr. 4,389,559, erteilt an Rotolico et al., und das US-Patent Nr. 4,029,930, erteilt an Sagara et al., sind Beispiele von Plasmabrennern für Unterwassersprüh- bzw. -schweißanwendungen, wo eine Hülle aus Sekundärgas die Zone abschirmt, wo der Lichtbogen gegen die Umgebungsatmosphäre, gleichgültig ob Luft oder Wasser, wirkt. Das US-Patent 4,816,637, erteilt an Sanders and Couch, offenbart einen Hochstrom-Unterwasserschneidbrenner mit einem nach innen gerichteten radialen Strom von Luft von 0 bis 10 scfm in Kombination mit einer ringförmigen Wasserhülle, um eine wasserfreie Schneidzone zu bilden und Wasserstoffgas wegzuspülen, das sich sonst unter dem Werkstück ansammeln würde.

[0011] Wie vorstehend festgestellt, ist die Fähigkeit eines Plasmabrenners, ein Durchstoßen durchzuführen, bei einem Plasmaschneidvorgang sehr wichtig. Das gemeinsam abgetretene US-Patent Nr. 4,861,962 und WO 91 02 619, erteilt an Sanders und Couch, offenbaren die Verwendung eines elektrisch schwimmenden Metallschilds, der die Düse im Wesentlichen umgibt, um beim Durchstoßen verspritztes Metall zu blockieren. Ein Sekundärgasstrom zwischen dem Schild und der Düse kühlt diese Komponenten. Schräge Öffnungen stromaufwärts führen einen Wirbel in den sekundären Strom ein, um dabei zu helfen, den Lichtbogen zu stabilisieren und die Schnittqualität zu verbessern. Ablassöffnungen in dem Schild ziehen auch einen Teil des Kühlstroms ab, um einen erhöhten Gesamtstrom zum besseren Kühlen zu gestatten, ohne den Lichtbogen während des Schneidens zu destabilisieren. Diese Lösung ist jedoch für scharfzeichnende (manchmal hochdichte genannt) Brenner nicht ausreichend, die einen konzentrierten Lichtbogen aufweisen und mehr Kühlung, als durch ein Gas vorgesehen werden kann, erfordern. Der sekundäre Strom ist relativ gering, um die Schnittqualität aufrechtzuerhalten. Das Gas fungiert zum Kühlen des Brenners und als Hilfe bei der Stabilisierung des Lichtbogens.

[0012] Bei Doppelstrom-Brennern, ist, wenn das Primärgas Sauerstoff oder Luft ist, das Sekundärgas üblicherweise Luft. Wenn das Primärgas Stickstoff ist, ist das Sekundärgas üblicherweise Kohlendioxid oder Stickstoff. Diese Kombinationen erzeugen einen geeigneten Plasmagasstrahl ohne eine nicht akzeptable Größe der Störung durch das Sekundärgas bei dem Schnitt. Bei diesen Sekundärgasen weist der Kerbschnitt üblicherweise einen positiven Schnittwinkel von 1 bis 2° und obere und untere Schlacke auf. Schnittgeschwindigkeit und -qualität sind ansonsten etwa die gleichen wie wenn kein Schild verwendet worden wäre.

[0013] Es ist auch bekannt, unterschiedliche Gase oder Gasgemische für unterschiedliche Phasen des Schnittvorgangs vorzusehen. Das japanische veröffentliche Dokument Nr. 57-68270 von Hitachi Seisakusho K. K. offenbart beispielsweise während einer Zündlichtbogenphase einen Vorstrom aus Argon und ein Wechseln zu Wasserstoffgas für das Schneiden, gefolgt von einer Rückkehr zu Argon, nachdem das Schneiden beendet ist. Die veröffentlichte japanische Anmeldung Nr. 61-92782 der Koike Oxygen Industry, Inc. offenbart ein Stickstoff-/Sauerstoffgemisch als Vorstrom-Plasmagas bei der Startphase, gefolgt von einem Sauerstoff-Plasmastrom. Diese beiden Ströme sind für das Plasmagas, nicht für ein Sekundär-

gas. Diese Veröffentlichung lehrt, dass ein Plasma- oder Primärgas-Vorstrom aus etwa 85% Stickstoff, 15% Sauerstoff der beste ist, um die Elektrodenstandzeit zu verlängern. Das US-Patent Nr. 5,017,752, erteilt an Severance et al., offenbart einen Strom eines nichtoxidierenden Gases während des Zündlichtbogenbetriebs, der zu einen reinen Sauerstoffstrom umgeschaltet wird, wenn der Lichtbogen übergeleitet wird. Diese Ströme sind wiederum nur Primärgasströme. Verschiedene Patente und Veröffentlichungen offenbaren auch Muster des Gasstroms und zeitliche Erwägungen. Das US-Patent Nr. 4,195,216, erteilt an Beauchamp et al., offenbart beispielsweise verschiedene Arten des Betreibens einer Plasmadrahtschweißvorrichtung auf eine Weise, die das Schlüsselloch am Ende der Schweißnaht füllt, indem die Drahtzuführungsrate in Koordination mit Änderungen im Gasstrom und dem Lichtbogenstrom eingestellt wird.

[0014] Die WO 91/02619 offenbart einen Schild gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1.

[0015] Es ist deshalb eine Hauptaufgabe der vorliegenden Erfindung, einen Plasmalichtbogenbrenner mit einem Schild zu schaffen, wobei der Abschnitt der am wahrscheinliches das gespritzte geschmolzene Metall auffängt ausgetauscht werden kann, ohne dass der vollständige Schild ausgetauscht werden muss.

[0016] Die vorliegende Erfindung schafft einen austauschbaren Schild, der zusammen mit einer ringförmigen Sekundärgaskappe verwendet wird, die an einem Ende eines Plasmalichtbogenbrenners angebracht ist und einen Körperabschnitt aufweist, der sich in Richtung auf eine Austrittsöffnung einer Düse erstreckt, die einen Plasmagasstrahl in Richtung auf ein Werkstück zum Durchstoßen und Schneiden des Werkstücks richtet, wobei der Schild ein metallisches Teil aufweist, das ein austauschbares metallisches Außenseitenstück ist mit (i) einer zentralen, kreisförmigen Öffnung, die zu der Austrittsöffnung der Düse ausgerichtet ist und bemessen ist, um den Plasmagasstrahl eng zu umgeben, (ii) einer Gruppe von Öffnungen, die die zentrale Öffnung umgeben, die bemessen sind, um einen beträchtlichen Teil des Sekundärgasstroms während des Schneidens umzulenken, aber nicht einen Strom des Sekundärgases mit einer höheren Durchflussrate umzulenken, die mit dem Durchstoßen verbunden ist, wobei die Öffnungen den Sekundärgasstrom hoher Durchflussrate bei seiner Beendigung zu Gunsten eines Stroms zum Schneiden entlüften, wobei der Schild geschmolzenes Metall auffängt, das während des Schneidens von dem Werkstück in Richtung auf den Brenner gespritzt wird, wobei der Schild ferner eine Einrichtung enthält, die an der äußeren Kante des Teiles angeordnet ist, um den Schuld austauschbar gegen den Körperabschnitt der Sekundärgaskappe abzudichten, und das metallische Teil (iii) eine Stufe, die mit einer Stufe in einer Seitenwand der Sekundärgaskappe zusammenpasst, (iv) eine Nut zum Halten eines O-Ringes, (v) eine Aussparung zum Halten und Positionieren eines Wirbelringes an seiner unteren Kante und (vi) einen die zentrale Öffnung umringenden Abschirmabschnitt hat, der sich am Allgemeinen parallel zu dem Werkstück erstreckt, mit einer Innenfläche, die das Äußere der Düse spiegelt, um dazwischen eine Hauptaustrittsöffnung für den Sekundärgasstrom zu bilden.

[0017] Der austauschbare Schild umfasst einen im Allgemeinen konischen Abschnitt, der sich von dem Abschirmabschnitt aus zu der austauschbaren Dichtungseinrichtung erstreckt, wobei die Öffnungen in dem konischen Abschnitt ausgebildet sind.

[0018] Vorzugsweise sind die Öffnungen winklig angeordnet, um das durch sie strömende Sekundärgas von dem Plasmagasstrahl weg zu lenken.

[0019] Die austauschbare Dichtungseinrichtung umfasst vorzugsweise eine Stufenausnehmung, die an der Außenkante ausgebildet ist, um den Schild in dem Körperabschnitt anzuordnen und zu arretieren und eine in der Außenkante gebildete, ringförmige Nut, die auf den Körperabschnitt weist und geeignet ist, eine O-Ringdichtung aufzunehmen.

[0020] Der Plasmalichtbogenbrenner besitzt eine Sekundärgaskappe, die an seinem unteren Ende angebracht ist, wobei eine Vorderseite zwischen einer an dem Brenner angebrachten Düse und dem Werkstück angeordnet ist. Bei einer Form eines scharfzeichnenden Brenners, ist eine wassergekühlte Kappe zwischen der Düse und der Sekundärgaskappe angeordnet, um eine wassergekühlte Kammer benachbart der äußeren Fläche der Düse für ein hochwirksames Kühlen zu bilden. Ein Wirbelring ist zwischen der wassergekühlten Kappe und der Sekundärgaskappe unmittelbar stromaufwärts der ringförmigen Austrittsöffnung angebracht. Er weist einen Satz abgeschrägter Öffnungen auf, die einen Wirbel in dem Gas verursachen, das durch sie hindurchströmt. Eine Vorkammer befindet sich stromaufwärts des Wirbelrings, die durch eine strömungsbegrenzende Öffnung versorgt wird, um einen Druckabfall in der Sekundärgaszuführleitung über der wassergekühlten Kappe zu schaffen.

