

(12)

Patentschrift

(21) Anmeldenummer: A 1613/2007 (51) Int. Cl.⁸: **B23K 10/00**
H05H 1/34
(22) Anmeldetag: 2007-10-10
(43) Veröffentlicht am: 2009-06-15

(56) Entgegenhaltungen:
WO 86/02024A1

(73) Patentinhaber:
SVOBODA EUGEN
A-1080 WIEN (AT)

(54) VERFAHREN ZUM BETREIBEN EINES PLASMABRENNERS UND PLASMABRENNER

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben eines Plasmabrenners (1) zum Bearbeiten elektrisch leitfähiger Werkstücke (2), wobei ein Gas (G) über eine Strahlquelle (3) gebündelt dem Werkstück (2) zugeführt wird und der Gasstrahl (GS) mittels eines zwischen zumindest einer Elektrode (4) und dem Werkstück (2) gezündeten Lichtbogens (L) ionisiert und dadurch ein Plasmastrahl (P) gebildet wird. Zur Reduktion der thermischen Belastung der Strahlquelle (3) des Plasmabrenners (1) ist vorgesehen, dass der Lichtbogen (L) außerhalb der Strahlquelle (3) in den Gasstrahl (GS) eingebracht und der Plasmastrahl (P) fokussiert wird.

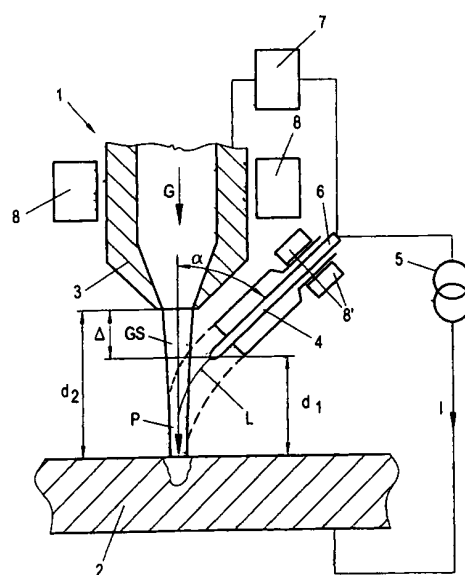


Fig. 2

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben eines Plasmabrenners zum Bearbeiten elektrisch leitfähiger Werkstücke, wobei ein Gas über eine Strahlquelle gebündelt dem Werkstück zugeführt wird, und der Gasstrahl mittels eines zwischen zumindest einer Elektrode und dem Werkstück gezündeten Lichtbogens ionisiert und dadurch ein Plasmastrahl gebildet wird.

Weiters betrifft die vorliegende Erfindung einen Plasmabrenner zum Bearbeiten elektrisch leitfähiger Werkstücke, mit einer Strahlquelle zum gebündelten Zuführen eines Gases, und zumindest einer Elektrode zum Zünden und Betreiben eines Lichtbogens zwischen der zumindest einen Elektrode und dem Werkstück zur Ionisierung des Gasstrahles und Bildung eines Plasmastrahles.

Zum Bearbeiten von elektrisch leitfähigen Werkstücken, insbesondere Metallen, werden Plasmabrenner verwendet, welche einen hochenergetischen Plasmastrahl erzeugen, mit dem das Material des Werkstücks geschmolzen werden kann. Häufig werden Plasmabrenner zum Schneiden von Werkstücken, beispielsweise von glühenden Stahlbrammen, verwendet. Dabei wird das Werkstück mit Hilfe einer Düse mit einem gebündelten Gasstrahl beströmt. Üblicherweise befindet sich in der Mitte der Gasdüse eine Elektrode, welche so wie das elektrisch leitfähige Werkstück mit einer Stromquelle verbunden wird. Durch den Stromfluss kommt es zur Ausbildung eines Lichtbogens der den Gasstrahl ionisiert und das Plasma erzeugt. Der Plasmastrahl mit seiner extrem hohen Energiedichte bringt das Werkstück zum Schmelzen und durch den hohen Druck des Plasmastrahls wird die Schmelze weggeblasen und beispielsweise eine Schnittfuge erzeugt.

Grundsätzlich fallen unter den Begriff der Bearbeitung der Werkstücke, Verfahren wie Schneiden oder Fräsen aber auch andere Oberflächenbearbeitungsverfahren, wie z.B. Sputtern oder dgl..

