



(10) **DE 10 2012 217 082 B4** 2016.06.16

(12) **Patentschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2012 217 082.0**  
(22) Anmeldetag: **21.09.2012**  
(43) Offenlegungstag: **27.03.2014**  
(45) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: **16.06.2016**

(51) Int Cl.: **B23K 26/14 (2006.01)**

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(62) Teilung in:  
**10 2012 025 627.2**

(73) Patentinhaber:  
**TRUMPF Laser GmbH, 78713 Schramberg, DE**

(74) Vertreter:  
**Kohler Schmid Möbus Patentanwälte  
Partnerschaftsgesellschaft mbB, 70565 Stuttgart,  
DE**

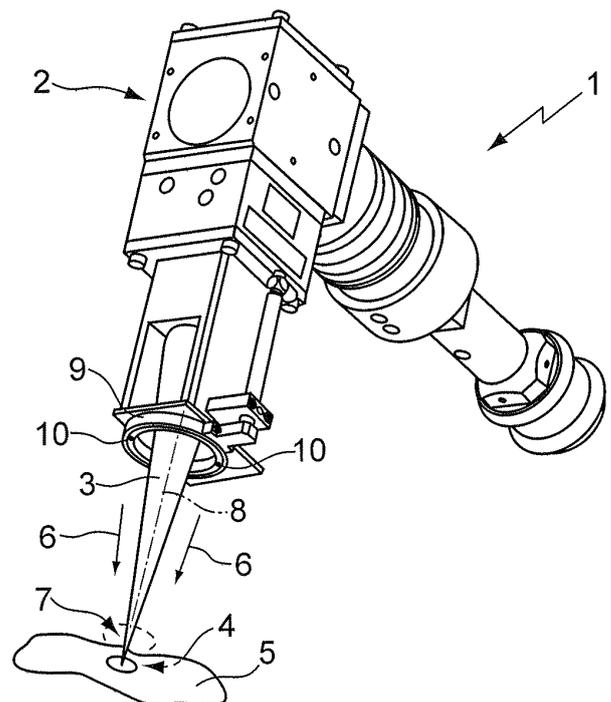
(72) Erfinder:  
**Rominger, Volker, 70174 Stuttgart, DE;  
Broghammer, Gerhard, 78662 Börsingen, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

**DE 20 2004 017 854 U1**  
**US 2009 / 0 134 132 A1**  
**EP 0 985 484 A2**

(54) Bezeichnung: **Laserbearbeitungskopf mit einer Ringdüse**

(57) Hauptanspruch: Laserbearbeitungskopf (1), umfassend:  
eine Fokussieroptik (2) zur Fokussierung eines Laserstrahls (3) auf eine Bearbeitungszone (4) eines Werkstücks (5),  
eine koaxial zur Laserstrahlachse (8) angeordnete Ringdüse (9) zum Einbringen eines Hilfsgases (6) in einen die Bearbeitungszone (4) umgebenden Bereich (7),  
wobei die Ringdüse (9) entlang der Laserstrahlachse (8) verschiebbar an dem Laserbearbeitungskopf (1) gelagert ist und an dem Laserbearbeitungskopf (1) in unterschiedlichen Positionen entlang der Laserstrahlachse (8) festlegbar ist, dadurch gekennzeichnet,  
dass  
die Ringdüse (9) starr mit einem rohrförmigen Abschnitt (12) einer Zuführung (13) für das Hilfsgas (6) verbunden ist, der in Richtung der Laserstrahlachse (8) verläuft, und dass der rohrförmige Abschnitt (12) an dem Laserbearbeitungskopf (1) verschiebbar gelagert ist.



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft einen Laserbearbeitungskopf, umfassend: eine Fokussieroptik zur Fokussierung eines Laserstrahls auf eine Bearbeitungszone eines Werkstücks sowie eine koaxial zur Laserstrahlachse angeordnete Ringdüse zum Einbringen eines Hilfsgases in einen die Bearbeitungszone umgebenden Bereich, wobei die Ringdüse entlang der Laserstrahlachse verschiebbar an dem Laserbearbeitungskopf gelagert ist und an dem Laserbearbeitungskopf in unterschiedlichen Positionen entlang der Laserstrahlachse festlegbar ist.

