

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
30. Dezember 2009 (30.12.2009)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2009/155908 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

B23K 26/14 (2006.01) B23K 26/03 (2006.01)
B23K 26/04 (2006.01)

Juergen-Michael [DE/DE]; Eberhardtstrasse 17/3, 71679 Asperg (DE).

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE2009/000891

(74) Anwälte: RUPP, Stefan et al.; Kohler Schmid Möbus, Ruppmanstr. 27, 70565 Stuttgart (DE).

(22) Internationales Anmeldedatum:
26. Juni 2009 (26.06.2009)

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2008 030 783.1 28. Juni 2008 (28.06.2008) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): TRUMPF WERKZEUGMASCHINEN GMBH + CO. KG [DE/DE]; Johann-Maus-Strasse 2, 71254 Ditzingen (DE).

(72) Erfinder; und

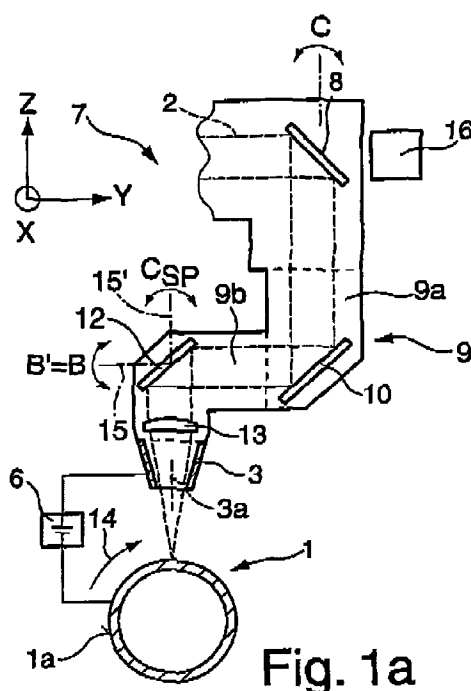
(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): BOETTCHER, Christian [DE/DE]; Behringstrasse 11, 70565 Stuttgart (DE). DILGER, Werner [DE/DE]; Steinstrasse 10, 71229 Leonberg (DE). DEMEL, Peter [DE/DE]; Johannes-Krämer-Strasse 38, 70597 Stuttgart (DE). WEICK,

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD FOR ECCENTRICALLY ORIENTING A LASER CUTTING BEAM IN RELATION TO A JET AXIS AND FOR ANGLE CUTTING, CORRESPONDING LASER MACHINING HEAD AND LASER MACHINING TOOL

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUM EXZENTRISCHEN AUSRICHTEN EINES LASERSCHNEIDSTRAHLS ZU EINER DÜSENACHSE UND ZUM SCHRÄGSCHNEIDEN, ENTSPRECHENDER LASERBEARBEITUNGSKOPF UND LASERBEARBEITUNGSMASCHINE



(57) Abstract: The invention relates to a method for orienting a focusing laser cutting beam (2) eccentrically in relation to the jet axis (3a) of a cutting gas jet (3). Said method consists of the following steps: a tilted mirror (12) arranged in the beam path of the laser cutting beam (2) upstream of the cutting gas jet (3) is rotated in a direction (C_{Sp}) coaxial to the jet axis (3a) and/or in a direction (B') perpendicular to the jet axis (3a) and corresponding to the direction of the incidence of the laser beam (2) on the tilted mirror (12). The cutting gas jet (3) and the tilted mirror (12) are arranged especially in a second structural unit (9b) of a laser machining head (9), which is mounted in such a way that it can be rotated in relation to a first structural unit (9a), in the direction (B) corresponding to the beam incidence direction. The invention also relates to a method for cutting angles on a workpiece (1) by means of a laser beam, based on the method for orienting the laser cutting beam (2), and to a laser machining head (7) and a laser machining tool (9) for carrying out said method.

(57) Zusammenfassung:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2009/155908 A1

**Veröffentlicht:**

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

— vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eingehen (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe h)

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Ausrichten eines fokussierten Laserschneidstrahls (2) exzentrisch zur Düsenachse (3a) einer Schneidgasdüse (3), umfassend: Verdrehen eines im Strahlengang des Laserschneidstrahls (2) vor der Schneidgasdüse (3) angeordneten Umlenkspiegels (12) um eine zur Düsenachse (3a) koaxiale Richtung (CSp) und/oder um eine zur Düsenachse (3a) senkrechte, der Strahleinfallrichtung des Laserstrahls (2) auf den Umlenkspiegel (12) entsprechende Richtung (B'). Die Schneidgasdüse (3) und der Umlenkspiegel (12) sind hierbei insbesondere in einer zweiten Baueinheit (9b) eines Laserbearbeitungskopfs (9) angeordnet, die um die der Strahleinfallrichtung entsprechende Richtung (B) relativ zur einer ersten Baueinheit (9a) verdrehbar gelagert ist. Die Erfindung betrifft auch ein Verfahren zum Laserstrahlschrägschneiden eines Werkstücks (1) basierend auf dem Verfahren zum Ausrichten des Laserschneidstrahls (2), sowie einen Laserbearbeitungskopf (7) und eine Laserbearbeitungsmaschine (9) zur Durchführung des Verfahrens.

VERFAHREN ZUM EXCENTRISCHEN AUSRICHTEN EINES LASERSCHNEIDSTRAHLS ZU EINER DÜSENACHSE UND ZUM SCHRÄGSCHNEIDEN , ENTSPRECHENDER LASERBEARBEITUNGSKOPF UND LASERBEARBEITUNGSMASCHINE

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Ausrichten eines Laserschneidstrahls exzentrisch zur Düsenachse einer Schneidgasdüse, ein Verfahren zum Laserstrahlschrägschneiden, einen Laserbearbeitungskopf zum Schneiden eines Werkstücks, sowie eine Laserbearbeitungsmaschine mit einem solchen Laserbearbeitungskopf.

Um zwei insbesondere rohrförmige Werkstücke unter Ausbildung eines Winkels von z.B. 90° miteinander zu verbinden, können diese zunächst schräg unter einem Winkel von 45° abgetrennt und anschließend an den Schnittkanten miteinander verschweißt werden. Für das Schweißen sollten die Schnittkanten möglichst flächig aneinander anliegen, was jedoch nicht möglich ist, wenn der Laserschneidstrahl während des Schneidvorgangs senkrecht zur Flächennormalen der Werkstückoberfläche ausgerichtet ist, da in diesem Fall beim Trennen verwundene Schnittflächen entstehen. Um dies zu vermeiden, wird beim sog. Laserstrahlschrägschneiden der Laserschneidstrahl und der das Laserschneiden unterstützende Überschall-Schneidgasstrom unter einem Winkel zur Flächennormalen geneigt, dem sog. Schrägschneidwinkel. Wird der Schrägschneidwinkel während des Schneidprozesses variiert, kann auch bei einem schrägen Schnitt an einem Rohr eine plane Schnittfläche erzeugt werden, so dass z.B. ein Verschweißen der Schnittkanten wesentlich vereinfacht wird. Es versteht sich, dass das Schrägschneiden nicht nur an rohrförmigen, sondern auch insbesondere an dicken, plattenförmigen Werkstücken vorgenommen werden kann, um diese an den beim Schrägschneiden gebildeten, schrägen Schnittkanten beispielsweise leichter miteinander verschweißen zu können.

Der oben beschriebene Laserstrahlschrägschneidprozess ist aber bis jetzt noch keineswegs beherrscht, d.h. es muss mit deutlichen Vorschubsreduzierungen (bei einem Schrägschneidwinkel von 45° bis zu 70%) und deutlichen Qualitätseinbußen gegenüber dem konventionellen Laserstrahlschneiden mit senkrecht zur Werkstückoberfläche ausgerichtetem Laserschneidstrahl gerechnet werden. Insbesondere weisen die beim Laserstrahlschrägschneiden erzeugten Schnittkanten in Abhängigkeit vom Schrägschneidwinkel unterschiedliche Oberflächengüten auf, wobei an einer Schnittkante eine starke Gratbildung, an der anderen Schnittkante eine raue Oberflächenstruktur zu beobachten ist.

Aus dem Artikel „Melt Expulsion by a Coaxial Gas Jet in Trepanning of CMSX-4 with Microsecond Nd:YAG Laser Radiation“ von J. Willach et al., Proceedings of the SPIE, Vol. 5063, pp. 435 – 440, ist es bekannt, beim Trepanieren von Mikrobohrungen in Turbinenschaufeln den unter einem schrägen Winkel (hier für einen Bohrprozess) zum Werkstück ausgerichteten Laserschneidstrahl und den parallel zu

diesem ausgerichteten Überschall-Schneidgasstrom bzw. die Schneidgasdüse lateral zueinander zu verschieben, um den Staudruckpunkt bzw. das Hochdruckgebiet des Überschall-Schneidgasstroms unmittelbar über der Bohrung zu positionieren. Auf diese Weise soll verhindert werden, dass der Gasdruck und die Dicke der erstarrten Schmelze periodisch entlang der Wand der Bohrung variieren, wie dies bei koaxialer Ausrichtung von Gasströmung und Laserstrahlachse bei schräg dazu angeordneter Werkstückoberfläche der Fall ist. Durch den Lateralversatz sollen diese Oszillationen unterbunden und ein erhöhter Gasfluss durch die Bohrung und damit ein leichter Austritt der Schmelze an der Unterseite der Bohrung erreicht werden. Um eine durch Trepanieren erhaltene Bohrung zu vergrößern, wird eine weitere Bohrung mit Überlappung daneben platziert, wobei sich Überlappungen zwischen den Bohrungen im Bereich zwischen 50% und 80 % als besonders günstig ergeben haben.

Auch bei anderen Anwendungen, z.B. beim Schnellschneiden, ist es zur Steigerung der Schneidgeschwindigkeit günstig, wenn der Laserschneidstrahl und das Zentrum des Schneidgasstroms zueinander versetzt auf die Werkstückoberfläche auftreffen. Zur Erzeugung eines solchen Versatzes ist eine exzentrische Ausrichtung des Laserschneidstrahls zur Düsenachse bzw. zur Düsenmitte erforderlich.

Aufgabe der Erfindung

Es ist die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren zum Ausrichten eines fokussierten Laserschneidstrahls exzentrisch zur Düsenachse bzw. Düsenmitte einer Schneidgasdüse, ein darauf aufbauendes Verfahren zum Laserstrahlschrägschneiden sowie einen Laserbearbeitungskopf und eine Laserbearbeitungsmaschine zur Durchführung der Verfahren anzugeben, die besonders einfach gesteuert werden können, so dass insbesondere bei Schrägschneiden ein qualitativ hochwertiger Schnitt bei hohen Vorschubgeschwindigkeiten ermöglicht wird.