Nachteilig bei bisherigen Verfahren und Plasmabrennern ist, dass die Gasdüse aufgrund der thermischen Belastung extrem beansprucht wird und in der Folge häufig ausgetauscht werden muss. Aufgrund der hohen Beanspruchung der Gasdüse ist es darüber hinaus nicht möglich sämtliche Gase zur Bildung des Plasmas zu verwenden.

Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht in der Schaffung eines oben genannten Verfahrens und eines oben genannten Plasmabrenners, wodurch die Standzeit erhöht werden kann und darüber hinaus die Bearbeitungsqualität verbessert werden kann. Nachteile bekannter Verfahren und Plasmabrenner sollen vermieden oder zumindest reduziert werden.

Gelöst wird die erfindungsgemäße Aufgabe in verfahrensmäßiger Hinsicht dadurch, dass der Lichtbogen außerhalb der Strahlquelle in den Gasstrahl eingebracht und der Plasmastrahl fokussiert wird. Erfindungsgemäß befindet sich also die zumindest eine Elektrode, von welcher der Lichtbogen zur Ionisierung des Gasstrahles in diesen eingebracht wird, nicht in der Strahlquelle, wodurch die Strahlquelle thermisch nicht so stark beansprucht wird, wie beim Stand der Technik. Durch die verminderte thermische Beanspruchung der Strahlquelle erhöht sich die Standzeit der Strahlquelle bzw. des Plasmabrenners und in der Folge auch die Qualität des Bearbeitungsvorgangs, beispielsweise des Schneidvorgangs. Ebenso kann durch die geringere thermische Belastung der Strahlquelle eine höhere Energie eingebracht werden und können entweder dickere Werkstücke bearbeitet bzw. geschnitten werden oder die Bearbeitung schneller als mit herkömmlichen Verfahren durchgeführt werden. Darüber hinaus ist es nunmehr möglich, auch Gase für die Erzeugung des Plasmas zu verwenden, welche bisher aufgrund der thermischen Korrosion nicht verwendet werden konnten. Zu derartigen sogenannten chemisch reaktiven Medien zählt auch beispielsweise Sauerstoff. Beim erfindungsgemäßen Verfahren wird der Lichtbogen quasi von außen in den Gasstrahl injiziert und bahnt sich innerhalb des ionisierten Gasstrahles den Weg des geringsten Widerstands. Da im Zentrum des Gasstrahles die Strömungsgeschwindigkeit am höchsten und damit der elektrische Widerstand am geringsten ist, wird der Entladungsweg des Plasmas eindeutig definiert und ein stark gebündelter

Plasmastrahl erzielt. Durch die bessere Einschnürung des Plasmastrahls wiederum können auch größere Distanzen des Plasmabrenners zum Werkstück überbrückt werden, was bei bestimmten Geometrien von Werkstücken erforderlich bzw. von Vorteil sein kann. Darüber hinaus wird durch eine höhere Distanz des Plasmabrenners vom Werkstück der Plasmabrenner durch die an der Bearbeitungsstelle auftretende Wärme nicht so stark beansprucht.

Wichtig beim erfindungsgemäßen Verfahren ist, dass die Vorheizung des Werkstücks ausschließlich mit dem Lichtbogen und keinen zusätzlichen Maßnahmen erfolgen kann. Durch die Fokussierung des Plasmastrahls kann die Bearbeitungszone, beispielsweise die Schnittfuge, verkleinert oder auch die Distanz zwischen dem Plasmabrenner und dem Werkstück vergrößert werden. Selbstverständlich können auch mehrere Elektroden um die Strahlquelle oder besonders gestaltete Elektroden zur Bildung mehrerer Lichtbögen zur Ionisierung des Gasstrahls eingesetzt werden. Das erfindungsgemäße Verfahren eignet sich insbesondere zur Bearbeitung von Werkstücken aus Gusseisen und Edelstahl.

Vorteilhafterweise wird der Lichtbogen bzw. werden die Lichtbögen in einem spitzen Winkel zum Gasstrahl in diesen eingebracht. Der Winkel hängt von den baulichen Gegebenheiten des Plasmabrenners ab und kann zwischen 0° und 90° liegen.