**[0002]** Ein solcher Laserbearbeitungskopf ist aus der EP 0 985 484 A2 bekannt geworden.

**[0003]** Beim Laserschweißen von Werkstücken bildet sich in der Bearbeitungszone des Werkstücks eine so genannte Kapillare aus, in der das zu bearbeitende Werkstück lokal aufgeschmolzen wird. Aus der Kapillare bzw. einem die Kapillare umgebenden Schmelzbad tritt aufgrund der durch den Laserstrahl kontinuierlich hohen Energieeinkopplung Metalldampf aus, der in Form von kleinen Partikeln in einem die Bearbeitungszone umgebenden Bereich aufsteigt. Ein Teil der von dem Laserbearbeitungskopf erzeugten Laserstrahlung wird von den Metalldampf-Partikeln absorbiert, wodurch sich diese erhitzen und aufgrund ihrer sehr hohen Temperatur Wärmestrahlung aussenden, d. h. es kommt zur Ausbildung einer so genannten Metalldampffackel.

**[0004]** Die räumliche Gestalt bzw. die Ausdehnung der Metalldampffackel während der Bearbeitung kann zeitlich und örtlich stark variieren. Entsprechend ändert sich im Umgebungsmedium die Temperatur und damit einhergehend der Brechungsindex zeitlich und örtlich ebenfalls stark, so dass sich eine so genannte thermische Linse ausbildet, die eine Ablenkung der Laserstrahlung mit hoher zeitlicher Dynamik bewirkt. Die dadurch bewirkte zeitlich und örtlich inhomogene Energieeinkopplung in das Werkstück hat typischer Weise einen negativen Einfluss auf die Qualität der Werkstückbearbeitung: Durch die vorbeschriebene Wechselwirkung kommt es beispielsweise zu Schweißspritzern, Schweißnahtschwankungen in Form von unregelmäßigen Nahtoberrauten bzw. allgemein zu einer verschlechterten Nahtgeometrie.

**[0005]** Die Ausbildung einer Metalldampffackel (aber auch die Ausbreitung von Schweißgasen, Schmauch etc.) ist ferner mit dem Problem behaftet, dass sich der aufsteigende Metalldampf bzw. die in den aufsteigenden Schweißgasen enthaltenen Partikel zunehmend an dem Laserbearbeitungskopf (beispielsweise an der Fokussieroptik) absetzen können und zu einer Beeinträchtigung der Funktionsweise des Laserbearbeitungskopfes führen können, bspw. durch eine thermisch induzierte Fokusalgen-

verschiebung. Besonders ausgeprägt ist diese Gefahr durch während der Laserbearbeitung auftretende Metallspritzer, die unkontrolliert von der Schmelze der Kapillare in Richtung des Laserbearbeitungskopfes, insbesondere der Fokussieroptik, geschleudert werden.

**[0006]** Um ein verbessertes Prozessergebnis (beispielsweise eine verbesserte Nahtqualität) zu erhalten, ist es aus der DE 20 2004 017 854 U1 bekannt, die Wechselwirkung der Laserstrahlung mit der Metalldampffackel zu reduzieren. Dies wird dadurch erreicht, dass ein unterhalb einer Bearbeitungsoptik liegender Bereich des fokussierten Laserstrahls durch mindestens einen Gasstrom weitestgehend frei von einem Gemisch aus Schweißgasen und warmer Umgebungsluft gehalten wird, indem der Gasstrom auf den fokussierten Laserstrahl gerichtet wird und den Laserstrahl durchdringt. Der Gasstrom kann zu diesem Zweck schräg auf die Bearbeitungszone und/oder schräg auf einen Bereich vor der Bearbeitungszone am Werkstück gerichtet werden. Der Gasstrom bzw. die Gasströme wird/werden mittels einer oder mehrerer Gasdüsen erzeugt, beispielsweise mittels einer koaxial zum Laserstrahl angeordneten Ringdüse.

**[0007]** Um den Laserbearbeitungskopf bzw. die Fokussieroptik (sowie die vorbeschriebenen Gasdüsen bzw. die Koaxialdüse) vor auftretenden Metallspritzern zu schützen, ist es unter anderem aus der oben genannten DE 20 2004 017 854 U1 bekannt, einen vergleichsweise starken, quer zum einfallenden Laserstrahl ausgerichteten und optiknah angeordneten Querluftstrom (engl. Crossjet) einzusetzen, der die möglicherweise auftretenden Metallspritzer erfasst und ablenkt, bevor sie den Laserbearbeitungskopf bzw. die Fokussieroptik erreichen und diesen gegebenenfalls beschädigen.