Gegenstand der Erfindung

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch ein Verfahren zum Ausrichten eines fokussierten Laserschneidstrahls exzentrisch zur Düsenachse einer Schneidgasdüse, umfassend: Verdrehen eines im Strahlengang des Laserschneidstrahls vor

der Schneidgasdüse angeordneten Umlenkspiegels um eine zur Düsenachse koaxiale Richtung und/oder um eine zur Düsenachse senkrechte, der Strahleinfallsrichtung des Laserstrahls auf den Umlenkspiegel entsprechende Richtung. Durch das exzentrische Ausrichten des Laserstrahls in der Düsenöffnung wird die Position des Auftreffpunkts des Laserstrahls auf einem zu bearbeitenden Werkstück gegenüber dem Zentrum des aus der Düse austretenden Schneidgasstroms gewollt versetzt. Dieser gewollte Versatz muss bei der Steuerung des Laserbearbeitungskopfs, in dem die Schneidgasdüse angeordnet ist, berücksichtigt werden, damit der Laserschneidstrahl an der korrekten Position auf dem Werkstück auftrifft.

Die exzentrische Ausrichtung des Laserschneidstrahls durch Verdrehen des Umlenkspiegels auf die oben beschriebene Weise kann steuerungstechnisch besonders einfach berücksichtigt werden, indem der Umlenkspiegel unter einem Drehwinkel aus einer Ruhelage verdreht wird, bei der die Strahlausfallsrichtung des Laserschneidstrahls koaxial zur Düsenachse verläuft und gleichzeitig der Umlenkspiegel gemeinsam mit der Schneidgasdüse unter demselben Drehwinkel um die der Strahleinfallsrichtung entsprechende Richtung vermindert bzw. entgegengesetzt gedreht wird. Durch eine solche steuerungstechnische Kopplung der Drehachse des Umlenkspiegels mit einer ohnehin vorhandenen Drehachse zur Ausrichtung der Schneidgasdüse relativ zum Werkstück kann die Steuerung der Makrobewegung des Laserbearbeitungskopfs, in dem die Düse und der Umlenkspiegel angeordnet sind, so erfolgen, als ob der Laserbearbeitungsstrahl stets koaxial zur Düsenachse ausgerichtet wäre.

Zur Fokussierung des Laserschneidstrahls auf das Werkstück kann ein Linsenelement zwischen dem Umlenkspiegel und der Schneidgasdüse vorgesehen sein, das auch dem Druckaufbau des Schneidgases dient, so dass ein Überschall-Schneidgasstrom durch die Düse erzeugt werden kann. Alternativ kann zur Fokussierung des Laserschneidstrahls der Umlenkspiegel als Hohlspiegel, insbesondere als Parabolspiegel ausgebildet sein. In diesem Fall kann für den Druckaufbau des Schneidgases ein Druckfenster, z.B. in Form einer Planplatte, vorgesehen sein, oder die Schneidgasdüse kann als Ringspaldüse ausgebildet sein.

Bei einer Variante des Verfahrens werden die Schneidgasdüse und der Umlenk-

spiegel in einer zweiten Baueinheit eines Laserbearbeitungskopfs angeordnet, die um die der Strahleinfallsrichtung entsprechende Richtung relativ zu einer ersten Baueinheit verdrehbar gelagert ist. Die für die Ausrichtung bzw. Winkeleinstellung der Schneidgasdüse relativ zum Werkstück benötigte Drehachse kann in diesem Fall als Kompensationsachse dienen.

Das oben beschriebene Verfahren zum exzentrischen Ausrichten des Laserschneidstrahls kann bei unterschiedlichen Anwendungen vorteilhaft zum Einsatz kommen z.B. beim Schnellschneiden, bei dem der Laserschneidstrahl in Vorschubrichtung bezüglich des Zentrums des Überschall-Schneidgasstroms versetzt wird, oder beim Schrägschneiden, bei dem ein Versatz zwischen Laserschneidstrahl und Zentrum des Schneidgasstroms rechtwinklig zur Vorschubrichtung günstig ist. Ein solches Schrägschneidverfahren wird nachfolgend näher beschrieben.

Ein Aspekt der Erfindung betrifft ein Verfahren zum Laserstrahlschrägschneiden eines Werkstücks, bei dem ein aus einer Schneidgasdüse austretender Überschall-Schneidgasstrom unter einem Schrägschneidwinkel zur Werkstückoberfläche ausgerichtet wird, wobei das Werkstück und der Laserschneidstrahl beim Laserstrahlschrägschneiden relativ zueinander bewegt werden, wobei der Schrägschneidwinkel im Wesentlichen rechtwinklig zu einer Vorschubrichtung verläuft, und wobei während der Relativbewegung die Position des Laserschneidstrahls auf der Werkstückoberfläche mittels des oben beschriebenen Verfahrens zum exzentrischen Ausrichten des Laserschneidstrahls so eingestellt wird, dass der Laserschneidstrahl in einem innerhalb des Überschall-Schneidgasstroms gebildeten Hochdruckbereich auf die Werkstückoberfläche auftrifft.

Die Position des Hochdruckbereichs innerhalb des Überschall-Schneidgasstroms ist hierbei vom sich ggf. während des Laserschneidens verändernden Schrägschneidwinkel abhängig. Der Hochdruckbereich und damit die Position des Laserschneidstrahls auf der Werkstückoberfläche sind hierbei für Winkel, bei denen der Laserschneidstrahl nicht senkrecht zur Werkstückoberfläche ausgerichtet ist, zur Düsenachse der Schneidgasdüse, welche dem Zentrum des Überschall-Schneidgasstroms entspricht, versetzt.

Die Erfinder haben erkannt, dass ein Versatz zwischen Laserschneidstrahl und Zentrum des Überschall-Schneidgasstroms nicht nur bei der Erzeugung von Bohrungen (Trepanieren) günstig ist, sondern auch beim Laserstrahlschrägschneiden, d.h. bei einer Vorschubbewegung zwischen Werkstück und Laserschneidstrahl, da in diesem Fall die Schneidgasdynamik den limitierenden Faktor darstellt: Ein Großteil des Schneidgases strömt an der schräg zum Überschall-Schneidgasstrom verlaufenden Werkstückoberfläche ab und steht somit dem Schneidprozess nicht mehr zur Verfügung. Ein bei zentrischer Düse erzeugtes statisches Druckniveau ist im Schnittspalt herabgesetzt und es werden die zuvor beschriebenen Druckpulsationen an der Wand des Schnittspaltes erzeugt, die schlechte Schnittergebnisse zur Folge haben.

Durch Erzeugen eines gewollten Versatzes (Exzentrizität) zwischen dem Laserschneidgasstrahl und dem Zentrum des Überschall-Schneidgasstroms lässt sich eine Verschiebung des Schnittspalts in einen strömungstechnisch günstigeren Bereich erzielen. Die Verschiebung des Laserschneidstrahls bzw. des Schnittspalts findet dabei rechtwinklig zur Vorschubrichtung und um einen definierten Wert statt, der vom (in der Regel variablen) Schrägschneidwinkel abhängt. Die auf diese Weise verbesserte Einkopplung des Überschall-Schneidgasstroms in den Schnittspalt hat eine Steigerung des statischen Druckniveaus im Schnittspalt um mehrere Größenordnungen zur Folge. Beispielhafte numerische Strömungsberechnungen ergaben im Vergleich zur bisherigen Verfahrensvariante eine Steigerung um ca. 350%. Eine Erhöhung des statischen Druckniveaus im Schnittspalt hat nachweislich einen verbesserten Schmelzaustrieb zur Folge, was wiederum eine Überhitzung des Schnittspaltes aufgrund des Anstauens von Metallschmelze verhindert. Das so optimierte Austriebsvermögen der Schmelze kann daher direkt in eine Vorschubssteigerung umgewandelt werden. Die maximal erreichten Vorschübe unterscheiden sich hierbei kaum von den blechdickenabhängigen Vorschüben, die beim herkömmlichen Laserstrahlschneiden erreicht werden können. Auch lassen sich an den Schnittkanten auf beiden Seiten Kanten- und Oberflächenqualitäten erzeugen, die mit denjenigen beim senkrechten Laserstrahlschneiden konkurrenzfähig sind.

Die Variation des Schrägschneidwinkels ist hierbei insbesondere beim Schrägschneiden von Rohren erforderlich, da zur Erzeugung einer ebenen Schnittfläche bei

einem 45°-Abschnitt an einem Rohr der Schrägschneidwinkel senkrecht zur Vorschubrichtung z.B. zwischen -45° und 45° variiert werden muss. Bei rechtwinkliger Ausrichtung des Werkstücks (Schrägschneidwinkel 0°) liegt das Hochdruckgebiet auf dem Werkstück hierbei im Zentrum des Überschall-Schneidgasstroms, bei nicht rechtwinkliger Ausrichtung weist die Position des Hochdruckgebiets davon ab und variiert mit dem Schrägschneidwinkel, so dass die Position des Laserstrahls auf dem Werkstück nachgeführt werden muss, um sicherzustellen, dass der Laserstrahl während des Schrägschneidens im Hochdruckgebiet verbleibt.

In einer günstigen Variante wird zum Einstellen der Position des Laserschneidstrahls während des Laserstrahlschneidens der Abstand zwischen der Schneidgasdüse und dem Werkstück bestimmt. Der Abstand zwischen Schneidgasdüse und Werkstück ändert sich in der Regel während des Schrägschneidprozesses mit der Veränderung des Schrägschneidwinkels. Da die Position des Hochdruckgebiets auf dem Werkstück auch vom Abstand zwischen Schneidgasdüse und Werkstück abhängt, ist es günstig, den Abstand während des Schrägschneidprozesses möglichst kontinuierlich zu erfassen und den erfassten Abstand zur Einstellung bzw. Anpassung der Position des Laserschneidstrahls zu nutzen.

In einer Weiterbildung wird zum Bestimmen des Abstands die Kapazität zwischen Schneidgasdüse und Werkstück gemessen, wobei der Einfluss des Schrägschneidwinkels auf die Kapazität bei der Bestimmung des Abstands berücksichtigt wird. Die kapazitive Messung des Abstandes zwischen Werkstück und Schneidgasdüse ist prinzipiell bekannt und kann wie in der EP 0 873 813 B1 oder der EP 1 684 046 A1 der Anmelderin dargestellt erfolgen, welche bezüglich dieses Aspekts durch Bezugnahme zum Inhalt dieser Anmeldung gemacht werden. Bei der Veränderung des Schrägschneidwinkels verändert sich die Ausrichtung der Schneidgasdüse relativ zum Werkstück, was eine Veränderung der elektrischen Feldlinien zwischen Schneidgasdüse und Werkstück und damit einhergehend eine Veränderung der Kapazität auch bei gleichem Abstand zur Folge hat. Die Veränderung der Kapazität mit dem Schrägschneidwinkel muss daher für die Abstandsmessung berücksichtigt werden, um zu einem jeweiligen Schrägschneidwinkel einen jeweils korrekten Abstandswert zu erhalten.