[0021] Die Sekundärgaskappe besitzt einen ersten, im allgemeinen zylindrischen Abschnitt, der an einem isolierenden Element angebracht ist, einen Übergangsbereich, der in Richtung auf den Plasmagasstrahl geneigt ist und ein austauschbares Außenseitenstück, das sich über das untere Ende des Brenners gegenüber dem Werkstück erstreckt, wobei eine zentrale Öffnung mit der Austrittsöffnung der Düse fluchtet und sie eng umgibt. Vorzugsweise besitzt das

Außenseitenstück einen Satz von Ausström-/Entlüftungsöffnungen, die von dem Strahl weg abgewinkelt sind, eine Positionierungs- und Anbringungsaussparung an ihrer Außenkante, eine Nut zum Halten einer O-Ringdichtung und eine Positionierungsnut für den Wirbelring.

[0022] Strömungssteuereinrichtungen, die zur Verwendung mit der vorliegenden Erfindung geeignet sind, umfassen ein mittels eines Mikroprozessors gesteuertes Netzwerk (oder "Strömungskreis") aus Leitungen, Ventilen, Messeinrichtungen und Entlüftungsöffnungen, die ein Primärgas und ein gemischtes Sekundärgas in variablen Verhältnissen von zwei Gasen mit vorwählbaren Vielfachströmungsgeschwindigkeiten, z. B. einem Vorstrom und einem Arbeitsstrom, schaffen. Bei einer bevorzugten Form beliefern Sauerstoff- und Stickstoffzuführleitungen jeweils ein Strömungsmessgerät, das die Strömungsgeschwindigkeit unabhängig von dem stromaufwärtigen Druck macht. Die Sauerstoffzuführung strömt zu der Plasmagasleitung und zu einem Sekundärgas-Strömungskreis. Diese beiden Sauerstoffströmungsleitungen und eine Stickstoffströmungsleitung in dem Sekundärströmungskreis besitzen jeweils ein durch ein Solenoid betätigtes Strömungsmesser-Bypassventil, gefolgt von drei parallelen Abzweigungen, die jeweils ein weiteres mittels eines Solenoid betätigtes Ventil und ein Nadelventil aufweisen. Eine Abzweigung schafft einen Vorstrom. Eine zweite Abzweigung schafft einen Betriebsstrom. Eine dritte Abzweigung gestattet einen plötzlichen erhöhten Gasstrom, um für eine "Schnellladung" zu sorgen. Diese Schnellladung ist auf einen Strömungsweg zurückzuführen, der die Strömungsdrosselventile in den anderen Abzweigungen im Bypass umgeht.

[0023] Die Ausgänge der Sauerstoff- und Stickstoffsekundärgasleitungen werden zu einer einzigen Sekundärzuführungsleitung kombiniert, die zu dem Sekundärgaseinlass an dem Brenner führt. Diese Zuführungsleitung und. die Primär- und Sekundärgaszuführungsleitungen, die dem Brenner benachbart sind, werden durch ein mittels eines Solenoid betätigten Dreiwegeventils in die Atmosphäre entlüftet. Das Öffnen der beiden Entlüftungsöffnungen in der Sekundärgasleitung für kurze Zeit während des Übergangs von einer Zündlichtbogenbetriebsart zu einer übergeleiteten Lichtbogenbetriebsart gestattet es, daß der Sekundärgasstrom schnell auf seinen Betriebswert für das Schneiden absinkt. Das Öffnen aller drei Entlüftungsöffnungen bei der Plasmagasabschaltung sorgt für eine schnelle Abgabe der Gasströme an den Brenner. Um während des Durchstoßens eine starke Sekundärgasströmung zu haben, gibt es eine zeitliche Verzögerung zwischen der Überleitung dieses Plasmagases an das Werkstück und dem Umschalten von dem Vorstrom zu dem Arbeitsstrom des Sekundärgases.

[0024] Die vorliegende Erfindung ist besser aus der nachfolgenden detaillierten Beschreibung verständlich, die unter Berücksichtigung der beiliegenden Zeichnungen gelesen werden sollte.

[0025] Es zeigt:

[0026] Fig. 1A eine vereinfachte Ansicht in vertikalem Schnitt durch eine Elektrode und mehrteilige Düse eines Hochstrom-Wassereinspritzplasmagaslichtbogenbrenners des Stands der Technik;

[0027] Fig. 1B eine Ansicht entsprechend Fig. 1A einer alternativen mehrteiligen Wassereinspritzdüse des Stands der Technik;

[0028] Fig. 2A eine vereinfachte Ansicht in vertikalem Schnitt durch eine einteilige Düse eines Plasmagaslichtbogenbrenners des Stands der Technik zur Verwendung bei niedrigem elektrischen Strom;

[0029] Fig. 2B eine Ansicht entsprechend Fig. 2A einer alternativen einteiligen Düsenausführungsform für die Verwendung mit niedrigem elektrischem Strom unter Verwendung eines zylindrischen Keramikschilds des Stands der Technik;

[0030] Fig. 3A eine Ansicht in vertikalem Schnitt durch einen scharfzeichnenden wasser- und luftgekühlten Plasmagaslichtbogenbrenner, bei dem der Schild der vorliegenden Erfindung enthalten sind;

[0031] Fig. 3B eine Ansicht in senkrechtem Schnitt durch den Brenner von Fig. 2A, die die Wasserkühlkanäle zeigt.

[0032] Fig. 3C eine Detailansicht in senkrechtem Schnitt durch die Düsen und den Austrittsöffnungsbereich des in Fig. 3A gezeigten Brenners;

[0033] Fig. 3D eine Ansicht in horizontalem Schnitt durch den in Fig. 3A gezeigten Wirbelring;

[0034] Fig. 4 einen schematische Strömungsteuerkreis, der für einen Mischgas-Sekundärgasstrom mit unterschiedlichen Strömungsgeschwindigkeiten und mit der Fähigkeit einer Schnellladung und Schnellentladung sorgt; und

[0035] Fig. 5 ist ein Zeitdiagramm für den in Fig. 4 gezeigten Steuerkreis.

[0036] Fig. 3A und Fig. 3B zeigen einen Plasmagaslichtbogenbrenner **10**, der den Schild gemäß der vorliegenden Erfindung enthält. Er besitzt einen Mehrkomponentenkörper **12**, einschließlich eines im Allgemeinen zylindrischen Hauptkörperabschnitts **12a**, der aus einem isolierenden Material wie FR4-Glasfaser oder Delrin gebildet ist. Ein Anodenblock **14**, der in dem Körperabschnitt **12a** befestigt

ist, besitzt eine Öffnung **14a**, die eine Plasmagasleitung **16** aufnimmt, und eine Öffnung **14b**, die eine Sekundärgasleitung **18** aufnimmt; sowohl die Plasmagasleitung **16** als auch die Sekundärgasleitung **18** gehen durch einen Trennblock **20**. Eine Düse ist direkt unterhalb einer Elektrode **24** in beabstandeter Beziehung angebracht, um eine Plasmagaslichtbogenkammer **30** dazwischen zu bilden, in der Plasmagas, das von einem Wirbelring **32** zugeführt wird, ionisiert wird, um entweder einen Zündlichtbogen zwischen der Elektrode und der Düse oder einem übergeleiteten Lichtbogen zu bilden oder den Plasmagasstrahl **34** zwischen der Elektrode und einem Werkstück **36** zu bilden. Der Strahl **34** durchstößt das Werkstück und schneidet dann einen Kerbschnitt **38**. Es ist zu beachten, dass der Wirbelring **32** aus zwei Stücken **32a** und **32b** besteht. Radiale Öffnungen **32c** an der Wirbelringöffnung **32a** verteilen den Plasmagasstrom gleichmäßig zu den Einspritzöffnungen **32d** an der Wirbelringöffnung **32b**. Die Elektrode **24** weist einen Hafniumeinsatz **24a** auf.

[0037] Wie gezeigt, besitzt die Düse eine dünnwandige Gestalt, die insbesondere für einen scharfzeichnenden Brenner mit einer engen Austrittsöffnung **28a**, einem Düsenkopf **28b** mit großem Durchmesser, der als guter Kühlkörper wirkt, einem großen Hinterschnitt oder Aussparung **28c** und einem konischen Körperabschnitt **28d**, geeignet ist. Diese Konstruktion sorgt für eine gute Wärmeübertragung und folglich ein gutes Kühlen der Düse durch Wasser, das über die Außenseite der Düse zirkuliert wird. Sie erleichtert auch eine zuverlässige Abdichtung von Metall zu Metall bei **66a** zwischen dem Düsenkopf und einer ähnlichen geneigten Stirnfläche einer wassergekühlten Kappe **66**. Die verschiedenen Komponententeile werden mit flüssigkeitsdichten Dichtungen, die durch Sätze von O-Ringen, die jeweils in einer zugehörigen ringförmigen Nut vorgesehen sind, und der Metalldichtung **66a** zusammengefügt.

[0038] Eine Gasquelle **42** sorgt für einen Strom eines Plasmagases durch einen Steuerkreis **44a** für das Primärgas (Fig. 4) zu einem Plasmagaseinlass **10a** des Brenners **10**. Von einer Quelle **46** eines zweiten Gases strömt dieses durch einen Strömungssteuerkreis **44b** zu einem Sekundärgaseinlass **10b** des Brenners. Das Sekundärgas umfasst bei der gezeigten bevorzugten Form eine Mischung von Gasen aus beiden Quellen wie dies nachstehend detaillierter erörtert wird. In dem Brenner strömt das Plasmagas entlang eines Strömungswegs **48**, der einen Rohrkanal **16a**, einen senkrechten Kanal **48a** und eine radiale Öffnung **48b** umfasst, zu dem Wirbelring **32** und dann zu der Plasmagaskammer **30**, wo es ionisiert wird. Das Sekundärgas folgt einem Strömungsweg **50**, der einen Rohrkanal **18a**, einen senkrechten Kanal **52**, eine radiale Öffnung **54**, eine strömungsbegrenzende Öffnung **56**, eine Vorkammer **58**, einen Sekundärgaswirbelring **60** und eine ringförmige Austrittsöffnung **62** umfasst.