**[0008]** Um den bereits beschriebenen thermischen Linseneffekt mit Hilfe eines Querluftstroms zu minimieren, muss dieser möglichst nahe an das Werkstück gebracht werden. Dadurch ergibt sich zum einen das Problem der Störkontur, zum anderen können die eingesetzte(n) Gasdüse(n), wenn sie vergleichsweise nahe an der Bearbeitungszone des Werkstücks angeordnet sind, relativ leicht durch den aufsteigenden Metalldampf (bzw. die Metalldampffackel) oder durch aus der Schmelze geschleuderte Metallspritzer verunreinigt werden. Ab einem bestimmten Verschmutzungsgrad ist eine Unterbrechung des Laserbetriebs zur Reinigung bzw. zum Austausch der Gasdüsen) erforderlich, um deren Funktionsweise zu gewährleisten und eine Verschlechterung der Nahtqualität zu verhindern. Zudem kann Metalldampf um den Querluftstrom strömen, wodurch es oberhalb des Querluftstroms wiederum zu der bereits beschriebenen Verunreinigung durch Metallspritzer kommen kann. Wird der Querluftstrom

in das Schmelzbad geblasen, kann die Nahtqualität negativ beeinflusst werden.

**[0009]** Aus der US 2009/0134132 A1 ist ferner eine Koaxialdüse bekannt geworden, durch die ein erster, schneller Gasstrom austritt, der während des Laserschweißens einen dynamischen Gasdruck auf eine am Werkstück gebildete Kapillare erzeugt, so dass die Kapillare geöffnet bleibt und die Hydrodynamik des Schmelzbades stabilisiert wird, um den Auswurf von Metallspritzern in Richtung des Laserbearbeitungskopfes zu verhindern. Ein zweiter, den ersten umgebender langsamer Gasstrom dient zur Verhinderung des Kontakts der Schmelze mit dem Sauerstoff der Umgebungsluft.

#### Aufgabe der Erfindung

**[0010]** Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, den eingangs genannten Laserbearbeitungskopf zu verbessern, insbesondere den Verbrauch von Gas zur Begrenzung der Metaldampffackel zu reduzieren.

#### Gegenstand der Erfindung

**[0011]** Diese Aufgabe wird durch einen Laserbearbeitungskopf der eingangs genannten Art gelöst, der dadurch gekennzeichnet ist, dass die Ringdüse starr mit einem rohrförmigen Abschnitt einer Zuführung für das Hilfsgas verbunden ist, der in Richtung der Laserstrahlachse verläuft, und dass der rohrförmige Abschnitt an dem Laserbearbeitungskopf verschiebbar gelagert ist. Die Ringdüse bleibt bei der Verschiebung typischer Weise koaxial zur Laserstrahlachse ausgerichtet, d. h. die Rotationsachse der Ringdüse fällt im Laserbetrieb des Laserbearbeitungskopfes mit der Laserstrahlachse zusammen.

**[0012]** Durch die Möglichkeit, die Ringdüse relativ zum Gehäuse des Bearbeitungskopfes, in dem die Fokussieroptik untergebracht ist, entlang der Laserstrahlachse an unterschiedlichen Positionen zuzustellen bzw. am Gehäuse oder einem Gehäuseabschnitt festzulegen, kann unter anderem der Volumenstrom, der für die Verdrängung der Metaldampffackel aus dem Strahlweg der Laserstrahlung benötigt wird, entsprechend den Erfordernissen der jeweiligen Bearbeitungssituation (beispielsweise unterschiedliche Arbeitsabstände zwischen dem Werkstück und dem Laserbearbeitungskopf) angepasst werden. Die Verschiebbarkeit der Ringdüse entlang der Laserstrahlachse erlaubt es in vorteilhafter Weise, eine Position der Ringdüse zu wählen, bei welcher der für die Verdrängung der Metaldampffackel aus dem Strahlweg der Laserstrahlung erforderliche Volumenstrom minimiert wird. Eine geeignete Position der Ringdüse entlang der Laserstrahlachse, bei welcher ein möglichst geringer Volumenstrom erforderlich ist, um die Metaldampffackel wirksam zu un-

terdrücken, kann für vorgegebene Bearbeitungsparameter (Arbeitsabstand zum Werkstück bzw. Brennweite der Fokussieroptik, Vorschubgeschwindigkeit, Art des bearbeiteten Werkstücks, etc.) experimentell oder mit Hilfe von Strömungssimulationen ermittelt werden. Die entsprechenden Informationen können beispielsweise in einer Datenbank abgelegt werden, auf die ein Bediener oder ggf. die Steuereinrichtung einer Laserbearbeitungsmaschine zugreifen kann, um die Ringdüse in eine geeignete Position zu verschieben und dort festzulegen.