In einer weiteren Variante wird die Position des Laserschneidstrahls in Abhängigkeit vom Abstand a zwischen der Schneidgasdüse und der Werkstückoberfläche sowie dem Durchmesser d der Düsenöffnung bestimmt. Der Abstand e zwischen dem Zentrum des Überschall-Schneidgasstroms und einem parallel zum Überschall-Schneidgasstrom ausgerichteten Laserschneidstrahl, der in seiner idealen Schnittspaltposition in der Mitte des Hochdruckgebietes angeordnet ist, lässt sich in Abhängigkeit der drei Parameter α , a und d wie folgt bestimmen:

$$e = \sin(\alpha) (a + (d / 2) \sin(\alpha)),$$

wie weiter unten im Einzelnen dargestellt wird. Da der momentane Schrägschneidwinkel α , der Düsendurchmesser d sowie der Abstand a (ggf. durch eine Abstandsmessung) der Maschinensteuerung bekannt sind, kann in der Steuerung der Laserbearbeitungsmaschine, an der das Verfahren durchgeführt wird, die Exzentrizität e bestimmt und während des Laserstrahlschrägschneidens geeignet angepasst werden. Insbesondere können hierbei alle benötigten Größen im Maschinencode der numerischen Steuerung („numerical control“) bereits vorgegeben werden. Es versteht sich, dass unter dem Düsendurchmesser nicht notwendiger Weise der Durchmesser einer kreisförmigen Düsenöffnung verstanden wird, sondern dass ggf. auch Schneidgasdüsen mit anderen geometrischen Formen, z.B. mit elliptischer Form der Düsenöffnung eingesetzt werden können. In diesem Fall bezieht sich der Durchmesser der Düsenöffnung auf deren momentane (maximale) Ausdehnung senkrecht zur Vorschubrichtung.

In einer weiteren Variante wird der Laserschneidstrahl in einem Abstand von mehr als 50 %, bevorzugt von mehr als 70 % der Dicke des Werkstücks unterhalb der Werkstückoberseite fokussiert. Die Erfinder haben herausgefunden, dass im Gegensatz zu herkömmlichen Laserschneidprozessen, bei denen der Fokus auf der Werkstückoberfläche oder im oberen Drittel bzw. der oberen Hälfte des Werkstücks fokussiert wird, um einen trichterförmigen Schnittspalt zu erhalten, bei der vorliegenden Anwendung eine Fokussierung in der unteren Hälfte des Werkstücks, ggf. sogar noch unterhalb der Werkstückunterseite günstig ist, um eine hohe Qualität des Laserschneidprozesses zu gewährleisten.

Als Schneidgas kann ein inertes Gas, insbesondere Stickstoff gewählt werden. Der Überschall-Schneidgasstrom wird in der Regel mit inerten Gasen durchgeführt, d.h. ein zusätzlicher Energieeintrag durch reaktive Gase wie z.B. Sauerstoff findet nicht statt. Das Schneidgas steht hierbei unter einem hohen Druck von mehr als 10 bar, typischer Weise ca. 15 bar, ggf. auch von 20 bar oder mehr.

Ein weiterer Aspekt der Erfindung betrifft einen Laserbearbeitungskopf zum Schneiden, insbesondere zum Schrägschneiden eines Werkstücks mittels eines Laserschneidstrahls, umfassend: eine erste Baueinheit zur Umlenkung des Laserschneidstrahls aus einer ersten Richtung in eine zweite, vorzugsweise zur ersten senkrechte Richtung, sowie eine an der ersten Baueinheit befestigte, um die zweite Richtung drehbar gelagerte zweite Baueinheit, die eine Schneidgasdüse zur Erzeugung eines Überschall-Schneidgasstroms aufweist, wobei in der zweiten Baueinheit ein Umlenkspiegel zur Umlenkung des Laserstrahls zur Schneidgasdüse vorgesehen ist, und wobei der Umlenkspiegel in der zweiten Baueinheit drehbar um die zweite Richtung und/oder um die Achsrichtung der Düsenachse gelagert ist, um den Laserschneidstrahl in der Düsenöffnung der Schneidgasdüse exzentrisch zur Düsenachse auszurichten. Die Achse, um welche die zweite Baueinheit gedreht wird, soll hierbei zur Kompensation der Drehung des Umlenkspiegels verwendet werden, wie weiter oben ausführlicher dargestellt. Dadurch erfolgt auch eine Korrektur der Winkelabweichung der Schnittkante.

Der Laserbearbeitungskopf kann zur Fokussierung des Laserschneidgasstrahls eine zwischen dem Umlenkspiegel und der Schneidgasdüse angeordnete Fokussierlinse aufweisen, die auch dem Druckaufbau dient. Alternativ oder zusätzlich kann der Umlenkspiegel als Hohlspiegel ausgeführt sein, der ebenfalls eine Fokussierung ermöglicht. In letzterem Fall kann der Druckaufbau des Schneidgases erzeugt werden, indem ein Druckfenster in der zweiten Baueinheit vorgesehen wird. Alternativ kann der Druckaufbau auch auf andere Weise erfolgen, z.B. indem die Schneidgasdüse als Ringspaldüse ausgebildet wird.

Ein weiterer Aspekt der Erfindung betrifft eine Laserbearbeitungsmaschine insbesondere zum Schrägschneiden eines Werkstücks, umfassend: einen Laserbearbeitungskopf wie oben beschrieben, sowie eine Steuerungseinrichtung zum Aus-

richten des Laserschneidstrahls in der Düsenöffnung der Schneidgasdüse exzentrisch zur Düsenachse durch Verdrehen des Umlenkspiegels um die zweite Richtung und/oder um die Achsrichtung der Düsenachse. Die Laserbearbeitungsmaschine kann hierbei insbesondere ausgelegt sein, Makrobewegungen um mehrere Achsen auszuführen, z.B. Linearbewegungen entlang der X-, Y-, oder Z-Achse, oder Drehbewegungen um eine B-Achse, ggf. auch um eine C-Achse.

In einer Weiterbildung ist die Steuerungseinrichtung ausgelegt, für die exzentrische Ausrichtung den Umlenkspiegel unter einem Drehwinkel aus einer Ruhelage zu verdrehen, bei der die Strahlausfallsrichtung des Laserschneidstrahls koaxial zur Düsenachse verläuft. Die Steuerungseinrichtung ist hierbei zusätzlich ausgelegt, die zweite Baueinheit unter demselben Drehwinkel um die zweite Richtung vermindert zu drehen. Durch eine solche steuerungstechnische Kopplung kann erreicht werden, dass die Steuerung der Achsen zur Makrobewegung des Laserbearbeitungskopfs auf genau dieselbe Weise erfolgen kann als ob der Laserbearbeitungsstrahl stets koaxial zur Düsenachse ausgerichtet wäre.

Die Laserbearbeitungsmaschine umfasst insbesondere eine Bewegungseinrichtung zur Bewegung eines Werkstücks und des Laserschneidstrahls relativ zueinander unter einem insbesondere rechtwinklig zu einer Vorschubrichtung verlaufenden Schrägschneidwinkel, unter dem die Düsenachse der Schneidgasdüse zur Werkstückoberfläche des Werkstücks ausgerichtet ist. Die Laserbearbeitungsmaschine kann insbesondere zum Laserstrahlschneiden von rohrförmigen Werkstücken ausgelegt sein. Es versteht sich aber, dass ggf. auch ein Schrägschneiden an anderen, insbesondere plattenförmigen Werkstücken erfolgen soll, bei denen der Schrägschneidwinkel ggf. während des Laserstrahlschneidens konstant bleibt.

In einer weiteren Ausführungsform ist die Steuerungseinrichtung ausgelegt, die Position des Laserschneidstrahls auf der Werkstückoberfläche so einzustellen, dass der Laserschneidstrahl bei der Relativbewegung in einem innerhalb des Überschall-Schneidgasstroms gebildeten Hochdruckgebiet verbleibt. Dies kann auf die oben im Zusammenhang mit dem Verfahren zum Schrägschneiden dargestellte Weise erfolgen.

In einer Ausführungsform weist die Laserbearbeitungsmaschine eine Abstandsmesseinrichtung zur Abstandsmessung zwischen der Schneidgasdüse und dem Werkstück auf. Die Abstandsmessung kann z.B. optisch oder mechanisch erfolgen. Mit Hilfe der Abstandsmesseinrichtung kann der Abstand so eingestellt werden, dass er einerseits groß genug ist, um das Berühren der Schneidgasdüse an dem Werkstück bzw. an von diesem abstehenden Teilen zu verhindern, und andererseits klein genug, um eine gute Einkopplung des Schneidgasstrahls in das Werkstück zu ermöglichen.

In einer weiteren Ausführungsform ist die Abstandsmesseinrichtung ausgelegt, die Kapazität zwischen der Schneidgasdüse und dem Werkstück zu messen und unter Berücksichtigung des Einflusses des Schrägschneidwinkels auf die Kapazität den Abstand zwischen Schneidgasdüse und Werkstückoberfläche zu bestimmen. Zu diesem Zweck können Kennlinien in der Abstandsmesseinrichtung hinterlegt werden, welche den Zusammenhang zwischen Kapazität und Abstand bei einem jeweiligen Schrägschneidwinkel (z.B. bei 0°, 15°, 30°, 45° etc.) definieren. Die Kennlinien können hierbei durch Kalibrations-Messungen erhalten werden, bei denen der (bekannte) Abstand zwischen Schneidgasdüse und Werkstückoberfläche bei festem Schrägschneidwinkel variiert wird.

Bei einer Ausführungsform ist die Steuerungseinrichtung ausgelegt, die an den Schrägschneidwinkel angepasste Position des Laserschneidstrahls in Abhängigkeit vom Abstand zwischen der Schneidgasdüse und der Werkstückoberfläche sowie dem Durchmesser der Düsenöffnung zu bestimmen. Dies kann auf besonders einfache Weise durch die oben angegebene Formel erfolgen.

Ein weiterer Aspekt der Erfindung betrifft ein Computerprogrammprodukt, welches Codemittel zum Erstellen eines Bearbeitungsprogramms aufweist, das zum Durchführen aller Schritte des oben beschriebenen Verfahrens ausgelegt ist, wenn das Bearbeitungsprogramm auf der Steuerungseinrichtung der Laserbearbeitungsmaschine abläuft. Das Computerprogrammprodukt kann z.B. eine Diskette oder ein anderer Datenträger sein, auf dem ein Programmcode als Codemittel gespeichert ist, der geeignet ist, das Bearbeitungsprogramm anhand von durch einen Benutzer über eine geeignete Bedienoberfläche vorgebbaren Angaben über den gewünschten

Schrägschneidprozess (Art des Werkstücks, Art der Kontur, etc.) zu erstellen. Das Bearbeitungsprogramm kann schon lange vor dem Bearbeiten des Werkstückes erstellt werden und erst unmittelbar vor dem Bearbeiten mittels eines computerlesbaren Mediums oder mittels einer anderen Form der Datenübertragung an die Steuerungseinrichtung übermittelt werden.