Der Lichtbogen wird vorzugsweise stromabwärts der Strahlquelle in den Gasstrahl eingebracht. Durch diese Maßnahme wird erzielt, dass der Abstand zwischen Elektrode und Werkstück kleiner ist als zwischen Strahlquelle und Werkstück, wodurch ein Überschlag des Lichtbogens von der Elektrode zur Strahlquelle erschwert oder verhindert wird.

Vorteilhafterweise wird der Gasstrahl vor der Ionisierung beschleunigt. Dies kann beispielsweise durch Verwendung entsprechender Düsen als Strahlquelle geschehen.

Auch beim gegenständlichen Verfahren zum Betreiben eines Plasmabrenners ist es von Vorteil, wenn die Strahlquelle und bzw. oder die zumindest eine Elektrode entsprechend gekühlt wird. Die Kühlung kann insbesondere durch ein entsprechendes Kühlfluid, insbesondere eine Kühlflüssigkeit, welche durch entsprechende Kanäle in der Strahlquelle oder der Elektrode bzw. deren Halterung fließt, geschehen. Die Kühlung kann auch regenerativ erfolgen, in dem das Plasma-bildende Gas, das Schutzgas oder ein Kühlgas entsprechend durch den Plasmabrenner oder die Elektrode oder deren Halterung geleitet wird und diesen bzw. die Elektrode oder deren Halterung kühlt.

Wie bereits oben erwähnt, ist es durch die erfindungsgemäße Trennung zwischen Lichtbogen und Strahlquelle möglich, auch andere Plasma-bildende Gase, wie z.B. Sauerstoff, zu verwenden. Durch die Verwendung von Sauerstoff erhält man eine wesentlich höhere chemische Reaktivität. Durch diese Plasmaheizung erhält der Plasmastrahl einen höheren, quasistatischen Druck, wodurch weniger Verunreinigung aus der Umgebungsluft angesaugt wird. In der Folge resultieren bessere Qualitäten beim Bearbeiten der Werkstücke. Insbesondere beim Schneiden resultieren glattere und sauberere Schnittfugen. Anstelle von Sauerstoff können aber auch andere, sogenannte chemisch reaktive Gase, eingesetzt werden. Durch die Ionisierung von Sauerstoff wird mehr Heizleistung in den Plasmastrahl eingebracht und somit eine höhere Bearbeitungsenergie erzielt. Im Gegenzug ist eine geringere Vortemperatur des Plasma-bildenden Gases notwendig.

Weiters kann es von Vorteil sein, dem Plasma-bildenden Gas gewisse Aerosole beizumengen. Bei solchen Aerosolen handelt es sich um Gemische aus flüssigen oder festen Partikeln und Luft bzw. eines Gases. Das jeweilige Verhalten des Aerosols hängt von den gewählten flüssigen oder festen Partikeln sowie allenfalls vom Trägergas ab. Für die Bearbeitung bestimmter Werkstücke kann die Verwendung bestimmter Aerosole vorteilhaft sein.

Der Plasmastrahl kann beispielsweise mit Hilfe eines elektromagnetischen Feldes fokussiert

werden. Dieses elektromagnetische Feld kann mit Hilfe entsprechender Spulen oder Permanentmagneten erzeugt werden. Zusätzlich kann eine Fokussierung des Plasmastrahls durch den durch das Plasma fließenden Strom selbst bzw. dessen Magnetfeld hervorgerufen werden, sofern der Strom einen gewissen Schwellwert überschreitet. Dieser Effekt der Einschnürung des Plasmastrahls durch den darin fließenden Strom wird Pincheffekt genannt. Durch diesen Effekt wird das Plasma dichter und heißer, wodurch noch höhere Energiedichten erzielt werden können.