[0039] Dieser sekundäre Strömungsweg und insbesondere die Öffnung **56**, die Vorkammer **58** und der Wirbelring **60** führen zu einem hohen Grad der Strömungsgleichmäßigkeit und Steuerung entlang der Strömung an einem Punkt unmittelbar benachbart zu dem übergeleiteten Plasmagaslichtbogen **34**. Der Wirbelring **60** enthält einen Satz von exzentrischen oder schrägen Löchern **64**, die dem Strom eine wirbelnde Bewegung verleihen, die die Wechselwirkung des Sekundärgasstroms mit dem Strahl **34** erleichtert und eine günstige Wirkung auf die Schnittqualität hat. Der Wirbelring ist aus einem isolierenden Material wie Hochtemperaturkunststoff, vorzugsweise dem von I. E. du Pont de Nemours unter der Handelsbezeichnung Vespel verkauften Produkt, hergestellt. Wie gezeigt besitzt die Austrittsöffnung **62** einen flachen ringförmigen Abschnitt **62a**, einen konischen Abschnitt **62b**, der nach unten und radial nach innen gerichtet ist, und einen abschließenden flachen ringförmigen Abschnitt **62c**, der im Allgemeinen parallel zu dem Werkstück **36** verläuft. Die Öffnungskanäle **62b** und **62c** spiegeln die Außenabmessungen der benachbarten Düsenoberflächen.

[0040] Die Vorkammer **58** wirkt als örtliche Gaszuführung zu dem Wirbelring **60**. Die strömungsbegrenzende Öffnung **56** schafft einen Druckabfall an dem gegenüberliegenden Ende der Vorkammer **58** von dem Wirbelring aus. Die Öffnung **56** und die Vorkammer **58** isolieren den Wirbelring von den stromaufwärtigen Druckschwankungen und den stromaufwärtigen Schwankungen in der Strömungsgeschwindigkeit. In elektrischer Analogie wirken die Öffnung **56** und die Vorkammer **58** als Glättungskondensator in einem Wechselstromkreis. Beim Abstellen, wenn der Lichtbogenstrom abgeschaltet wird, kühlt sich das Gas in der Plasmagaskammer schnell ab, was zu einem plötzlichen raschen Ausströmen von Gas führt. Gas in dem sekundären Strömungsweg, der bei dieser Erfindung fehlt, würde bei diesem raschen Ausströmen durch die Venturi-Wirkung herausgesaugt werden. Die Öffnung **56** drosselt das rasche Ausströmen herunter, so dass nur eine vergleichsweise kleine Gasmenge in der Vorkammer **58** herausgesaugt wird. Diese Menge ist dazu berechnet, die Lichtbogenstabilisierung des Sekundärgases während des Abschaltens fortzusetzen, und dass der Sekundärgasstrom im Allgemeinen gleichzeitig mit dem Löschen des Lichtbogens aufhört. Diese Anordnung sorgt für einen sekundären Strom aus der Austrittsöffnung **62**, der sehr gleichmäßig sowohl in Bezug auf die Zeit als auch den Raum ist.

[0041] Bei dem scharfzeichnenden Brenner von Fig. 3A–Fig. 3D ist der Lichtbogen im Vergleich zu herkömmlichen Plasmagaslichtbögen hochentwickelt. Er weist auch eine hohe Energiedichte auf. Bei einem Standard-Plasmagasschneidbrenner beträgt

die Stromdichte etwa 3,88 × 10^7 A/m^2 (25.000 Amp./Quadratzoll); bei einem scharfzeichnenden Plasmagasbrenner, können die Stromdichten so hoch wie 1,24 × 10^8 A/m^2 (80.000 Amp./Quadratzoll), gemessen an der Düsenbasis, betragen. Ein Strom mit 15 Amp. ist typisch. Es wurde gefunden, dass eine Wasserkühlung notwendig ist. Zu diesem Zweck wird die wassergekühlte Kappe **66** in das untere Ende des Anodenblocks **14** geschraubt, wobei sich eine O-Ringdichtung bei **68** und die Flächenanlage-Abdichtung **66a** von Metall zu Metall an der oberen Kante des Düsenkopfs **28b** befinden. Der Wasserstrom **45a** wird durch eine Wasserkammer **70** geleitet, die durch die Kappe **66**, die Außenoberfläche der Düse **28** und das untere Ende des Anodenblocks **14** gebildet ist. Das Kühlwasser **45** strömt in den Brenner durch Kanäle **47** hindurch, der ein Wassereinlassrohr **17** aufweist, das in die Öffnung **15a** des Kathodenblocks **15** eingepasst ist. Wasser strömt von dem Rohrauslass **47a** durch einen Ringraum **47b**, radiale Löcher **47c** in sowohl den Kathodenblock **15** als auch die Isoliereinrichtung **13**, den Ringraum **47d**, radiale Löcher **47e**, einen Ringraum **47f** zu den Bohrlöchern **47g**. Hier teilt sich der Strom in zwei Ströme **45a** zur Düse und **45b** zu der sekundären Kappe über den senkrechten Kanal **47h** bzw. den Ringraum **47i** auf. Der Strom **45a** kehrt von der Kammer **70** über den senkrechten Kanal **47j** zurück, der sich mit dem zurückkehrenden Strom **45b** an dem Loch **47k** vereinigt und dann durch die Rohrleitung **19** aus dem Brenner herausströmt, die an dem Düsenblock **14** an der Öffnung **14c** angebracht ist.

[0042] Eine Sekundärgaskappe **72** ist bei **74** an dem Isolierkörper angeschraubt und mittels O-Ringen **40c** und **40d** an dem Körper gasdicht gemacht. Die Sekundärgaskappe besitzt einen ersten Abschnitt, einschließlich eines zylindrischen Körpers **72a**, der in einem konischen Wandabschnitt **72b** mit einer Stufe **72c** in seiner Seitenwand endet. Ein zweiter oder Außenwandabschnitt **72d**, der einen austauschbaren Schild bildet, umfasst eine Stufe **72e**, die mit einer Stufe **72c**, einer Nut **72f**, die einen O-Ring **40e** hält, Entlüftungsöffnungen **72g**, einer Aussparung **72h**, die den Wirbelring **60** an ihrer unteren Kante hält und positioniert, einer Austrittsöffnung **72i**, die an der Düsenaustrittsöffnung zentriert und eng um den Plasmagasstrahl herum beabstandet ist, und Wandabschnitten **72j**, **72k** und **72l**, die die Düse in einer parallelen beabstandeten Beziehung spiegeln und zusammen mit der Düse die Austrittsöffnung **72i** bilden, zusammenpasst.

[0043] Die Kappe **72** befindet sich in einer parallel beabstandeten Beziehung zu der Kappe **66**, wobei der Spalt zwischen ihnen die Vorkammer **58** bildet. Die sekundäre Gaskappe bildet nicht nur den sekundären Strömungsweg, sie wirkt auch während des Durchstoßens als mechanischer Schild gegen verspritztes Metall. Der untere Abschnitt der Kappe, insbesondere das Außenseitenstück **72d** fängt jegliches geschmolzene Metall, das nach oben gespritzt wird, auf, das nicht von dem Gasschild der vorliegenden Erfindung mitgerissen wird, d. h. ein stark abschirmender Strom des Sekundärgases, der auf den Plasmagasstrahl auftrifft, wird gedreht, um radial zwischen der Kappe **72** und dem Werkstück nach außen zu strömen. Es ist zu beachten, dass die zentrale Austrittsöffnung **72i** einen sehr kleinen Durchmesser hat, um den Plasmagasstrahl **34** eng mit einem so geringen Spielraum wie möglich ohne ein Aushöhlen zu riskieren, zu umgeben. Der Schild schwimmt auch elektrisch. Er ist auf einem isolierenden Material, dem Körperteil **12a**, angebracht und ist von benachbarten metallischen Elementen wie der Düse **28** und der wassergekühlten Kappe **66** beabstandet, und der Wirbelring **60** ist aus einem isolierenden Material gebildet. Folglich ist es, falls irgendein geschmolzenes Material daran anhaftet, nicht Teil eines Leitungswegs für eine Doppellichtbogenbildung. Die Entlüftungsöffnungen **72g** umgeben die Austrittsöffnung **72i**. Sie sind in ihrer Größe und Zahl derart bemessen, dass sie während des Schnittvorgangs des Brenners einen ausreichenden Teil des sekundären Stroms zur Atmosphäre ablenken oder ausströmen lassen, so dass der Strom der den Plasmagasstrahl erreicht, keinen nachteiligen Einfluss auf seinen Betrieb hat. Zu diesem Zweck sind die Öffnungen vorzugsweise von dem Plasmagasstrahl unter einem kleinen spitzen Winkel wie gezeigt weg abgeschrägt. Andererseits bewirkt bei der Startphase und während des Durchstoßens eine sehr hohe Strömungsgeschwindigkeit, dass der Sekundärgasstrom an den Entlüftungsöffnungen **72g** mit einer geringen Ablenkung des Stroms zur Atmosphäre durch sie hindurch vorbei strömt. Beim Abschalten sorgen, wenn der Sekundärgasdruck in dem Weg **50** und der Vorkammer **58** abfällt, die Lüftungsöffnungen **72g** für einen Lüftungsweg zur Atmosphäre, um bei dem schnellen Verringern des Sekundärgasdrucks zu helfen. Es ist zu beachten, dass weil das Außenflächenstück **72d** eine getrennte Komponente des Brenners ist, es ausgetauscht werden kann ohne die gesamte Kappe **72** auszutauschen, falls es verschlissen oder beschädigt ist.