Weitere Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der Beschreibung und der Zeichnung. Ebenso können die vorstehend genannten und die noch weiter aufgeführten Merkmale je für sich oder zu mehreren in beliebigen Kombinationen Verwendung finden. Die gezeigten und beschriebenen Ausführungsformen sind nicht als abschließende Aufzählung zu verstehen, sondern haben vielmehr beispielhaften Charakter für die Schilderung der Erfindung.

Es zeigen:

- Fig. 1a,b schematische Darstellungen einer Laserbearbeitungsmaschine mit einem Laserschneidkopf, der zur Fokussierung eines Schneidgasstrahls eine Fokussierlinse bzw. einen Parabolspiegel aufweist,
- Fig. 2 eine schematische Außenansicht des Laserschneidkopfs der Laserbearbeitungsmaschine von Fig. 1a (in Y-Richtung betrachtet),
- Fig. 3a,b schematische Darstellungen (a) eines rohrförmigen Werkstücks mit einem 45°-Abschnitt mit ebener Schnittfläche, sowie (b) die Darstellung eines Laserstrahlschrägschneidprozesses zur Erzeugung eines solchen Abschnitts mittels eines exzentrisch zu einem Überschall-Schneidgasstrom ausgerichteten Laserschneidstrahl,
- Fig. 4a-c schematische Darstellungen der elektrischen Feldstärke zwischen einem Werkstück und einer sensorischen Schneidgasdüse bei einem Schrägschneidwinkel von 0°, 30° bzw. 45°,
- Fig. 5a,b eine schematische Darstellung (a) eines Teilbereiches einer erfindungsgemäßen Laserbearbeitungsmaschine bei der Bearbeitung

eines plattenförmigen Werkstückes, sowie (b) der winkelschiefen Fokussierung des Laserschneidstrahls zur Erzeugung eines lateralen Versatzes zwischen Laserschneidstrahl und Überschall-Schneidgasstrom.

Fig. 1a zeigt einen Teilbereich einer Laserbearbeitungsmaschine 7, welche zur schneidenden Bearbeitung der Werkstückoberfläche 1a eines rohrförmigen Werkstücks 1 mittels eines Laserschneidstrahls 2 ausgelegt ist. In der Laserbearbeitungsmaschine 7 wird der Laserschneidstrahl 2 mittels einer nicht näher beschriebenen Strahlführung auf einen Umlenkspiegel 8 gelenkt und tritt nachfolgend in eine erste Baueinheit 9a eines Laserbearbeitungskopfs 9 ein, in der ein weiterer Umlenkspiegel 10 angeordnet ist. Die Umlenkspiegel 8, 10 können als adaptive Spiegel ausgebildet sein.

An der ersten Baueinheit 9a ist eine zweite Baueinheit 9b des Laserbearbeitungskopfs 9 mittels eines (nicht gezeigten) motorischen Antriebes um eine zweite Richtung (B-Achse) relativ zur ersten Baueinheit 9a drehbar gelagert. Der in der ersten Baueinheit 9a angeordnete Umlenkspiegel 10 bewirkt eine Umlenkung des Laserstrahls 2 aus einer ersten Richtung C in eine zu dieser senkrechte zweite Richtung B. Die erste Baueinheit 9a kann hierbei an der Laserbearbeitungsmaschine 7 drehbar gelagert sein, so dass die erste Baueinheit 9a mittels eines motorischen Antriebs um die erste Richtung (C-Achse) verdreht werden kann; dies ist aber nicht zwingend erforderlich.

In der zweiten Baueinheit 9b ist ein weiterer Umlenkspiegel 12 angeordnet, welcher den Laserstrahl 2 aus der zweiten Richtung B zu einer Fokussierlinse 13 und von dort weiter auf das Werkstück 1 bzw. auf die Werkstückoberfläche 1a umlenkt. Die Fokuslage des Laserstrahls 2 kann hierbei durch den adaptiven Umlenkspiegel 10 in gewissen Grenzen verändert werden, indem dessen Form z.B. mit Hilfe von Piezo-Elementen oder durch Druckbeaufschlagung mit einem Fluid an seiner Rückseite geeignet verändert wird. Als Bewegungseinrichtung zur Bewegung des Werkstücks 1 in der ZY-Ebene weist die Laserbearbeitungsmaschine 7 ein Spannfutter 14 (angedeutet durch einen Pfeil) auf, welches zur Erzeugung einer Drehbewegung des Werkstücks 1 dient, wobei mittels des Spannfutters 14 gleichzeitig auch eine

Bewegung des Werkstücks 1 in X-Richtung erfolgen kann. Es versteht sich, dass ggf. auch der Laserbearbeitungskopf 9 mittels konventioneller Verschiebe- bzw. Dreheinheiten zusätzlich in weiteren Richtungen verschiebbar bzw. verdrehbar sein kann.

Die Ausrichtung der Düsenachse 3a der Schneidgasdüse 3 unter einem Schrägschneidwinkel α zur C-Achse (vgl. Fig. 2) erfolgt durch Verdrehen der zweiten Baueinheit 9b um die B-Achse. Bei der Verdrehung der zweiten Baueinheit 9b relativ zur ersten Baueinheit 9a wird auch der in der zweiten Baueinheit 9b angeordnete Umlenkspiegel 12 mit verdreht, so dass dieser unabhängig vom Schrägschneidwinkel α coaxial zur Düsenachse 3a ausgerichtet bleibt.

Eine exzentrische Ausrichtung bzw. Positionierung des Laserschneidstrahls 2 relativ zur Düsenachse 3a der Schneidgasdüse 3 kann für verschiedene Anwendungen vorteilhaft sein, wie unten näher ausgeführt wird. Um eine solche Ausrichtung in Form eines lateralen Versatzes zwischen dem Laserstrahl 2 und der Düsenachse 3a zu erreichen, kann der Umlenkspiegel 12, z.B. ein wassergekühlter Kupferspiegel, mittels eines numerisch gesteuerten Antriebs in Form eines Servo-Motors 15 (in Fig. 1a gestrichelt angedeutet) zusätzlich um einen Drehwinkel α' um die zweite Richtung B verdreht werden, d.h. der Antrieb 15 bildet eine unabhängige B'-Achse, die coaxial zur bereits vorhandenen B-Achse verläuft. Auf diese Weise kann die exzentrische Ausrichtung bzw. Positionierung des Laserstrahls 2 zur Düsenmitte der Schneidgasdüse 3 von der Einstellung des Schrägschneidwinkels α unabhängig erfolgen. Der Schrägschneidwinkel α entspricht somit einem Drehwinkel B um die B-Achse, der Drehwinkel α' einem Drehwinkel B' um die B'-Achse.

Der in Fign. 1a und 2 gezeigte Laserbearbeitungskopf 9 zeichnet sich durch einen besonders robusten Aufbau auf. Ferner kann bei dem Laserbearbeitungskopf 9, bei dem die Drehachse B der zweiten Baueinheit 9b und die Drehachse B' des Umlenkspiegels 12 coaxial angeordnet sind, auf besonders einfache steuerungstechnische Weise die für Anwendungen wie das Schrägschneiden erforderliche Exzentrizität des Laserstrahls 2 zur Düsenachse 3a mittels der B-Achse auf die beabsichtigte Position des Laserstrahls 2 auf dem Werkstück 1 zurückkorrigiert werden.

Dies kann dadurch erreicht werden, dass eine Steuerungseinrichtung 16, die den Servo-Motor 15 ansteuert, um den Umlenkspiegel 12 um den Drehwinkel α' aus seiner Ruhelage, bei der die Strahlausfallsrichtung des Laserschneidstrahls 2 koaxial zur Düsenachse 3a verläuft, zu verdrehen, gleichzeitig die zweite Baueinheit 9b in entgegen gesetzter Richtung unter demselben Drehwinkel α' um die B-Achse (vermindert) verdreht, so dass der laterale Versatz der Position des fokussierten Laserstrahls 2 auf dem Werkstück 1, der durch die exzentrische Ausrichtung des Laserstrahls 2 in der Schneidgasdüse 3 hervorgerufen wird, ausgeglichen werden kann, damit der angestrebte Tool Center Point (TCP) erreicht wird. Durch diese steuerungstechnische (Zwangs-)kopplung der beiden koaxialen Achsen B und B' kann die Steuerung der Makrobewegung des Laserbearbeitungskopfs 9 und insbesondere die Variation des Schrägschneidwinkels α so erfolgen, als ob der Laserbearbeitungsstrahl 2 stets koaxial zur Düsenachse 3a ausgerichtet wäre.

Es versteht sich, dass alternativ oder zusätzlich zur Möglichkeit, den Umlenkspiegel 12 um die B'-Achse zu verdrehen, der Umlenkspiegel 12 auch um eine zur Düsenachse 3a koaxiale Achse C_{SP} verdreht werden kann, wozu ein weiterer numerisch gesteuerter Antrieb 15' in der zweiten Baueinheit 9b des Laserbearbeitungskopfs 9 vorgesehen werden kann, wie in Fig. 1a dargestellt ist. In jedem Fall kann durch Vorsehen einer Zusatz-Drehachse, welche parallel zur Einfallsrichtung des Laserstrahls 2 auf den Umlenkspiegel 12 (B'-Achse) bzw. parallel zur Ausfallsrichtung des Laserstrahls 2 (C_{SP} -Achse) verläuft, auch bei exzentrischer Ausrichtung des Laserschneidstrahls 2 an der Schneidgasdüse 3 in der Steuerungseinheit 16 eine besonders einfache numerische Steuerung der Position des Laserstrahls 2 auf dem Werkstück 1 erfolgen.

In Fig. 1b ist eine Laserbearbeitungsmaschine 7 gezeigt, die einen Laserbearbeitungskopf 9' aufweist, der sich vom dem in Fig. 1a gezeigten Laserbearbeitungskopf 9 dadurch unterscheidet, dass der plane Umlenkspiegel 12 durch einen Hohlspiegel 12' mit annähernd parabolischer Geometrie ersetzt ist. Der Hohlspiegel 12' dient der Fokussierung des Laserschneidstrahls 2, so dass auf das Vorsehen einer Fokussierlinse in dem Laserbearbeitungskopf 9' verzichtet werden kann. Da die Fokussierlinse zum Druckaufbau des Schneidgases nicht mehr zur Verfügung steht,

ist die Schneidgasdüse 3' als Ringspaltdüse ausgebildet, die den Druckaufbau ermöglicht, indem dieser das Schneidgas zugeführt wird. Es versteht sich, dass der Druckaufbau in dem Laserbearbeitungskopf 9' auch auf andere Weise erfolgen kann, z.B. durch Vorsehen eines Druckfensters in der zweiten Baueinheit 9b, das als transmissives optisches Element, insbesondere in Form einer Planplatte ausgebildet sein kann. Die Erzeugung der Exzentrizität mittels der Fokussierlinse 13 unterscheidet sich bei den hier verwendeten Drehwinkeln α' von typischer Weise weniger als 1° , insbesondere von weniger als $0,5^\circ$ im Ergebnis nur unwesentlich von der Fokussierung mit Hilfe des Hohlspiegels 12'. Die Drehwinkel α' dürfen nicht zu groß gewählt werden, da ansonsten der Laserschneidstrahl 2 auf den Innenrand der Düsenöffnung der Schneidgasdüse 3 auftreffen würde.