Gelöst wird die erfindungsgemäße Aufgabe auch durch einen oben genannten Plasmabrenner, bei dem die zumindest eine Elektrode außerhalb der Strahlquelle angeordnet ist, und der Lichtbogen von außen in den Gasstrahl einbringbar ist, und eine Einrichtung zur Fokussierung des Plasmastrahles vorgesehen ist. Wie bereits oben erwähnt wird durch die Anordnung der zumindest einen Elektrode außerhalb der Strahlquelle eine Entkoppelung der Strahlquelle von der Elektrode erzielt und somit die Strahlquelle thermisch entlastet. Es können auch mehrere Elektroden zur Bildung mehrerer Lichtbögen aber auch speziell gestaltete Elektroden, wie z.B. eine ringförmig um die Strahlquelle angeordnete Elektrode mit mehreren Fortsätzen, oder dgl. zur Bildung mehrere Lichtbögen eingesetzt werden. Wichtig dabei ist, dass der Lichtbogen von außen in den gebündelten Gasstrahl injiziert wird und dort das Gas zur Bildung eines Plasmas entsprechend ionisiert.

Vorteilhafterweise ist die zumindest eine Elektrode in einem spitzen Winkel zum Gasstrahl angeordnet.

Weiters ist es von Vorteil wenn die zumindest eine Elektrode in einem Abstand zum Werkstück angeordnet ist, welcher kleiner als der Abstand der Strahlquelle zum Werkstück ist.

Um eine Vorbeschleunigung des Gasstrahles zu erzielen, ist die Strahlquelle entsprechend ausgebildet, beispielsweise in Form einer Düse.

Die zumindest eine Elektrode kann aus Wolfram gebildet sein. Wie bereits aus der Schweißtechnik bekannt, eignet sich Wolfram aufgrund des hohen Schmelzpunktes besonders für die Herstellung von Elektroden.

Um einen Überschlag des Lichtbogens von der Elektrode zur Strahlquelle zu verhindern, ist die Strahlquelle vorzugsweise gegenüber dem Lichtbogen bzw. der Elektrode elektrisch isoliert bzw. ist nicht Teil des Stromkreises.

Diese elektrische Isolierung kann durch die Verwendung elektrisch isolierenden Materials, insbesondere Keramik, für die Strahlquelle oder auch eine Umhüllung der Strahlquelle mit einem elektrisch isolierenden Material erzielt werden. Ebenso kann eine elektrische Beschaltung zwischen Strahlquelle und Elektrode mit Hilfe entsprechender Bauteile (Widerstände, Induktivitäten und Kapazitäten) vorgenommen werden.

Die Strahlquelle kann aus Kupfer gebildet sein. Kupfer weist eine besonders hohe Wärmeleitfähigkeit auf.

Zur Kühlung des Plasmabrenners und der Strahlquelle und bzw. oder der zumindest einen Elektrode kann eine entsprechende Kühleinrichtung vorgesehen sein. Beispielsweise können die Strahlquelle und das Elektrodensystem mit Kühlkanälen zur Führung eines entsprechenden Kühlfluids versehen sein. Ebenso kann eine Gaskühlung durch entsprechenden Gasdurchsatz eingesetzt werden bzw. können Zusatzdüsen einen Kühlgasstrom an den thermisch belasteten Bauteilen vorbeiführen.

Wie bereits oben erwähnt ist bzw. sind durch die erfindungsgemäße Konstruktion des Plasmabrenners auch Sauerstoff oder andere chemisch reaktive Gase zur Bildung des Plas-

mastrahls verwendbar.

Weiters kann eine Leitung zur Beimengung eines Aerosols zum Plasma-bildenden Gas vorgesehen sein.

5

Die Fokussierung des Plasmastrahls kann beispielsweise durch zumindest eine angeordnete Spule oder zumindest einen zwischen der Strahlquelle und dem Werkstück angeordneten Permanentmagneten erfolgen.

10

Die vorliegende Erfindung wird anhand der beigefügten Zeichnungen näher erläutert.

Darin zeigen:

15

Fig. 1 einen Plasmabrenner der bekannten Art mit einer innerhalb der Strahlquelle angeordneten Elektrode;

Fig. 2 ein schematisches Schnittbild durch einen erfindungsgemäß ausgebildeten Plasmabrenner beim Bearbeiten eines Werkstücks; und

Fig. 3 eine Variante eines Plasmabrenners gemäß Fig. 2 mit Fokussiereinrichtung.