**[0013]** Durch die Höhenverstellbarkeit der Ringdüse kann zudem deren Wirkbereich, also der Bereich, in dem das aus der Ringdüse austretende Hilfsgas die bei der Laserbearbeitung des Werkstücks entstehenden Schweißgase (bzw. die Metaldampffackel) verdrängt, gezielt und situationsspezifisch angepasst werden. Die Einsetzbarkeit des Laserbearbeitungskopfes ist durch die Höhenverstellbarkeit der Ringdüse somit wesentlich verbessert. Es ist insbesondere eine flexiblere Handhabung des Laserbearbeitungskopfes bei unterschiedlichen Bearbeitungssituationen (variierte Arbeitsabstände, Brennweiten, Vorschubgeschwindigkeiten, etc.) möglich.

**[0014]** Die Ringdüse ist starr mit einem rohrförmigen Abschnitt einer Zuführung für das Hilfsgas verbunden, der in Richtung der Laserstrahlachse verläuft. Durch die starre Verbindung des (starr) rohrförmigen Abschnitts der Zuführung mit der Ringdüse ist die Handhabung der Ringdüse, insbesondere die Einstellung unterschiedlicher Abstände zur Fokussieroptik bzw. zum zu bearbeitenden Werkstück vereinfacht. Durch die starre Verbindung kann die koaxiale Ausrichtung der Ringdüse zum Laserbearbeitungskopf bzw. zur Laserstrahlachse eingehalten werden. Die Zuführung für das Hilfsgas, welche über den rohrförmigen Abschnitt führt, kann gasdicht mit der Ringdüse verbunden werden, beispielsweise über einen Adapter, welcher eine Umlenkung des Hilfsgasstroms aus dem rohrförmigen Abschnitt um ca. 90° bewirkt und damit eine Zuführung des Hilfsgases über eine seitliche Eintrittsöffnung der Ringdüse ermöglicht.

**[0015]** Der rohrförmige Abschnitt ist an dem Laserbearbeitungskopf verschiebbar gelagert. Durch die verschiebbare Lagerung des rohrförmigen Abschnitts, mit dem die Ringdüse starr verbunden ist, kann eine besonders einfache und effiziente Verschiebbarkeit der Ringdüse realisiert werden. Insbesondere kann in vorteilhafter Weise auf weitere Lagerungsmechanismen, wie beispielsweise zusätzliche Führungen oder dergleichen, verzichtet werden. Stattdessen wird in vorteilhafter Weise ein für den Betrieb der Ringdüse eingesetzter Abschnitt der Zuführung rohrförmig (starr) ausgebildet, sodass der Abschnitt selbst zur Realisierung der verschiebbaren Lagerung der Ringdüse beiträgt. Der rohrfö-

mige Abschnitt kann ggf. mittels eines steuerbaren Antriebs, beispielsweise mittels eines Linearantriebs entlang des Laserbearbeitungskopfs (parallel zur Laserstrahlachse) verschoben und in unterschiedlichen Positionen festgelegt bzw. zugestellt werden, um eine automatisierte Verschiebung der Ringdüse zu realisieren.

**[0016]** Bevorzugt umfasst der Laserbearbeitungskopf zusätzlich eine Klemmeinrichtung zur klemmenden Festlegung des rohrförmigen Abschnitts an dem Laserbearbeitungskopf. Auf diese Weise ist eine Festlegung der Ringdüse in dem jeweils gewünschten Abstand zur Fokussieroptik bzw. zum Werkstück in einfacher Art und Weise realisierbar. Die Klemmeinrichtung wird typischer Weise von einem Bediener betätigt, es ist aber ggf. auch möglich, die Klemmung des rohrförmigen Abschnitts automatisiert vorzunehmen. Um die Festlegung in einer gewünschten Position entlang der Laserstrahlachse zu vereinfachen, können an dem Laserbearbeitungskopf, genauer gesagt an dem zur Führung dienenden Gehäuseabschnitt, Markierungen bzw. eine Skala vorgesehen werden.

**[0017]** Bei einer weiteren Ausführungsform weist die Ringdüse mindestens eine, bevorzugt eine Mehrzahl von Austrittsöffnungen auf, die jeweils unter einem (typischer Weise gleich großen) Winkel zur Laserstrahlachse ausgerichtet sind. In einer Ebene senkrecht zur Laserstrahlachse sind die Austrittsöffnungen in radialer Richtung auf die Rotationsachse der Ringdüse ausgerichtet, welche der Laserstrahlachse entspricht. Die Austrittsöffnungen sind in Umfangsrichtung typischer Weise in regelmäßigen Abständen entlang der Ringdüse verteilt. Auf diese Weise kann durch die Mehrzahl an Austrittsöffnungen der Strahlweg des Laserstrahls gleichmäßig von dem Hilfsgas durchdrungen werden. Dieses verdrängt somit in gleichmäßiger Art und Weise die auftretende Metallampffackel aus dem werkstücknahen Volumenbereich bzw. aus dem Strahlweg des Laserstrahls. Der geringste Volumenstrom zur Unterdrückung der Metallampffackel wird in der Regel benötigt, wenn die Ringdüse in einem Arbeitsabstand angeordnet wird, in dem sich die Längsachsen der Austrittsöffnungen auf dem Werkstück schneiden.