[0044] Als Veranschaulichung, aber nicht als Beschränkung, besitzt ein Brenner **10** mit einer Nennleistung von 15 Amperes einen Gesamtdurchmesser von etwa 38,1 mm (1,5 Zoll), besitzt die Austrittsöffnung **72i** einen Durchmesser von etwa 1,52 mm (0,060 Zoll), besitzt ein Wirbelring **60** einen Innendurchmesser von 7,62 mm (0,300 Zoll) und einen Außendurchmesser von 10,16 mm (0,400 Zoll) und 6 gleichwinklig beabstandete, exzentrische Löcher **64** mit einem Durchmesser von 0,41 mm (0,016 Zoll). Die strömungsbegrenzende Öffnung **56** besitzt einen Durchmesser von 0,76 mm (0,030 Zoll), und die Vorkammer **58** besitzt ein Innenvolumen von etwa 3,23 cm^2 (500 Quadratzoll). Die Austrittsöffnung besitzt ei-

nen radialen Strömungsweg von dem Wirbelring **60** zu dem Außendurchmesser der Austrittsöffnung **72i** von etwa 0,20 mm (0,0008 Zoll). Die Entlüftungsöffnungen **72g** sind zwölf an der Zahl und besitzen einen Durchmesser von 4,06 mm (0,16 Zoll).

[0045] Das Sekundärgas ist eine Mischung aus einem nichtoxidierenden Gas wie Stickstoff, Argon, Helium oder irgendeinem der inerten Gase und einem oxidierenden Gas wie Sauerstoff oder Luft, wobei das oxidierende Gas mindestens 40% der Mischung, durch Strömungsgeschwindigkeiten gemessen, umfasst. Bei der bevorzugten Form ist mit Sauerstoff als Plasmagas das Sekundärgas aus einer Mischung von Sauerstoff und Stickstoff (Argon) mit ihren jeweiligen Strömungsgeschwindigkeiten in einem Verhältnis im Bereich von etwa 2:3 bis etwa 9:1, und vorzugsweise etwa 2:1, gebildet. Das Verhältnis von 2:1 ist fast genau entgegengesetzt zu dem Verhältnis dieser Gase, die die Luft bilden. Die Gase sind handelsüblich rein und im Wesentlichen frei von Wasser und Öl. Wenn diese Gase in diesem Verhältnis als Schildgas, wie vorstehend mit Bezug auf Fig. 3A, Fig. 3B, Fig. 3C und Fig. 3D beschrieben, verwendet werden, wurde gefunden, dass die Schnittgeschwindigkeit des Brenners in Flussstahl dramatisch zunimmt. Des Weiteren ändert sich der Schnittwinkel von 1° zu 2° positiv mit einem Luftschild von etwa 0° oder im Allgemeinen rechtwinklig zu dem Werkstück. Des Weiteren kann die obere Schlacke bis zu einem Punkt kontrolliert werden, wo sie vernachlässigbar ist.

[0046] Das genaue Strömungsverhältnis für die Sauerstoff- und Stickstoffströme, die das Sekundärgas bilden, kann empirisch durch Schneiden mit dem Brenner und Einstellen der Ströme, bis der Schnittwinkel oder andere Schnittparameter oder Parameter optimiert sind, bestimmt werden. Bei der Durchführung dieser Einstellungen wurde gefunden, dass eine Erhöhung des Sauerstoffstroms die Schnittgeschwindigkeit (bis zu dem dreifachen der Geschwindigkeit einer herkömmlichen Schnittgeschwindigkeit ohne Gasschild) erhöht. Sie bewirkt auch, dass der Schnittwinkel sehr negativ, bis zu 4° bis 5°, für einen reinen Sauerstoffstrom wird. Die Schnittfläche wird auch zunehmend rau und weist ein Zickzackmuster auf. Der Grund für diese Wirkungen ist noch nicht klar, es wird jedoch angenommen, dass eine reiche Sauerstoffumgebung, die den Plasmagasstrahl umgibt, eine chemische Reaktion zwischen dem Metall und dem Sauerstoff unterstützt, die Wärmeenergie freisetzt, die das Schmelzen des Metalls unterstützt. Der Schnittwinkel kann auch als Wirkung des Sauerstoffsekundärstroms auf die Form des Plasmagasstrahls **34** erklärt werden.

[0047] Die Erhöhung des Stickstoffstroms scheint andererseits die Schnittgeschwindigkeit nur in dem Ausmaß zu beeinflussen, in dem eine solche Erhöhung zu Lasten der Sauerstoffströmungsgeschwindigkeit geht. Ein reiner Stickstoffstrom ist durch einen Schnittwinkel, der 2° bis 3° positiv ist, durch eine glatte Schnittfläche und durch eine geringe Erhöhung der Schlacke im Vergleich zum Schneiden ohne Schildgas gekennzeichnet. Es wurde gefunden, dass durch Ändern des Mischverhältnisses von Sauerstoff-Stickstoff und des Gesamtsekundärgasstroms der Schnittwinkel von etwa positiven drei Grad zu negativen drei Grad eingestellt werden kann. Eine Erhöhung des Sauerstoffs in der Mischung und eine Erhöhung des Gesamtstroms machen den Schnittwinkel negativer. So kann der Schnittwinkel auf einen gewünschten Wert einfach durch Ändern der Sekundärgasmischung abgestimmt werden statt die Geometrie des Brenners zu ändern, wie dies in der Vergangenheit der Fall war. Wenn der Schnittwinkel bei einem Null- oder negativen Wert gehalten wird, wird die Oberflächenschlacke ebenfalls im Wesentlichen eliminiert.

[0048] Die erfindungsgemäße Sekundärgasmischung, die reich an Sauerstoff ist, verbessert auch die Durchstoßfähigkeit des Brenners **10**. Ein durchstoßenes Loch, das mit einem erfindungsgemäßen Sekundärgas, das reich an Sauerstoff ist, hergestellt wird, ist sauberer und kann größere Dicken der Metallplatte als identische Brenner durchdringen, die mit unterschiedlichen Mischungen, wie Luft, arbeiten.

[0049] Fig. 4 zeigt den Gasstromsteuerkreis **44**, der den Strom der Plasma- und Sekundärgase von Quellen **42** und **46** zu den Einlässen **10a** und **10b** des Brenners **10** steuert. Das Plasmagas, das für die Zwecke dieser Erörterung als Sauerstoff angenommen wird, strömt von den Quellen **42** durch ein Stickstoff-/Sauerstoff-Solenoidwahlventil SV15 (normalerweise in der Sauerstoff-Wahlstellung). Es wird dann in einen Plasmagasstrom entlang der Leitung **76** und einen Sekundärgasstrom (Sauerstoffteil) entlang der Leitung **78** zu der Sauerstoffzuführleitung **86** in dem Sekundärgasabschnitt **44b** der Steuerung **44** aufgeteilt. Die Sekundärgasversorgung **46** versorgt eine Leitung **82**, die eine Abzweigleitung **84** zu dem Schalter SV50 aufweist, falls Stickstoff als Plasmagas gewünscht wird. Druckschalter PS1 und PS2 in Leitungen **86** und **82** gestatten es nicht, dass das Plasmagasschneidsystem arbeitet, falls der Druck unter einen vorbestimmten Wert abfällt.

[0050] Unter Verwendung von Sauerstoff als Plasmagas und einer Mischung aus Sauerstoff und Stickstoff als Sekundärgas werden drei Zuführleitungen **76**, **78** und **82** verwendet. Jede besitzt einen Strömungsmesser FM1, FM2 bzw. FM3 und einen Druckmesser PG1, PG2, PG3, die in Reihe mit den Strömungsmessern geschaltet sind. Die Strömungsmesser stellen eine genaue Einstellung der Strömungsgeschwindigkeiten von sowohl den Plasma- als auch den Schildgasströmen sicher. Drei Bypass-Solenoidventile SV8, SV9 und SV10 sind jeweils parallel zu

den drei Strömungsmessern geschaltet. Diese Ventile sind Dreiwegeventile, die normalerweise zur Bypassleitung offen sind. Dies dient dazu, die Strömungsmesser während der Übergangszeiten zu schützen, und während des Dauerzustands sind drei Ventile geschlossen, um die Strömungsmessung zu gestatten.

[0051] Drei normalerweise geschlossene Solenoidventile sind parallel mit einander an der stromabwärtigen Seite des Strömungsmessers für jede Leitung **76**, **78** und **82** verbunden. Auf jedes Solenoidventil folgt ein Nadelventil. Jeder Satz dieser Solenoidventile besitzt eines, das den Vorstrom steuert, ein Ventil, das den Arbeitsstrom steuert und ein drittes Ventil, das für eine Schnellladung sorgt. Für die Sauerstoffplasmagasleitung **76** sind das Vorstromventil SV2, das Arbeitsventil SV1 und das Schnelladungsventil SV3 vorgesehen. Die zugehörigen Nadelventile sind MV2, MV1 bzw. MV3. Für die Sauerstoffsekundärgasleitung sind diese drei Solenoidventile SV5, SV4 und SV16, gefolgt von Nadelventilen MV5, MV4 bzw. MV8, vorgesehen. Für die Stickstoffsekundärgasleitung sind diese Solenoidventile SV7, SV6 und SV17, gefolgt von zugehörigen Nadelventilen MV7, MV6 bzw. MV9, vorgesehen. Die Ausgänge von den Ventilen SV4, SV5, SV6, SV7, SV16 und SV17 werden zu einer einzigen Sekundärgasleitung **86** kombiniert, die mit dem Sekundärgaseinlass **10b** an dem Brenner verbunden ist. Der Ausgang der Sauerstoff- und Stickstoffsekundärgasleitungen wird deshalb zu einem einzigen Strom zu dem Brenner kombiniert.