20

Fig. 1 zeigt ein schematisches Schnittbild eines Plasmabrenners 1 nach dem Stand der Technik zum Bearbeiten eines elektrisch leitfähigen Werkstücks 2, insbesondere eines Metalls. Dem Plasmabrenner 1 wird über eine Strahlquelle 3, insbesondere eine Düse, ein Gas G zugeführt, wodurch ein gebündelter Gasstrahl GS in Richtung des Werkstücks 2 hervorgerufen wird. In der Mitte der Strahlquelle 3 ist eine Elektrode 4 angeordnet, welche mit einer Stromquelle 5 verbunden wird. Der andere Pol der Stromquelle 5 wird mit dem elektrisch leitfähigen Werkstück 2 verbunden. Durch Anlegen eines entsprechenden Stromes I zwischen Werkstück 2 und Elektrode 4 wird ein Lichtbogen L zwischen Elektrode 4 und Werkstück 2 gezündet und bereitgestellt, der den Gasstrahl GS ionisiert und somit einen Plasmastrahl P erzeugt. Die hohe Energiedichte des Plasmastrahls P kann das Material des Werkstücks 2 zum Schmelzen bringen, wodurch eine Bearbeitung des Werkstücks 2, beispielsweise ein Schneiden, möglich wird. Um einen Überschlag des Lichtbogens L von der Elektrode 4 zur Strahlquelle 3 zu verhindern, ist die Strahlquelle 3 gegenüber der Elektrode 4 elektrisch isoliert. Beispielsweise ist die Strahlquelle 3 bzw. die Düse aus keramischem Material hergestellt bzw. im Falle einer Schaltungstechnischen Trennung aufgrund der Wärmeleitfähigkeit auch aus Kupfer, in Verbindung mit einer entsprechenden Flüssigkeits- oder Gaskühlung. Zur besseren Zündung des Hauptlichtbogens kann ein Pilotlichtbogen eingesetzt werden (nicht dargestellt). Durch die entstehenden hohen Temperaturen wird die Strahlquelle 3 und auch die Elektrode 4 entsprechend stark thermisch belastet. Durch diese thermische Belastung der Strahlquelle 3 sind die Standzeiten des Plasmabrenners 1 reduziert und ist auch der Einsatz verschiedener Plasma-bildender Gase G, wie z.B. chemisch reaktiver Gase G, wie z.B. Sauerstoff, nicht möglich.

35

40

45

50

55

Fig. 2 zeigt eine schematische Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Plasmabrenners 1, bei dem die zumindest eine Elektrode 4 von der Strahlquelle 3 getrennt angeordnet ist. Dadurch wird der Lichtbogen L in den Gasstrahl GS injiziert und die Strahlquelle 3 thermisch entlastet. Der Lichtbogen L bzw. die Elektrode 4 ist vorzugsweise in einem spitzen Winkel α zum Gasstrahl GS angeordnet. Die Elektrode 4 kann ähnlich wie der Schweißbrenner aus Wolfram gebildet sein und mit einer Zuleitung 6 für ein Schutzgas umgeben sein. Der Abstand d_1 der Elektrode 4 vom Werkstück 2 ist vorzugsweise geringer als der Abstand d_2 von der Strahlquelle 3 zum Werkstück 2. Dadurch wird ein Überschlag des Lichtbogens L zur Strahlquelle 3 vermieden. Darüber hinaus ist es von Vorteil, wenn die Strahlquelle 3 gegenüber der Elektrode 4 elektrisch isoliert ist. Auch kann die Strahlquelle 3 vom Stromkreis der Elektrode 4 entsprechend getrennt sein. Diese elektrische Trennung der Strahlquelle 3 gegenüber der Elektrode 4 kann durch Verwendung eines elektrisch isolierenden Materials, insbesondere Keramik, für die Strahlquelle 3 oder eine entsprechend elektrisch isolierende Umhüllung geschehen. Ebenso kann eine elektrische Beschaltung 7 zwischen der Elektrode 4 und der Strahlquelle 3 für eine

entsprechende Trennung sorgen. Dabei kommen z.B. entsprechende Widerstände, Induktivitäten sowie Kapazitäten als Beschaltung 7 in Frage.

Wie in der Fig. 2 angedeutet, kann die Strahlquelle 3 mit einer Kühleinrichtung 8 versehen sein. Diese Kühleinrichtung 8 kann beispielsweise durch entsprechende Kühlkanäle, durch die ein Kühlmedium fließt, gebildet werden. Auch die Elektrode 4 kann unter Umständen mit einer entsprechenden Kühleinrichtung 8' gekühlt werden.