Nachfolgend wird ein Schrägschneidprozess als eine mögliche Anwendung für den in Fig. 1a,b und 2 gezeigten Laserbearbeitungskopf 9, 9' bzw. die Laserbearbeitungsmaschine 7 detailliert beschrieben. Es versteht sich, dass der Laserbearbeitungskopf 9, 9' sich auch bei anderen Anwendungen vorteilhaft einsetzen lässt, z.B. für das Schnellschneiden, bei dem ein Anstellen des Laserschneidstrahls in Vorschubrichtung erfolgt.

Fig. 3a zeigt das rohrförmige Werkstück 1 von Fig. 1a,b, an dem ein 45° -Abschnitt mit einer ebenen Schnittfläche 1b gebildet ist, welche mit einem weiteren (nicht gezeigten) rohrförmigen Werkstück mit ebener Schnittfläche unter Bildung eines 90° -Winkels entlang einer die Schnittflächen verbindenden dünnen Schweißnaht verschweißt werden kann. Um die ebene Schnittfläche 1b zu erzeugen, ist es erforderlich, an dem rohrförmigen Werkstück 1 einen Schrägschneidprozess durchzuführen, bei dem der Schrägschneidwinkel α (vgl. Fig. 2) im Bereich zwischen -45° und 45° variiert wird, da bei einem herkömmlichen Schneidprozess mit konstantem Schrägschneidwinkel α eine verwundene Schnittfläche an dem Werkstück 1 entstehen würde.

Fig. 3b zeigt eine Momentaufnahme eines solchen Laserstrahl-Schrägschneidprozesses an dem rohrförmigen Werkstück 1 bei einem Schrägschneidwinkel α von ca. -20° , bei dem der Laserschneidstrahl 2 mit seiner Strahlachse 2a bezüglich der Flächennormalen auf die Werkstückoberfläche 1a ausgerichtet ist. Parallel zum

Laserschneidstrahl 2 ist die Düsenachse 3a einer Schneidgasdüse 3 ausgerichtet, aus der ein Überschall-Schneidgasstrom 4 austritt und auf die Werkstückoberfläche 1a gerichtet wird. Der Überschall-Schneidgasstrom 4 bildet hierbei einen Hochdruckbereich 5 an der Werkstückoberfläche 1a aus, der zur Düsenachse 3a der Schneidgasdüse 3 versetzt ist und dessen Lage bezüglich der Düsenachse 3a neben dem Schrägschneidwinkel α auch vom Durchmesser d der Schneidgasdüse 3 und dem Abstand a zwischen dem Rand der Düsenöffnung 3b der Schneidgasdüse 3 und der Werkstückoberfläche 1a abhängt.

Um den Laserschneidstrahl 2 im Hochdruckbereich 5 auf der Werkstückoberfläche 1a zu positionieren, wird die Strahlachse 2a des Laserschneidstrahls 2 und damit auch die Schnittfuge 1c bei dem Laserstrahlschrägschneidprozess um einen Abstand (Exzentrizität) e zur Düsenachse 3a versetzt. Zur Bestimmung der Exzentrizität e in Abhängigkeit von den Parametern α , d und a wird im Folgenden ein einfaches geometrisches Modell verwendet, welches auf dem Impulserhaltungssatz basiert: Der höchste Druck und damit die Mitte des Hochdruckgebiets 5 befinden sich dort, wo die Atome des Überschall-Schneidgasstroms 4 im Wesentlichen senkrecht auf die Werkstückoberfläche 1a auftreffen. Geht man davon aus, dass die Gasmoleküle annähernd konzentrisch aus der Düsenöffnung 3b austreten, so ist diese Position P festgelegt durch denjenigen Punkt auf der Werkstückoberfläche 1a, welcher direkt unterhalb des Mittelpunkts M der Düsenöffnung 3b und um eine Länge L von diesem beabstandet auf der Werkstückoberfläche 1a liegt.

Wie aus Fig. 3b unmittelbar zu ersehen ist, gilt: $e = L \sin(\alpha)$. Wie aus Fig. 3b ebenfalls direkt abgelesen werden kann, gilt für die Länge $L = a + d / 2 \sin(\alpha)$. Somit ergibt sich insgesamt für die Exzentrizität zwischen Strahlachse 2a des Laserschneidstrahls 2 und der Düsenachse 3a der Laserbearbeitungsdüse 3 der folgende Zusammenhang:

$$e = \sin(\alpha) (a + (d / 2) \sin(\alpha)).$$

Aus obiger Formel kann bei gegebenem, während des gesamten Schrägschneidens konstantem Düsendurchmesser d sowie dem vorgebbaren, variablen Abstand a zwischen Schneidgasdüse 3 und Werkstückoberfläche 1a und dem Schrägschneid-

winkel α die Exzentrizität e bestimmt werden, die eingestellt werden muss, damit der Laserschneidstrahl 2 im Hochdruckgebiet 5 verbleibt, wenn das rohrförmige Werkstück 1 unter Variation des Schrägschneidwinkels α entlang einer Vorschubrichtung Y eines XYZ-Koordinatensystems gedreht wird, wie in Fig. 3b durch einen Pfeil angedeutet ist. Ein solcher Vorschub ist notwendig, damit an dem rohrförmigen Werkstück 1 der in Fig. 3a gezeigte, 45°-Abschnitt erzeugt werden kann. Bei der Variation des Schrägschneidwinkels α in X-Richtung, d.h. rechtwinklig zur Vorschubrichtung Y in einem Bereich zwischen -45° und 45° muss die Position P des Laserschneidstrahls 2 entsprechend nachgeführt werden, damit der Laserschneidstrahl 2 im Hochdruckbereich 5 verbleibt.

Hierzu ist es günstig, den Abstand a zwischen der Scheidgasdüse 3 und dem Werkstück 1 während des Schrägschneidprozesses zu überwachen und ggf. zu regeln. Zu diesem Zweck kann wie in Fig. 4a-c gezeigt eine kapazitive Abstandsmesseinrichtung 6 vorgesehen sein, welche wie in der eingangs zitierten EP 1 684 046 A1 oder der EP 0 873 813 B1 ausgebildet sein kann, und deren Funktionsweise hier nicht im Einzelnen beschrieben wird. Die Abstandsmesseinrichtung 6 erzeugt eine Potentialdifferenz zwischen dem metallischen Düsenkörper der Schneidgasdüse 3 und dem ebenfalls metallischen Werkstück 1, so dass sich zwischen beiden ein elektrisches Feld E ausbildet, dessen Feldlinien in Fig. 4a-c für Schrägschneidwinkel α von 0° , 30° und 45° gezeigt sind.

In Abhängigkeit von der Kapazität, die zwischen der Schneidgasdüse 3 und dem metallischen Werkstück 1 gemessen wird, verändert sich die Lage der Feldlinien E und somit die Kapazität zwischen Werkstück 1 und Schneidgasdüse 3. Um den Zusammenhang zwischen Kapazität und Abstand a bei gegebenem Schrägschneidwinkel α zu ermitteln, kann z.B. bei den drei in Fig. 4a-c gezeigten Schrägschneidwinkeln α jeweils eine Kapazitätsmessung bei variablem, bekanntem Abstand vorgenommen werden, um Kennlinien für den Abstand in Abhängigkeit von der Kapazität bei konstantem Schrägschneidwinkel zu erhalten. Für die Abstandsmessung bei Schrägschneidwinkeln α , für die keine solche Kennlinie bestimmt wurde, kann zwischen den bekannten Kennlinien interpoliert werden. Der kapazitiv gemessene Abstand a' wird hierbei zwischen der Außenkante der Schneidgasdüse 3 und dem Werkstück 1 bestimmt, wohingegen der in Fig. 1b gezeigte Abstand a

zwischen der Kante der Düsenöffnung 3b und dem Werkstück 1 definiert ist. Es versteht sich, dass bei bekannter Düsengeometrie der Schneidgasdüse 3 in der Abstandsmesseinrichtung 6 eine Umrechnung des kapazitiv gemessenen Abstands a' in den Abstand a zwischen der Kante der Düsenöffnung 3a und dem Werkstück 1 erfolgen kann, um letzteren in die oben angegebene Formel einzusetzen.

Wie in Fig. 4a-c ebenfalls zu erkennen ist, wird die Strahlachse 2a des Laserschneidstrahls 2 bei den unterschiedlichen Schrägschneidwinkeln α in unterschiedlichem Abstand e zur Düsenachse 3a ausgerichtet, um den Schneidgasstrahl 2 im Hochdruckgebiet 5 zu halten. Weiterhin wird der Laserschneidstrahl 2 nicht auf der Werkstückoberfläche 1a fokussiert, sondern darunter, und zwar in einem Abstand von mehr als 50% der Dicke d des Werkstücks 1 von dessen Werkstückoberseite 1a. Durch eine solche Fokussierung kann die Qualität der Schnittkanten beim Schrägschneiden zusätzlich gesteigert werden. Die Fokussierung kann hierbei auch in einem Abstand von mehr als 70 % der Dicke des Werkstücks 1 von der Werkstückoberseite 1a erfolgen; abhängig von den Prozessbedingungen kann der Laserschneidstrahl 2 auch unterhalb der Unterseite des Werkstücks 1 fokussiert werden.

Die in Fig. 1a,b gezeigte Steuerungseinrichtung 16 dient hierbei der Ansteuerung der Achsen B' bzw. C_{SP} derart, dass der Laserschneidgasstrahl 2 in der X-Richtung im gewünschten Abstand zum (in Fig. 1a,b nicht gezeigten) Überschall-Schneidgasstrahl 4 ausgerichtet ist. Die oben angegebene Formel für die Exzentrizität e kann hierbei in der Maschinensteuerung der Laserbearbeitungsmaschine 1 hinterlegt werden, so dass die Steuerungseinrichtung 16 die optimale Exzentrizität selbst berechnen kann.

Es versteht sich, dass die Laserbearbeitungsmaschine 7 von Fig. 1a,b auch zum Schrägschneiden eines plattenförmigen Werkstücks 1 ausgelegt sein kann, wie in Fig. 5a dargestellt ist, bei der die Vorschubrichtung in X-Richtung verläuft. Auch in diesem Fall kann die Exzentrizität e zwischen Laserstrahlachse 2 und Düsenachse 3a auf die oben beschriebene oder ggf. auch auf andere Weise eingestellt werden. Insbesondere beim in Fig. 5a gezeigten Schneiden von plattenförmigen Werkstücken muss der Schrägschneidwinkel nicht zwingend während des Laserstrahlschneidens variiert werden. Vielmehr kann der Schrägschneidwinkel auch einen konstanten Wert

annehmen, so dass eine plane, schräge Schnittkante an dem Werkstück 1 gebildet wird. Bei der Verbindung zweier solcher plattenförmiger Werkstücke unter einem Winkel von z.B. 90° entlang zweier schräger Schnittkanten liegen diese flächig aneinander an, so dass die zwei plattenförmigen Werkstücke leichter miteinander verschweißt werden können. Es versteht sich, dass auch an plattenförmigen Werkstücken kompliziertere geometrische Formen geschnitten werden können, die eine Veränderung des Schrägschneidwinkels während des Laserstrahlschneidens erfordern.