[0052] Der Gassteuerkreis **44** umfasst auch vier Dreiwegeentlüftungsventile, die normalerweise zur Atmosphäre hin offen sind. Sie sind auch elektrisch betätigte Solenoidventile. Das Entlüftungsventil SV11 ist mit der Sauerstoffplasmagasleitung an einer Gaskonsole **88** verbunden, in der der Gassteuerkreis **44** untergebracht ist. Ein ähnliches Entlüftungsventil SV13 ist auch in der Leitung **80** jedoch am Brenner angeschlossen. Dieses Ventil besitzt eine strömungsbegrenzende Öffnung CO1 in dem Entlüftungskanal, der zur Atmosphäre führt. Es steuert auch das Absinken des Plasmagasdrucks in der Düse beim Abschalten. Es wird eingestellt, so dass der Gasdruck den Lichtbogen aufrechterhält, während der Strom eingeschaltet ist, dissipiert jedoch den Plasmagasdruck schnell, wenn der Strom abgeschaltet wird. In der Sekundärgaszuführungsleitung **86** ist ein Entlüftungsventil SV12 mit der Leitung an der Konsole **88** verbunden und ein ähnliches Ventil SV14 ist in der Leitung mit dem Brenner verbunden. Der Gaskreis **44** weist auch Druckmesser PG4 und PG5 auf, die an der Konsole **88** mit den kombinierten Ausgängen aus den Vorstrom-, den Arbeitsstrom- und den Schnellentladungsventilen verbunden ist. PG4 liest den Sauerstoffplasmagasdruck an der Leitung **80**, PG5 liest den Sekundärgasdruck an der Leitung **86**.

[0053] Während des Durchstoßens werden die Vorstromventile erregt, um sich zu öffnen, wobei die Betriebsventile und die Schnellladungsventile während des größten Teils des Vorstroms geschlossen sind. In dieser Situation steuern die Nadelventile MV5 und MV7 das Mischungsverhältnis der Sauerstoff- und Stickstoffströme, die das Sekundärgas bilden. Wie vorstehend erörtert wird dieses Verhältnis vorzugsweise auf etwa 2:1 eingestellt, jedoch können Anpassungen durchgeführt werden, um den Strom für gegebene Arbeitsbedingungen zu optimieren und die unterschiedlichen Schnittparameter zu optimieren. Der Vorstrom durch die Ventile SV5, MV5, SV7 und MV7 wird mit einer Strömungsgeschwindigkeit eingestellt, die viele Male höher ist als die Arbeitsströmungsgeschwindigkeit, die von den Ventilen SV4, MV4, SV6, MV6 eingestellt wird. Ein typischer Wert für den gesamten sekundären Gasvorstrom beträgt 120 scfh und 20 scfh für den Arbeitsstrom. Geeignete Dreiwegesolenoidventile werden von der Automatic Switch Company als Modell Nr. AFP33183 oder von MAC Valves Inc. als Modell Nr. 111B – 111BAAA hergestellt. Die Ventile werden alle durch einen zentralen Mikroprozessor **90** gesteuert, der programmiert ist, um den Gaskreis **44** in der durch das Zeitdiagramm von Fig. 5 gezeigten Weise zu betätigen.

[0054] Fig. 5 zeigt den Betriebszustand aller Ventile im Kreis **44** während eines vollständigen Arbeitszyklus des Brenners **10** von t_0 an, wenn dem System das Startsignal von einer Bedienungsperson gegeben wird, bis zu einem vollständigen Abschalten des Lichtbogenstroms und der Gasströme am Ende von t_6. Fig. 5 zeigt auch den entsprechenden Lichtbogenstrom, die entsprechende Spannung und die entsprechenden Gasdrücke an der Düse (in der Plasmagaslichtbogenkammer) und den Sekundärgasschilddruck, der zwischen den Kappen **66** und **72** an der Vorkammer **58** gemessen wird.

[0055] Sobald der Startbefehl gegeben ist, werden die drei Vorstromsolenoidventile SV2, SV5 und SV7 erregt, um sich zu öffnen. Die vier Entlüftungsventile SV11, SV12, SV13 und SV14 werden zur einer Schließstellung erregt (sie sind normalerweise offen). Die drei Schnellladungsventile SV3, SV16 und SV17 werden gleichzeitig auch erregt. Die Schnellladungsventile bringen den Düsen- und den Schildgasdruck auf seine vollen Vorstromwerte zum Zeitpunkt t_1 für das Plasmagas und zum Zeitpunkt t_2 für das Schildgas. Die Schnellladungsventile arbeiten, um die Leitungen **80** und **86** schnell zu laden, da sie es den Strömen gestatten, die Strömungsbegrenzung in den Vorstrom- und Arbeitsstromabzweigungen im Bypass zu umgehen. Sie gestatten eine plötzliche Stufenfunktionserhöhung im Strom. Der Vorstrom wird während einer gesamten verstrichenen Zeit von 1 bis 2 Sekunden fortgesetzt, lang genug um die Vorströme zu stabilisieren. Wie in Fig. 5 gezeigt, werden Hochspannungsspitzen **91** mit hoher Frequenz an den

Brenner nach etwa 1 Sekunde des Vorstroms angelegt, um einen Zündlichtbogen, wie bei **92** gezeigt, auszulösen. Wenn für den Zündlichtbogen ein Durchschlag auftritt, fällt die Spannung ab.

[0056] Bei der Überleitung des Lichtbogens zum Werkstück steigt der Strom wie bei **94** gezeigt auf sein Arbeitsniveau **96** bei Beendigung der Überleitung an. Die Spannung fällt bei der Überleitung und der Gasdruck steigt an, wenn das Plasmagas in dem Brenner an der Düse auf extrem hohe Temperaturen erhitzt wird und der Gasstrom an der Düsenöffnung **28a** abgedrosselt wird. Während der Überleitung tritt das Durchstoßen auf. Um den Hochgeschwindigkeitsgasschild der vorliegenden Erfindung vorzusehen, wird ein großer Sekundärgasvorstrom für etwa 60 ms nach dem Beginn der Überleitung aufrechterhalten. Dieser Sekundärgasvorstrom mit hoher Strömungsgeschwindigkeit bläst geschmolzenes Metall, das nach oben in Richtung auf den Brenner spritzt, weg, bevor es den Brenner selbst erreichen kann. Der Strom umgibt den Plasmagasstrahl und ist radial nach innen gerichtet. Er steht mit dem Strahl in Wechselwirkung, jedoch kehrt der größte Teil des Stroms um und strömt radial von dem Strahl weg, wobei er nach außen und unten in den Bereich zwischen dem Werkstück und dem unteren Ende des Brenners strömt. Er schafft eine sich bewegende kühle Gasgrenze zwischen der Kappe **72** und dem Werkstück. Dieser starke Strom besteht während des Durchstoßens, ist jedoch während des normalen Schneidens stark verringert. Während des Schneidens schützt die mechanische Abschirmung der Kappe **72** die Düse gegen eine Doppellichtbogenbildung.

[0057] Nach etwa 50 ms seit Beginn der Überleitung ist das Plasmagasschnelladungsventil SV3 während eines Zeitraums t_2 erneut geöffnet, um den Plasmagasstrom schnell zu seinem vollständig arbeitenden Ventil zu bringen. Nach **50** ms seit Beginn der Überleitung öffnen sich Arbeitsstromventile für sowohl das Plasma- als auch das Schildgas SV1, SV4, SV6. Nach einem Zeitraum t_3 seit der Überleitung werden die beiden Schildleitungsentlüftungsventile SV12 und SV14 kurz während eines Zeitraums t_4 wie gezeigt geöffnet, um den Druck in der sekundären Leitung dabei zu unterstützen, auf ein Niveau abzufallen, das einem viel geringeren Arbeitsstrom entspricht. Dies ist die Sekundärgasschnellentladung. Die Ventile bleiben während des Betriebs in diesen Arbeitsstellungen mit der Ausnahme, dass die drei Strömungsmesser-Bypassventile etwa 300 ms nach Beginn der Überleitung erregt werden. Dies findet statt, nachdem die Ströme ihre Dauerzustandswerte erreicht haben. Um den Betrieb des Brenners anzuhalten, (i) aberregt und schließt ein STOP-Befehl die drei Arbeitsventile SV1, SV4 und SV6, (ii) aberregt er die vier Entlüftungsventile, um sie zur Atmosphäre zu öffnen und dadurch eine Schnellentladung der Plasma- und Sekundärgase zu erleichtern, und (iii) aberregt er die Strömungsmesser-Bypassventile. Von dem STOP-Befehl an bis zum Ende von t_6 wird der Lichtbogenstrom verringert. Am Ende von t_6 wird er vollständig abgeschaltet. Es gibt an der Düse einen geringen Restdruck, der jedoch schnell dissipiert wird, so dass es im Wesentlichen bei der Stromabschaltung, dem Ende von t_6, keinen starken wirbelnden Gasstrom in der Plasmagaskammer gibt. Es wurde gefunden, dass diese Bedingung für die Verringerung des Elektrodenverschleißes sehr förderlich ist. Es wurde ein Schild mit einem entfernbaren Außenseitenabschnitt beschrieben, um einen leichten Austausch zu gestatten. Es wurde auch eine Düse beschrieben, die besonders für die wassergekühlte Hochtemperaturarbeitsumgebung eines scharfzeichnenden Brenners geeignet ist.