Fig. 3 zeigt eine gegenüber Fig. 2 ergänzte Ausführungsvariante, bei der eine Einrichtung 10 zum Fokussieren des Plasmastrahles P vorgesehen ist. Diese Fokussiereinrichtung kann beispielsweise durch eine zwischen der Strahlquelle 3 und dem Werkstück 2 angeordnete Spule 11 und bzw. oder einen zwischen der Strahlquelle 3 und dem Werkstück 2 angeordneten Permanentmagneten 12 gebildet sein. Durch das von der Spule 11 bzw. dem Permanentmagneten 12 hervorgerufene elektromagnetische Feld wird der Plasmastrahl P eingeschnürt. Eine solche Einschnürung des Plasmastrahls P kann auch durch den sogenannten Pincheffekt hervorgerufen werden, bei dem das Magnetfeld des durch den Plasmastrahl P fließenden Stromes selbst den Plasmastrahl P einschnürt. Für das Auftreten des Pincheffekts ist eine gewisse Mindeststromstärke I erforderlich, die von verschiedenen Faktoren, wie z.B. der Temperatur und dem Querschnitt des Plasmastrahls P, abhängt. Weiters ist in Fig. 3 eine Leitung 9 dargestellt, über die dem Plasma-bildenden Gas G beispielsweise ein Aerosol mit festen oder flüssigen Partikeln beigemischt werden kann. Über die Beimengung derartiger Aerosole kann die Bearbeitung von Werkstücken 2 beeinflusst werden.

Abschließend sei noch erwähnt, dass der Lichtbogen L sowohl mit Gleichstrom als auch mit Wechselstrom betrieben werden kann. Zur Zündung des Lichtbogens L können herkömmliche Verfahren, wie z.B. Hochfrequenzzündverfahren angewendet werden. Darüber hinaus kann neben dem Arbeitslichtbogen L ein hochfrequenter Hilfslichtbogen aufrecht erhalten werden, welcher beim Erlöschen des Lichtbogens L eine erneute Zündung des Lichtbogens L erleichtert.

Patentansprüche:

1. Verfahren zum Betreiben eines Plasmabrenners (1) zum Bearbeiten elektrisch leitfähiger Werkstücke (2), wobei ein Gas (G) über eine Strahlquelle (3) gebündelt dem Werkstück (2) zugeführt wird, und der Gasstrahl (GS) mittels eines zwischen zumindest einer Elektrode (4) und dem Werkstück (2) gezündeten Lichtbogens (L) ionisiert und dadurch ein Plasmastrahl (P) gebildet wird, *dadurch gekennzeichnet*, dass der Lichtbogen (L) außerhalb der Strahlquelle (3) in den Gasstrahl (GS) eingebracht und der Plasmastrahl (P) fokussiert wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, *dadurch gekennzeichnet*, dass der Lichtbogen (L) in einem spitzen Winkel (α) zum Gasstrahl (GS) in diesen eingebracht wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, *dadurch gekennzeichnet*, dass der Lichtbogen (L) stromabwärts der Strahlquelle (3) in den Gasstrahl (GS) eingebracht wird.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, *dadurch gekennzeichnet*, dass der Gasstrahl (GS) beschleunigt wird.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, *dadurch gekennzeichnet*, dass die Strahlquelle (3) und bzw. oder die zumindest eine Elektrode (4) gekühlt wird.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, *dadurch gekennzeichnet*, dass als Gas (G) Sauerstoff verwendet wird.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, *dadurch gekennzeichnet*, dass dem Gas (G) ein Aerosol beigemischt wird.
- 5 8. Verfahren nach Anspruch 7, *dadurch gekennzeichnet*, dass dem Gas (G) ein Aerosol mit flüssigen Partikeln beigemischt wird.
9. Verfahren nach Anspruch 7 oder 8, *dadurch gekennzeichnet*, dass dem Gas (G) ein Aerosol mit festen Partikeln beigemischt wird.
- 10 10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, *dadurch gekennzeichnet*, dass der Plasmastrahl (P) mit Hilfe eines elektromagnetischen Felds fokussiert wird.
11. Plasmabrenner (1) zum Bearbeiten elektrisch leitfähiger Werkstücke (2), mit einer Strahlquelle (3) zum gebündelten Zuführen eines Gases (G) und zumindest einer Elektrode (4) zum Zünden und Betreiben eines Lichtbogens (L) zwischen der zumindest einen Elektrode (4) und dem Werkstück (2) zur Ionisierung des Gasstrahles (GS) und Bildung eines Plasmastrahles (P), *dadurch gekennzeichnet*, dass die zumindest eine Elektrode (4) außerhalb der Strahlquelle (3) angeordnet ist, und der Lichtbogen (L) von außen in den Gasstrahl (GS) einbringbar ist, und dass eine Einrichtung (10) zur Fokussierung des Plasmastrahles (P) vorgesehen ist.
- 15 20 12. Plasmabrenner (1) nach Anspruch 11, *dadurch gekennzeichnet*, dass die zumindest eine Elektrode (4) in einem spitzen Winkel (α) zum Gasstrahl (GS) angeordnet ist.
- 25 13. Plasmabrenner (1) nach Anspruch 11 oder 12, *dadurch gekennzeichnet*, dass die zumindest eine Elektrode (4) in einem Abstand (d_1) zum Werkstück (2) angeordnet ist, welcher kleiner als der Abstand (d_2) der Strahlquelle (3) zum Werkstück (2) ist.
- 30 14. Plasmabrenner (1) nach einem der Ansprüche 11 bis 13, *dadurch gekennzeichnet*, dass die Strahlquelle (3) zur Vorbeschleunigung des Gasstrahles (GS), beispielsweise durch eine Düse, gebildet ist.
- 35 15. Plasmabrenner (1) nach einem der Ansprüche 11 bis 14, *dadurch gekennzeichnet*, dass die zumindest eine Elektrode (4) aus Wolfram gebildet ist.
- 40 16. Plasmabrenner (1) nach einem der Ansprüche 11 bis 15, *dadurch gekennzeichnet*, dass die Strahlquelle (3) gegenüber dem Lichtbogen (L) elektrisch isoliert ist.
17. Plasmabrenner (1) nach Anspruch 16, *dadurch gekennzeichnet*, dass die Strahlquelle (3) aus elektrisch isolierendem Material, insbesondere Keramik, gebildet ist.
- 45 18. Plasmabrenner (1) nach Anspruch 16, *dadurch gekennzeichnet*, dass die Strahlquelle (3) mit einer elektrisch isolierenden Umhüllung umgeben ist.
- 50 19. Plasmabrenner (1) nach Anspruch 16, *dadurch gekennzeichnet*, dass zwischen der Strahlquelle (3) und der zumindest einen Elektrode (4) eine elektrische Beschaltung (7) zur Isolierung angeordnet ist.
- 55 20. Plasmabrenner (1) nach einem der Ansprüche 11 bis 19, *dadurch gekennzeichnet*, dass die Strahlquelle (3) aus Kupfer gebildet ist.
21. Plasmabrenner (1) nach einem der Ansprüche 11 bis 20, *dadurch gekennzeichnet*, dass die Strahlquelle (3) und bzw. oder die zumindest eine Elektrode (4) eine Kühleinrichtung (8, 8') aufweist.

22. Plasmabrenner (1) nach einem der Ansprüche 11 bis 21, *dadurch gekennzeichnet*, dass als Gas (G) zur Bildung des Plasmastrahls (P) Sauerstoff verwendbar ist.
23. Plasmabrenner (1) nach einem der Ansprüche 11 bis 22, *dadurch gekennzeichnet*, dass eine Leitung (9) zur Beimengung eines Aerosols zum Plasma-bildenden Gas (G) vorgesehen ist.
24. Plasmabrenner (1) nach einem der Ansprüche 11 bis 23, *dadurch gekennzeichnet*, dass die Fokussiereinrichtung (10) durch zumindest eine zwischen Strahlquelle (3) und Werkstück (2) angeordnete Spule (11) gebildet ist.
25. Plasmabrenner (1) nach einem der Ansprüche 11 bis 23, *dadurch gekennzeichnet*, dass die Fokussiereinrichtung (10) durch zumindest einen zwischen Strahlquelle (3) und Werkstück (2) angeordneten Permanentmagneten (12) gebildet ist.

Hiezu 3 Blatt Zeichnungen



Fig. 1



Fig. 3