Es versteht sich weiterhin, dass zur Erzeugung eines Versatzes zwischen der Strahlachse 2a des Laserschneidstrahls 2 und dem Überschall-Schneidgasstrom 4 bzw. der Düsenachse 3a auch andere Möglichkeiten bestehen als oben beschrieben, z.B. kann auch durch Verschieben oder Verkippen eines optischen Elements, z.B. der Umlenkspiegel 12a, 12b die gewünschte Exzentrizität e bezogen auf die Düsenmitte erzeugt werden. Es versteht sich, dass bei dem Schrägschneidprozess die Laserstrahlachse 2a nicht zwingend parallel zur Düsenachse 3a ausgerichtet ist. Daher ist es möglich, die Exzentrizität e auf der Werkstückoberfläche 1a durch Drehen des Hohlspiegels 12' oder durch winkelschiefes Fokussieren an der Fokussierlinse 13 zu erzeugen, wie im Folgenden anhand von Fig. 5b dargestellt wird.

Zur winkelschiefen Fokussierung kann der Umlenkspiegel 12 mittels eines der in Fig. 1a,b gezeigten Drehantriebe 15, 15' verdreht werden, so dass der Laserschneidstrahl 2 nicht senkrecht, sondern unter einem Winkel α' bezüglich der Düsenachse auf die Fokussierlinse 13 auftrifft und dabei mit seiner Laserstrahlachse 2a bezüglich der optischen Achse 13a der Fokussierlinse 13 um einen Abstand e_L in X-Richtung versetzt auftrifft. Der zur Erzeugung einer gewünschten Exzentrizität e auf dem Werkstück 1 erforderliche Kippwinkel α' lässt sich hierbei durch einfache geometrische Überlegungen bestimmen. Es versteht sich, dass zur winkelschiefen Fokussierung nicht zwingend die Erzeugung eines Abstands e_L zwischen der optischen Achse 13a der Fokussierlinse 13 und der Laserstrahlachse 2a erforderlich ist, sondern dass die Laserstrahlachse 2a idealer Weise die Fokussierlinse 13 zentrisch an deren optischen Achse 13a schneidet.

Um geeignete Prozessbedingungen für den Schrägschneidprozess zu erhalten, wird als Schneidgas ein inertes Gas, z.B. Stickstoff, verwendet, das sich unter einem hohen Schneidgasdruck von typischer Weise mehr als 10 bar in einem (nicht gezeigten) Druckraum des Laserschneidkopfs 9 befindet, der sich an die Schneidgasdüse 3 anschließt, oder der Ringspaldüse 3' des Laserbearbeitungskopfs 9' zugeführt wird. Ferner sollte der Abstand zwischen der Schneidgasdüse 3, 3' und der Werkstückoberfläche 1a möglichst gering gewählt werden, um optimale Schneidergebnisse zu erhalten. Auch ist es für das Schrägschneiden bei großen Schrägschneidwinkeln von z.B. 45° günstig, wenn der (Innen-)Durchmesser der Schneidgasdüse 3 groß gewählt wird, z.B. 2 mm oder mehr, wobei nicht zwingend ein runder Düsenquerschnitt gewählt werden muss.

Der oben beschriebene grundsätzliche Prozess zum Laserstrahlschrägschneiden ist vom bearbeiteten Material sowie von dessen Dicke weitgehend unabhängig und kann insbesondere zum Schneiden von Edelstahl, Baustahl oder Aluminium eingesetzt werden. Es versteht sich, dass der Schrägschneidprozess nicht auf das Trennschneiden von rohrartigen Werkstücken beschränkt ist, vielmehr können auf die oben beschriebene Weise mittels des Laserschneidstrahls beliebige Konturen z.B. auch an plattenförmigen Werkstücken geschnitten werden. In jedem Fall können sowohl eine hohe Qualität der beim Trennschnitt erzeugten Schnittkanten als auch Vorschubgeschwindigkeiten erreicht werden, die denen beim senkrechten Laserstrahlschneiden bezogen auf die effektive Schnitttiefe vergleichbar sind.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Ausrichten eines fokussierten Laserschneidstrahls (2) exzentrisch zur Düsenachse (3a) einer Schneidgasdüse (3), umfassend:
Verdrehen eines im Strahlengang des Laserschneidstrahls (2) vor der Schneidgasdüse (3) angeordneten Umlenkspiegels (12, 12') um eine zur Düsenachse (3a) koaxiale Richtung (C_{SP}) und/oder um eine zur Düsenachse (3a) senkrechte, der Strahleinfallsrichtung des Laserstrahls (2) auf den Umlenkspiegel (12, 12') entsprechende Richtung (B').
2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem zum exzentrischen Ausrichten der Umlenkspiegel (12, 12') unter einem Drehwinkel (α') aus einer Ruhelage, bei der die Strahlausfallsrichtung des Laserschneidstrahls (2) koaxial zur Düsenachse (3a) verläuft, verdreht wird, wobei gleichzeitig der Umlenkspiegel (12, 12') gemeinsam mit der Schneidgasdüse (3) unter demselben Drehwinkel (α') um die der Strahleinfallsrichtung entsprechende Richtung (B) vermindert gedreht wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, bei dem der Laserschneidstrahl (2) an einem zwischen dem Umlenkspiegel (12) und der Schneidgasdüse (3) angeordneten Linsenelement (13) fokussiert wird.
4. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, bei dem der Laserschneidstrahl (2) an dem als Hohlspiegel ausgebildeten Umlenkspiegel (12') fokussiert wird.
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem ein Überschall-Schneidgasstrom (4) an der Schneidgasdüse (3) mittels eines Linsenelements (13) und/oder mittels eines Druckfensters erzeugt wird.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, bei dem an der als Ringspaltdüse ausgebildeten Schneidgasdüse (3') ein Überschall-Schneidgasstrom (4) erzeugt

wird.