Patentansprüche

1. Austauschbarer Schild, der in Verbindung mit einer ringförmigen Sekundärgaskappe (**72**) verwendet wird, die an einem Ende eines Plasmalichtbogenbrenners (**10**) angebracht ist und einen Körperabschnitt (**72a**) hat, der sich gegen eine Austrittsöffnung (**28a**) einer Düse (**28**) erstreckt, die einen Plasmagasstrahl (**34**) auf ein Werkstück (**36**) zum Durchstoßen und Schneiden des Werkstückes (**36**) richtet, wobei der Schild geschmolzenes Metall auffängt, das von dem Werkstück (**36**) in Richtung auf den Brenner (**10**) während des Schneidens gesprüht wird, und mit einem metallischen Teil, das
(i) eine zentrale kreisförmige Öffnung (**72i**) hat, die zu der Austrittsöffnung (**28a**) der Düse (**28**) ausgerichtet und bemessen ist, um den Plasmagasstrahl (**34**) eng zu umringen,
(ii) eine Gruppe von Öffnungen (**72g**) hat, die die zentrale Öffnung (**72i**) umringen, wobei die Öffnungen bemessen sind, um einen beträchtlichen Teil des Sekundärgasstromes während des Schneidens umzulenken, aber nicht einen Strom des Sekundärgases mit einer höheren Durchflussrate umzulenken, die mit dem Durchstoßen verbunden ist, wobei die Öffnungen (**72g**) den Sekundärgasstrom hoher Durchflussrate bei seiner Beendigung zu Gunsten eines Stromes zum Schneiden entlüften, wobei das metallische Teil ein austauschbares metallisches Außenseitenstück (**72d**) ist, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Schild ferner eine Einrichtung (**72e**, **72f**, **40e**) enthält, die an der äußeren Kante des Teiles angeordnet ist, um den Schild austauschbar gegen den Körperabschnitt (**72a**) der Sekundärgaskappe (**72**) abzudichten, und das metallische Teil
(iii) eine Stufe (**72e**), die mit einer Stufe (**72c**) in einer Seitenwand der Sekundärgaskappe (**72**) zusammenpasst,
(iv) eine Nut zum Halten eines O-Ringes (**40e**),
(v) eine Aussparung (**72h**) zum Halten und Positionieren eines Wirbelringes (**60**) an seiner unteren Kante und
(vi) einen die zentrale Öffnung (**72i**) umringenden Ab-

schirmabschnitt (**72j**, h, l) hat, der sich im Allgemeinen parallel zu dem Werkstück (**36**) erstreckt, mit einer Innenfläche, die das Äußere der Düse (**28**) spiegelt, um dazwischen eine Hauptaustrittsöffnung (**72i**) für den Sekundärgasstrom zu bilden.

2. Austauschbarer Schild nach Anspruch 1, bei dem das Außenseitenstück (**72d**) einen im Großen und Ganzen konischen Abschnitt enthält, der sich von dem Abschirmabschnitt (**72j**, h, l) aus zu der austauschbaren Dichtungseinrichtung erstreckt, wobei die Öffnungen (**72g**) in dem konischen Abschnitt gebildet sind.

3. Austauschbarer Schild nach Anspruch 1 oder 2, bei dem die Öffnungen (**72g**) winkelig angeordnet sind, um das durch sie strömende Sekundärgas radial weg von dem Plasmagasstrahl (**34**) zu lenken.

4. Austauschbarer Schild nach irgendeinem der Ansprüche 1–3, bei dem die austauschbare Dichtungseinrichtung (**74**) eine Stufenausnehmung (**72e**) beinhaltet, die an der Außenkante gebildet ist, um den Schild in dem Körperabschnitt (**72a**) anzuordnen und zu arretieren, und eine in der Außenkante und auf den Körperabschnitt (**72a**) weisende Innennut (**72f**) enthält, die angepasst ist, um eine O-Ringdichtung (**40e**) aufzunehmen.

Es folgen 6 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

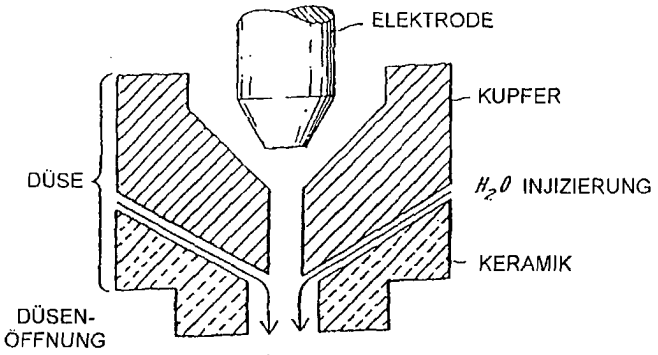

FIG. 1A
(STAND DER TECHNIK)

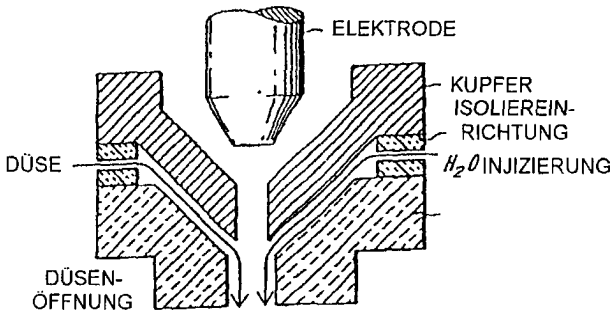

FIG. 1B
(STAND DER TECHNIK)

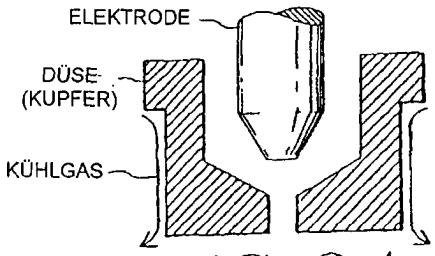

FIG. 2A
(STAND DER TECHNIK)

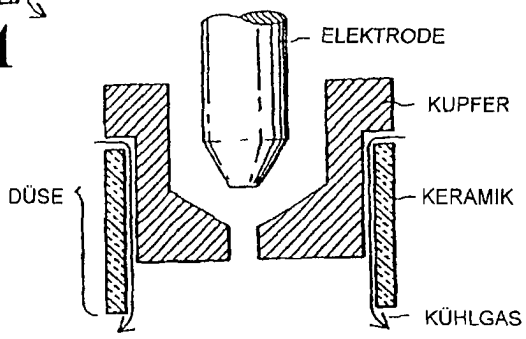

FIG. 2B
(STAND DER TECHNIK)

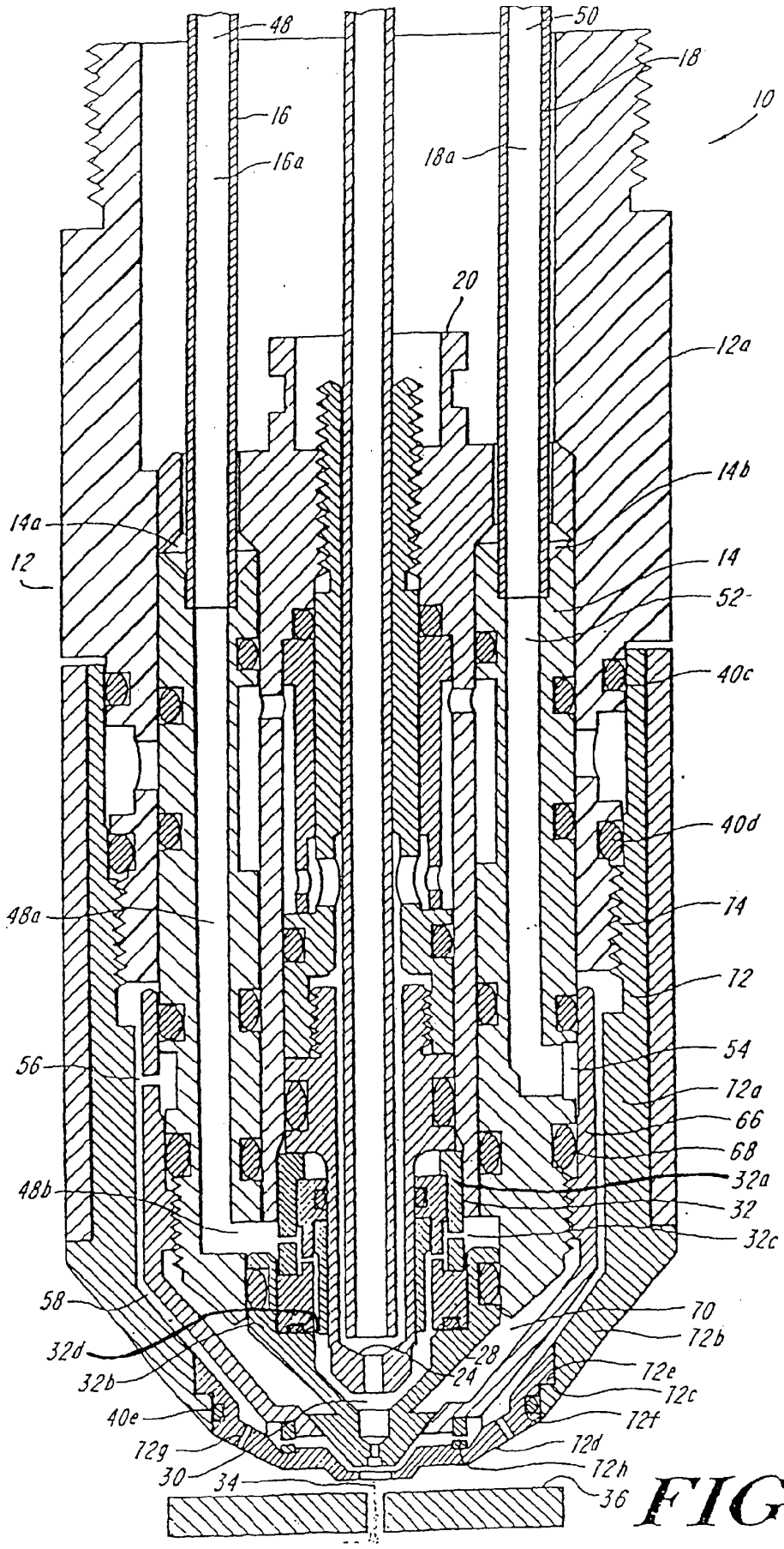
48
50
18
10
16
16a
18a
20
12a
14b
14a
12
14
52
40c
40d
48a
74
72
54
56
72a
66
68
48b
32a
32
32c
58
70
72b
32d
28
72e
32b
24
72c
40e
72f
72g
72d
30
34
72h
36