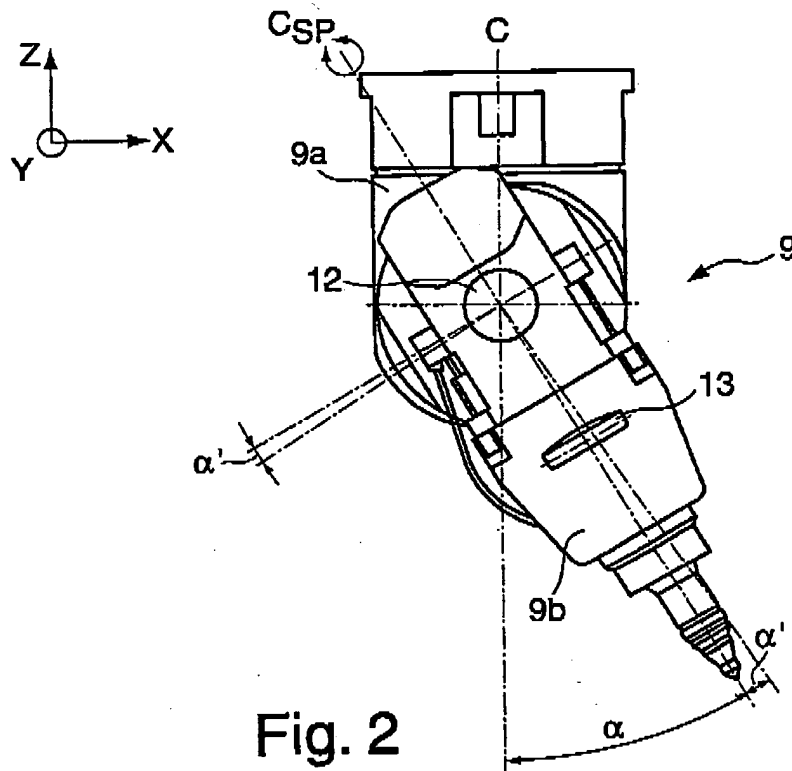
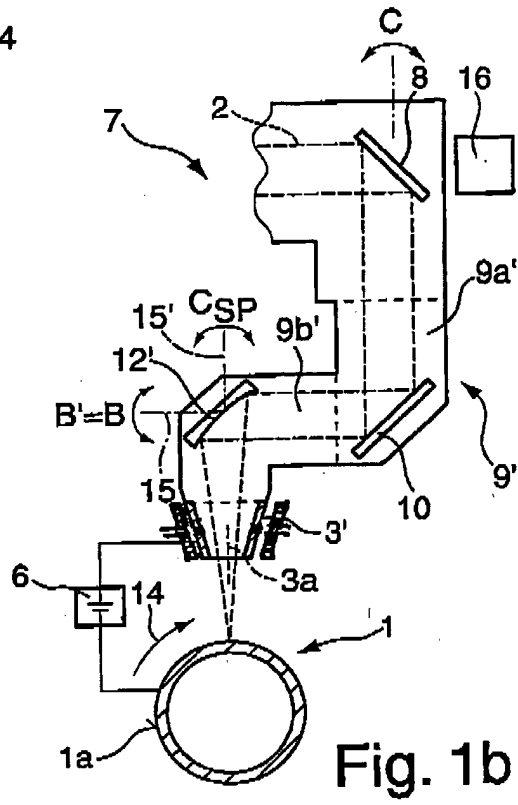
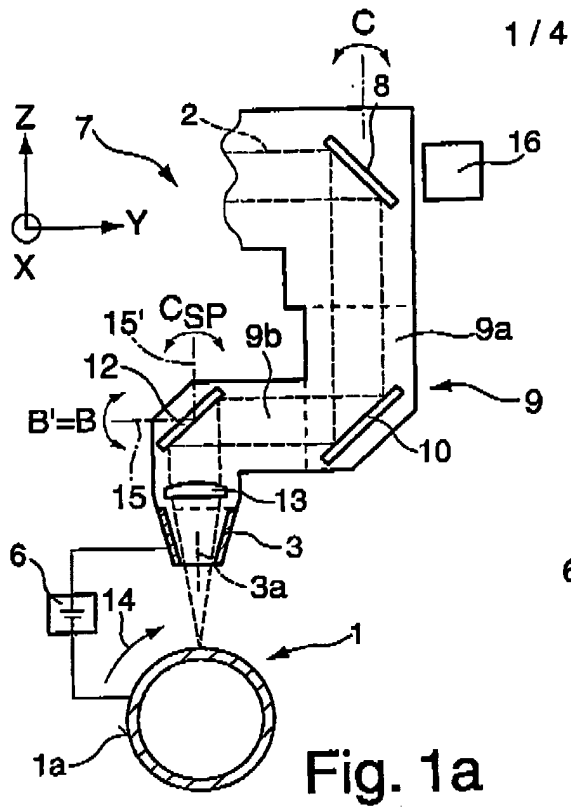
7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die Schneidgasdüse (3, 3') und der Umlenkspiegel (12, 12') in einer zweiten Baueinheit (9b, 9b') eines Laserbearbeitungskopfs (9, 9') angeordnet werden, die um die der Strahleinfallsrichtung entsprechende Richtung (B) relativ zur einer ersten Baueinheit (9a, 9a') verdrehbar gelagert ist.
8. Verfahren zum Laserstrahlschrägschneiden eines Werkstücks (1), bei dem ein aus einer Schneidgasdüse (3) austretender Überschall-Schneidgasstrom (4) unter einem Schrägschneidwinkel (α) zur Werkstückoberfläche (1a) ausgerichtet wird, wobei das Werkstück (1) und der Laserschneidstrahl (2) beim Laserstrahlschrägschneiden relativ zueinander bewegt werden, wobei der Schrägschneidwinkel (α) rechtwinklig zu einer Vorschubrichtung (Y) verläuft, und wobei während der Relativbewegung die Position (P) des Laserschneidstrahls (2) auf der Werkstückoberfläche (1a) mittels des Verfahrens zum exzentrischen Ausrichten des Laserschneidstrahls (2) nach einem der Ansprüche 1 bis 7 eingestellt wird, so dass der Laserschneidstrahl (2) in einem innerhalb des Überschall-Schneidgasstroms (4) gebildeten Hochdruckbereich (5) auf die Werkstückoberfläche (1a) auftrifft.
9. Verfahren nach Anspruch 8, bei dem zum Einstellen der Position (P) des Laserschneidstrahls (2) der Abstand (a) zwischen der Schneidgasdüse (3) und dem Werkstück (1) während des Laserstrahlschrägschneidens bestimmt wird.
10. Verfahren nach Anspruch 9, bei dem zum Bestimmen des Abstands (a) die Kapazität zwischen Schneidgasdüse (3) und Werkstück (1) gemessen wird, wobei der Einfluss des Schrägschneidwinkels (α) auf die Kapazität bei der Bestimmung des Abstands (a) berücksichtigt wird.
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 oder 10, bei dem die Position (P) des Laserschneidstrahls (2) in Abhängigkeit vom Abstand (a) zwischen der Schneidgasdüse (3) und der Werkstückoberfläche (1a) sowie dem Durchmesser (d) der Düsenöffnung (3b) bestimmt wird.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 11, bei dem der Laserschneidstrahl (2) in einem Abstand von mehr als 50 %, bevorzugt von mehr als 70 % der Dicke (D) des Werkstücks (1) unterhalb der Werkstückoberseite (1a) fokussiert wird.
13. Laserbearbeitungskopf (9, 9') zum Schneiden, insbesondere zum Schrägschneiden eines Werkstücks (1) mittels eines Laserschneidstrahls (2), umfassend:
eine erste Baueinheit (9a, 9a') zur Umlenkung des Laserschneidstrahls (2) aus einer ersten Richtung (C) in eine zweite, vorzugsweise zur ersten senkrechte Richtung (B),
sowie eine an der ersten Baueinheit (9a, 9a') befestigte, um die zweite Richtung (B) drehbar gelagerte zweite Baueinheit (9b, 9b'), die eine Schneidgasdüse (3, 3') zur Erzeugung eines Überschall-Schneidgasstroms aufweist,
wobei in der zweiten Baueinheit (9b, 9b') ein Umlenkspiegel (12, 12') zur Umlenkung des Laserstrahls (2) zur Schneidgasdüse (3, 3') vorgesehen ist,
wobei der Umlenkspiegel (12, 12') in der zweiten Baueinheit (9b, 9b') drehbar um die zweite Richtung (B) und/oder um die Achsrichtung (C_{SP}) der Düsenachse (3a) gelagert ist, um den Laserschneidstrahl (2) in der Düsenöffnung (3b) der Schneidgasdüse (3) exzentrisch zur Düsenachse (3a) auszurichten.
14. Laserbearbeitungskopf nach Anspruch 13, bei dem in der zweiten Baueinheit (9b, 9b') zwischen dem Umlenkspiegel (12, 12') und der Schneidgasdüse (3, 3') eine Fokussierlinse (13) angeordnet ist.
15. Laserbearbeitungskopf nach Anspruch 13 oder 14, bei dem der Umlenkspiegel (12') als Hohlspiegel ausgebildet ist.
16. Laserbearbeitungskopf nach Anspruch 15, bei dem die Schneidgasdüse (3') als Ringspaltdüse ausgebildet ist.
17. Laserbearbeitungsmaschine (7), insbesondere zum Schrägschneiden eines Werkstücks (1), umfassend:
einen Laserbearbeitungskopf (9, 9') nach einem der Ansprüche 13 bis 16, sowie

eine Steuerungseinrichtung (16) zum Ausrichten des Laserschneidstrahls (2) in der Düsenöffnung (3b) der Schneidgasdüse (3) exzentrisch zur Düsenachse (3a) durch Verdrehen des Umlenkspiegels (12, 12') um die zweite Richtung (B) und/oder um die Achsrichtung (C_{SP}) der Düsenachse (3a).

18. Laserbearbeitungsmaschine nach Anspruch 17, bei der die Steuerungseinrichtung (16) ausgelegt ist, für die exzentrische Ausrichtung den Umlenkspiegel (12, 12') unter einem Drehwinkel (α') aus einer Ruhelage, bei der die Strahlausfallsrichtung des Laserschneidstrahls (2) coaxial zur Düsenachse (3a) verläuft, zu verdrehen, und die zweite Baueinheit (9b, 9b') synchron unter demselben Drehwinkel (α') um die zweite Richtung (B) vermindert zu drehen.
19. Laserbearbeitungsmaschine nach Anspruch 17 oder 18, weiter umfassend eine Bewegungseinrichtung (11a, 14) zur Bewegung eines Werkstücks (1) und des Laserschneidstrahls (2) relativ zueinander unter einem insbesondere rechtwinklig zu einer Vorschubrichtung (Y) verlaufenden Schrägschneidwinkel (α), unter dem die Düsenachse (3a) der Schneidgasdüse (3) zur Werkstückoberfläche (1a) des Werkstücks (1) ausgerichtet ist.
20. Laserbearbeitungsmaschine nach Anspruch 19, bei der die Steuerungseinrichtung (16), ausgelegt ist, die Position (P) des Laserschneidstrahls (2) auf der Werkstückoberfläche (1a) so einzustellen, dass der Laserschneidstrahl (2) bei der Relativbewegung in einem innerhalb des Überschall-Schneidgasstroms (4) gebildeten Hochdruckgebiet (5) verbleibt.
21. Laserbearbeitungsmaschine nach einem der Ansprüche 17 bis 20, weiter umfassend eine Abstandsmesseinrichtung (6) zur Abstandsmessung zwischen der Schneidgasdüse (3) und dem Werkstück (1).
22. Laserbearbeitungsmaschine nach Anspruch 21, bei der die Abstandsmesseinrichtung (6) ausgelegt ist, die Kapazität zwischen der Schneidgasdüse (3) und dem Werkstück (1) zu messen und unter Berücksichtigung des Einflusses des Schrägschneidwinkels (α) auf die Kapazität den Abstand (a) zu bestimmen.

23. Laserbearbeitungsmaschine nach einem der Ansprüche 21 oder 22, bei der die Steuerungseinrichtung (16) ausgelegt ist, die Position (P) des Laserschneidstrahls (2) in Abhängigkeit vom Abstand (a) zwischen der Schneidgasdüse (3) und der Werkstückoberfläche (1a) sowie dem Durchmesser (d) der Düsenöffnung (3b) zu bestimmen.
24. Computerprogrammprodukt, welches Codemittel zum Erstellen eines Bearbeitungsprogramms aufweist, das zum Durchführen aller Schritte des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 12 angepasst ist, wenn das Bearbeitungsprogramm auf der Steuerungseinrichtung (16) der Laserbearbeitungsmaschine (7) nach einem der Ansprüche 17 bis 23 abläuft.