FIG. 3A

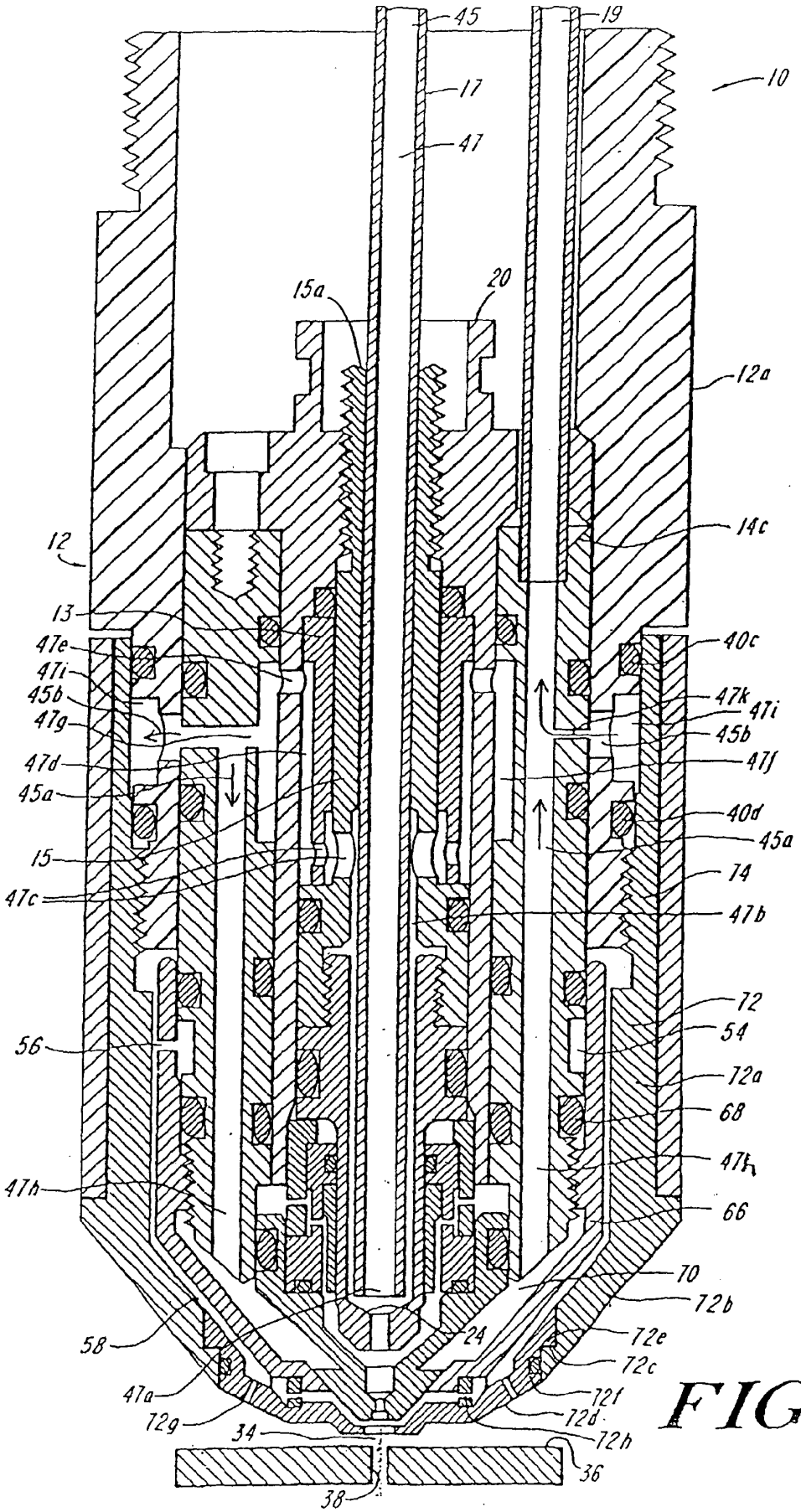
45
19
10
17
47
15a
20
12a
12
14c
13
40c
47e
47i
45b
47g
47k
47i
45b
47d
47f
45a
40d
45a
15
74
47c
47b
72
56
54
72a
68
47h
47h
66
70
72b
58
24
72e
72c
47a
72f
72g
72d
34
72h
36
38

FIG. 3B

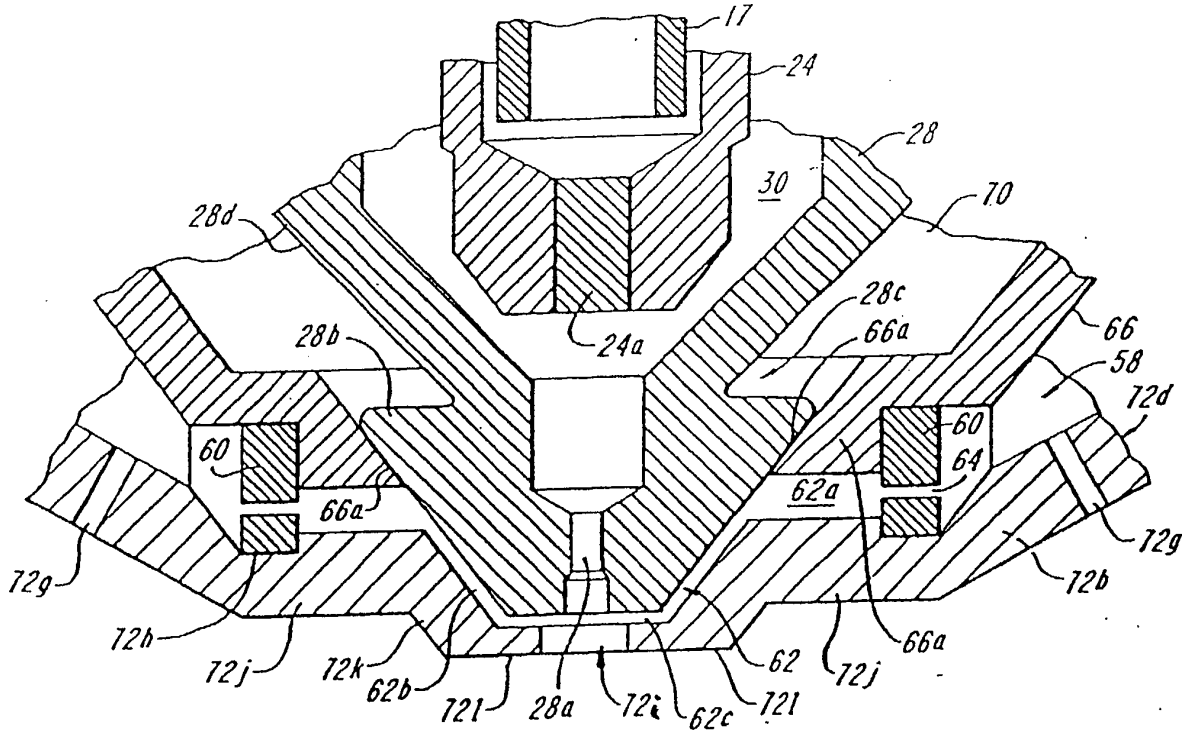
17
24
28
30
70
28d
28c
66a
66
58
72d
28b
24a
60
60
64
62a
66a
72g
72g
72b
72h
72j
72k
62b
72l
28a
72i
62c
72l
62
72j
66a