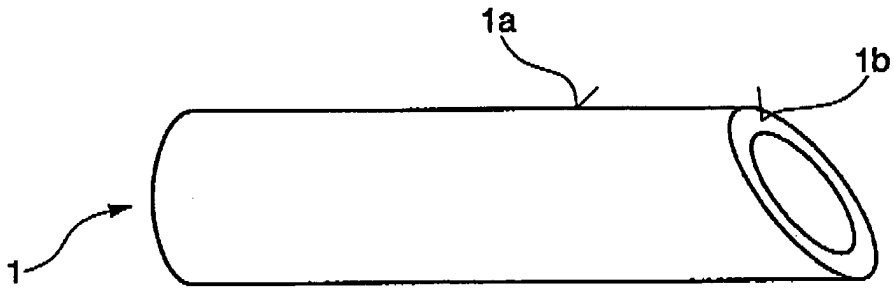


Fig. 3a

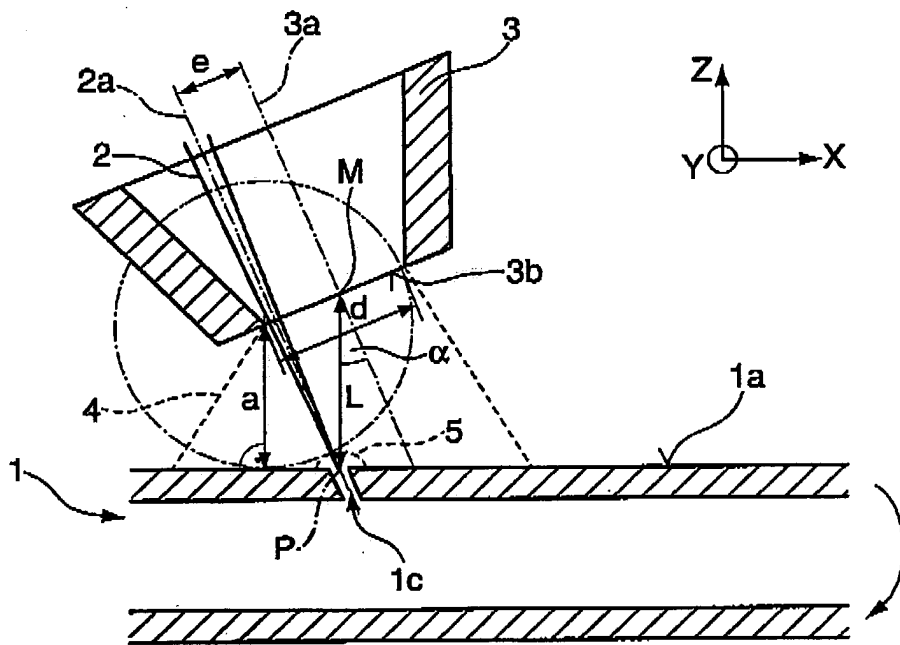


Fig. 3b

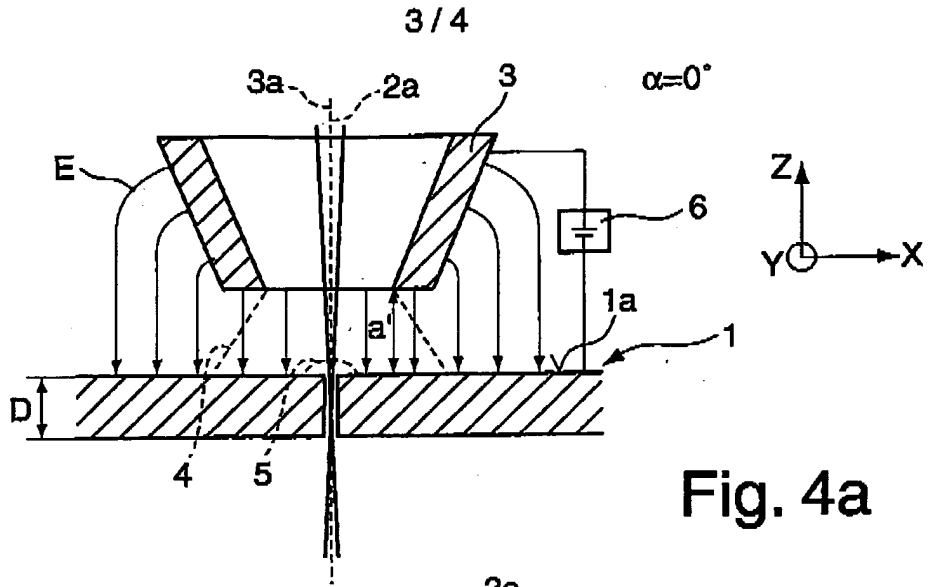


Fig. 4a

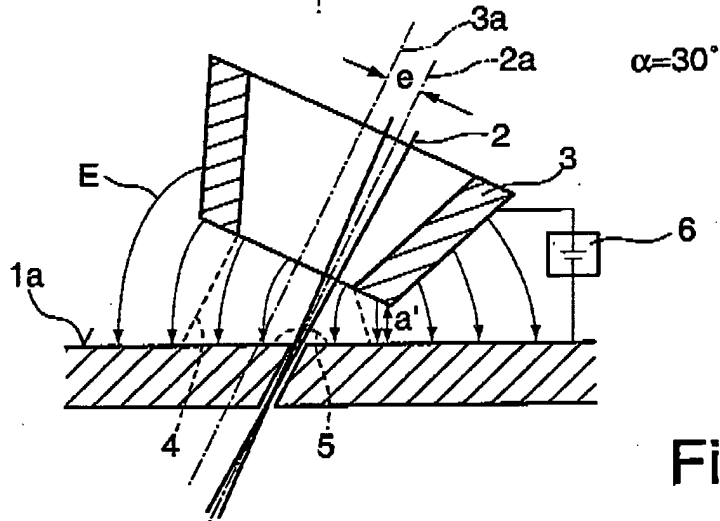


Fig. 4b

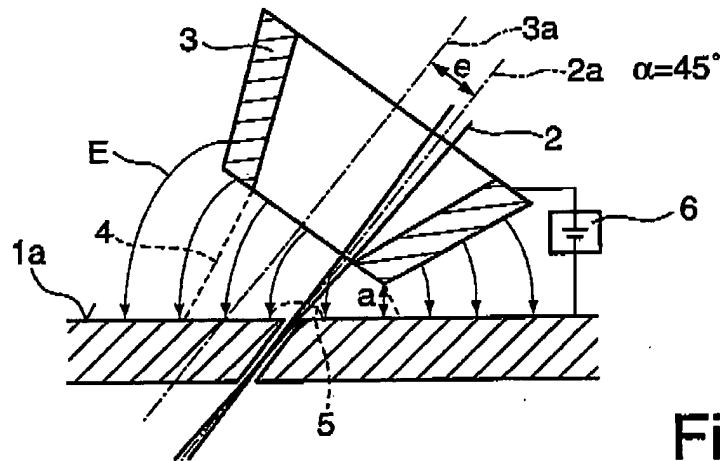


Fig. 4c

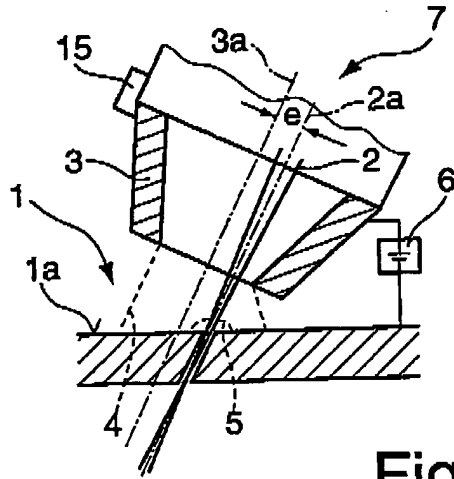


Fig. 5a

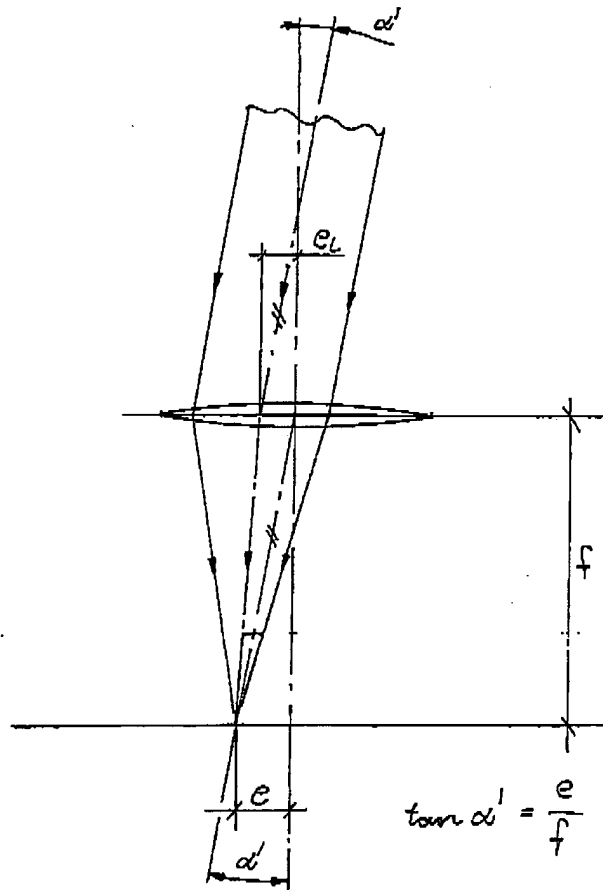


Fig. 5b

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/DE2009/000891

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER INV. B23K26/14 B23K26/04 B23K26/03		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) B23K		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used) EPO-Internal, WPI Data		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 02 092485 A (HONDA MOTOR CO LTD) 3 April 1990 (1990-04-03)	13,14,16
Y	abstract; figure	1-3, 5-12, 17-24
Y	JP 05 057470 A (FANUC LTD) 9 March 1993 (1993-03-09)	1-3, 5-12, 17-24
Y	abstract; figures 1,3,4a paragraphs [0009], [0015]	
Y	US 6 423 928 B1 (B.P. PIWCZYK) 23 July 2002 (2002-07-23) column 4, lines 46-65 column 5, line 39 - column 6, line 16; figures 1-3	5-11
-/--		
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents :		
A document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance *E* earlier document but published on or after the international filing date *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed		*T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art. *&* document member of the same patent family
Date of the actual completion of the international search 27 Oktober 2009		Date of mailing of the international search report 09/11/2009
Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Authorized officer Jeggy, Thierry

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/DE2009/000891

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	EP 1 684 046 A (TRUMPF WERKZEUGMASCHINEN GMBH + CO. KG) 26 July 2006 (2006-07-26) cited in the application abstract; claims; figures -----	9-12, 21-23
A	JP 06 039571 A (HITACHI CONSTRUCTION MACHINERY) 15 February 1994 (1994-02-15) abstract; figures -----	1,8,13, 17,24

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No PCT/DE2009/000891

Patent document cited in search report	Publication date	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
JP 2092485	A	03-04-1990	NONE	
JP 5057470	A	09-03-1993	NONE	
US 6423928	B1	23-07-2002	CN 1398211 A EP 1330332 A1 HK 1053279 A1 JP 2004510588 T WO 0230612 A1	19-02-2003 30-07-2003 31-03-2006 08-04-2004 18-04-2002
EP 1684046	A	26-07-2006	AT 399304 T ES 2307079 T3	15-07-2008 16-11-2008
JP 6039571	A	15-02-1994	JP 3157294 B2	16-04-2001

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE2009/000891

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
 INV. B23K26/14 B23K26/04 B23K26/03

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchiertes Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
 B23K

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	JP 02 092485 A (HONDA MOTOR CO LTD) 3. April 1990 (1990-04-03)	13,14,16
Y	Zusammenfassung; Abbildung	1-3, 5-12, 17-24
Y	JP 05 057470 A (FANUC LTD) 9. März 1993 (1993-03-09)	1-3, 5-12, 17-24
Y	Zusammenfassung; Abbildungen 1,3,4a Absätze [0009], [0015]	
Y	US 6 423 928 B1 (B.P. PIWCZYK) 23. Juli 2002 (2002-07-23) Spalte 4, Zeilen 46-65 Spalte 5, Zeile 39 - Spalte 6, Zeile 16; Abbildungen 1-3	5-11
	----- -/--	

Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen Siehe Anhang Patentfamilie

- * Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :
- *A* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
- *E* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
- *L* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
- *O* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
- *P* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist
- *T* Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist
- *X* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden
- *Y* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist
- *&* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche	Absenddatum des internationalen Recherchenberichts
27. Oktober 2009	09/11/2009

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5618 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Bevollmächtigter Bediensteter Jeggy, Thierry
--	---

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	EP 1 684 046 A (TRUMPF WERKZEUGMASCHINEN GMBH + CO. KG) 26. Juli 2006 (2006-07-26) in der Anmeldung erwähnt Zusammenfassung; Ansprüche; Abbildungen -----	9-12, 21-23
A	JP 06 039571 A (HITACHI CONSTRUCTION MACHINERY) 15. Februar 1994 (1994-02-15) Zusammenfassung; Abbildungen -----	1,8,13, 17,24

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE2009/000891

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
JP 2092485	A	03-04-1990	KEINE		
JP 5057470	A	09-03-1993	KEINE		
US 6423928	B1	23-07-2002	CN	1398211 A	19-02-2003
			EP	1330332 A1	30-07-2003
			HK	1053279 A1	31-03-2006
			JP	2004510588 T	08-04-2004
			WO	0230612 A1	18-04-2002
EP 1684046	A	26-07-2006	AT	399304 T	15-07-2008
			ES	2307079 T3	16-11-2008
JP 6039571	A	15-02-1994	JP	3157294 B2	16-04-2001