FIG. 3C

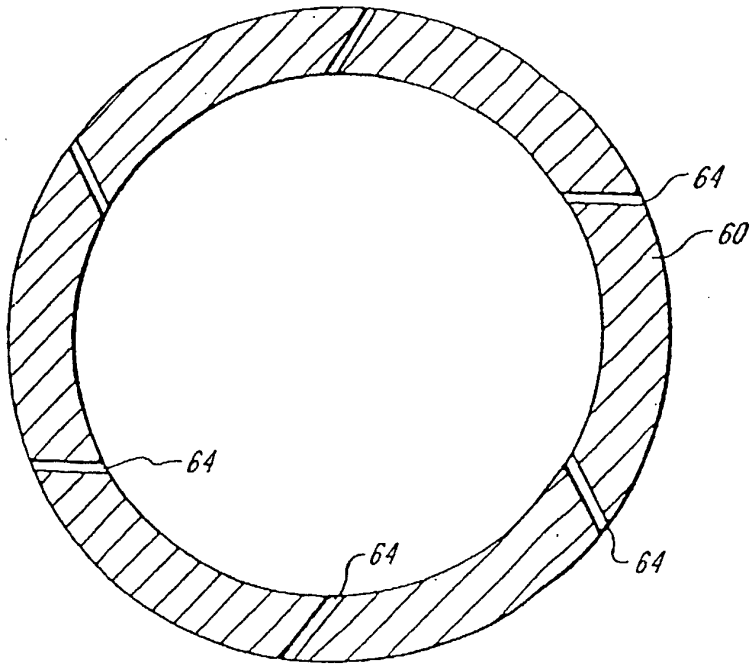
64
60
64
64
64

FIG. 3D

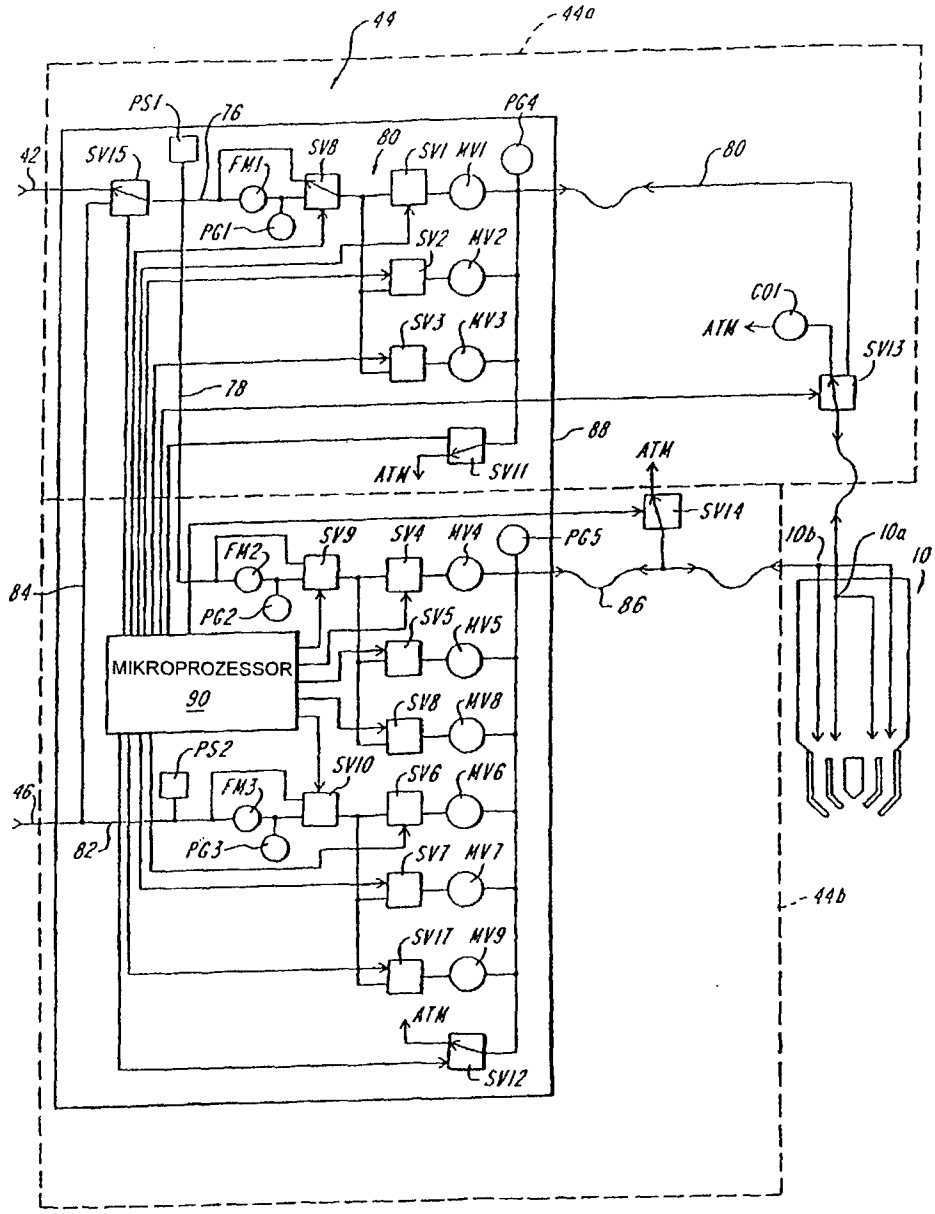
44
44a
PS1
76
PG4
42
SV15
FM1
SV8
80
SV1
MV1
80
PG1
SV2
MV2
CO1
ATM
SV3
MV3
SV13
78
88
ATM
ATM
SV11
SV14
FM2
SV9
SV4
MV4
PG5
10b
10a
10
84
PG2
86
SV5
MV5
MIKROPROZESSOR
90
SV8
MV8
PS2
SV10
SV6
MV6
46
FM3
82
PG3
SV7
MV7
44b
SV17
MV9
ATM
SV12

FIG. 4

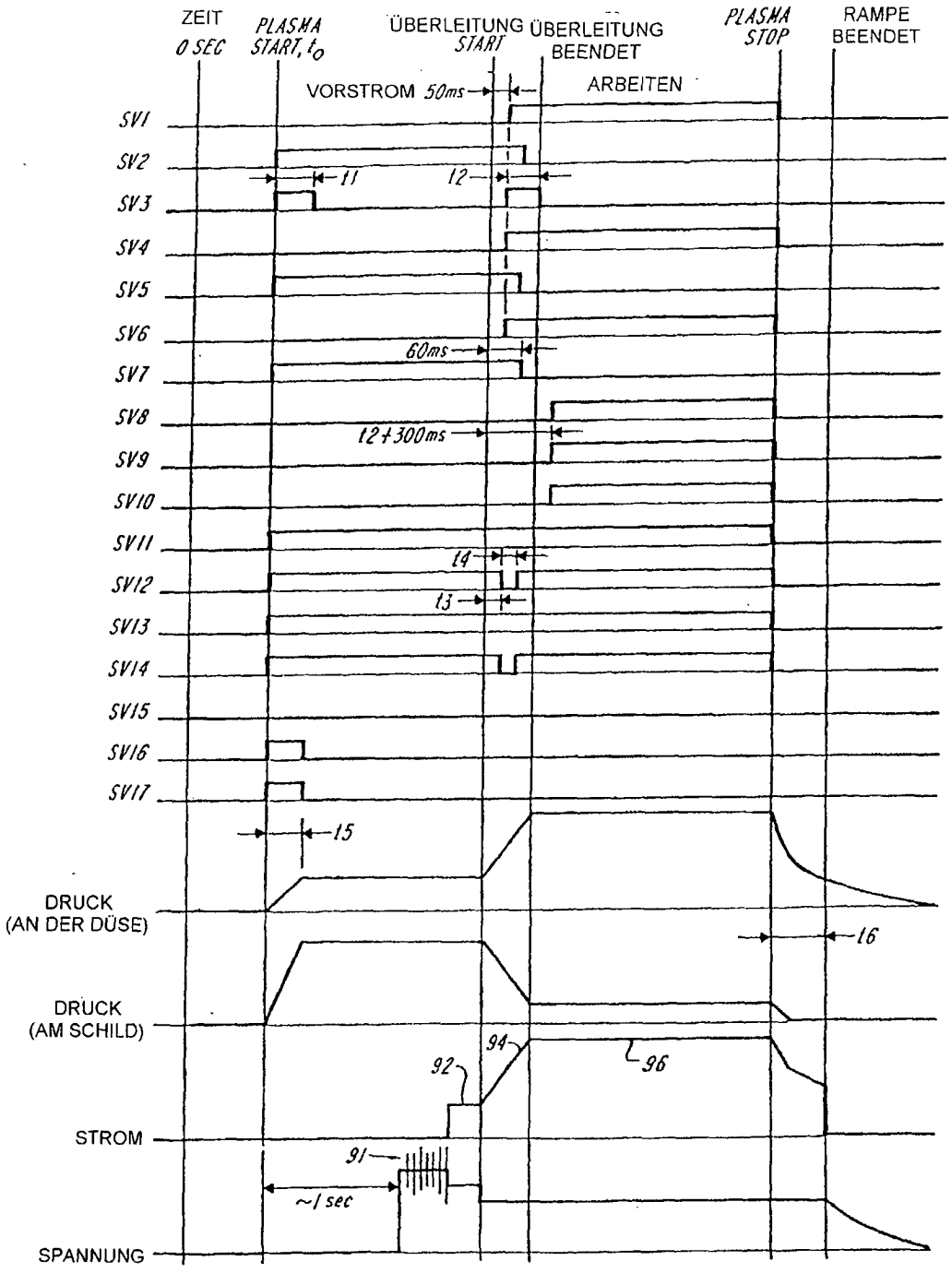
ZEIT
0 SEC
PLASMA START, t_0
ÜBERLEITUNG START
ÜBERLEITUNG BEENDET
PLASMA STOP
RAMPE BEENDET
VORSTROM 50ms
ARBEITEN
SV1
SV2
SV3
SV4
SV5
SV6
SV7
SV8
SV9
SV10
SV11
SV12
SV13
SV14
SV15
SV16
SV17
t1
t2
60ms
t2+300ms
t4
t3
t5
DRUCK (AN DER DÜSE)
t6
DRUCK (AM SCHILD)
92
94
96
STROM
91
~1 sec
SPANNUNG

FIG. 5