**[0018]** Es hat sich als günstig erwiesen, wenn die Längsachsen der Austritts(düsen-)Öffnungen, die z. B. als Bohrungen ausgebildet sein können, im Wesentlichen parallel zur konischen Mantelfläche des fokussierten Laserstrahls ausgerichtet sind. Da die Brennweite der Fokussieroptik des Laserbearbeitungskopfs gegebenenfalls in Abhängigkeit von den Bearbeitungsparametern verändert werden kann, kann es vorteilhaft sein, die Ausrichtung der Austrittsöffnungen, genauer gesagt den Winkel zur Laserstrahlachse, entsprechend anzupassen. Hierdurch können besonders hochwertige Bearbeitungsergeb-

nisse (beispielsweise besonders gleichmäßige Nahtgeometrien am Werkstück) erreicht werden.

**[0019]** Bei einer weiteren Ausführungsform umfasst die Ringdüse ein erstes Ringteil, ein zweites Ringteil, und einen Wechselring, die miteinander lösbar verbunden sind und gemeinsam einen ringförmigen Gasverteilungsraum begrenzen, wobei zum Anschluss einer Zuführung für das Hilfsgas an mindestens einem Ringteil mindestens eine in den Gasverteilungsraum mündende Eintrittsöffnung ausgebildet ist, und wobei an dem Wechselring mindestens eine Austrittsöffnung für das Hilfsgas ausgebildet ist. Das Vorsehen einer einzigen Austrittsöffnung an dem Wechselring kann insbesondere für das Schweißen von Linearnähten sinnvoll sein. Die Ringdüse ist entlang der Laserstrahlachse verschiebbar an dem Laserbearbeitungskopf gelagert und in unterschiedlichen Positionen entlang der Laserstrahlachse festlegbar.

**[0020]** Der mit einer solchen Ringdüse verbundene Vorteil besteht unter anderem darin, dass die Mehrteiligkeit der Ringdüse eine leichte und schnelle Handhabung des Wechselrings ermöglicht. Der Wechselring kann somit bei einem (gegebenenfalls auch nur teilweisen) Verschluss der mindestens einen Austrittsöffnung durch Metallspritze oder abgelagerten Metaldampf leicht entnommen und gegen einen neuen Wechselring ersetzt werden, ohne die gesamte Ringdüse austauschen zu müssen. Auch ist es zum Austausch des Wechselrings in der Regel nicht erforderlich, die mit der Ringdüse verbundene Hilfsgas-Zuführung von der Ringdüse zu entfernen. An Stelle eines Austauschs kann der Wechselring auch auf einfache Weise entnommen, gereinigt und anschließend wieder in die Ringdüse eingesetzt werden.

**[0021]** Darüber hinaus kann in vorteilhafter Art und Weise durch die schnelle und leichte Austauschbarkeit des Wechselrings je nach Bearbeitungsabstand zwischen Laserbearbeitungskopf und Werkstück bzw. je nach aktuell eingestellter Fokuslage eine andere Art von Wechselring eingesetzt werden. Insbesondere können Wechselringe verwendet werden, bei denen die jeweilige Ausrichtung der mindestens einen Austrittsöffnung, genauer gesagt der Betrag des Winkels, unter dem die Austrittsöffnung zur Laserstrahlachse ausgerichtet sind, sich voneinander unterscheiden. Da die Längsachsen der Austrittsöffnungen) bzw. -bohrungen im Wesentlichen parallel zur konischen Mantelfläche des fokussierten Laserstrahls ausgerichtet sein sollten, hängt die Wahl eines geeigneten Winkels für die Ausrichtung von der Brennweite des Laserstrahls ab, welche den Öffnungswinkel der konischen Mantelfläche des fokussierten Laserstrahls beeinflusst. Auch können gegebenenfalls mehrere Arten von Wechselringen mit unterschiedlicher (Innen-)Geometrie der Aus-

trittsöffnung(en) und/oder mit einer unterschiedlichen Anzahl von Austrittsöffnungen verwendet werden. Durch die Möglichkeit, mittels einer Mehrzahl von jeweils unterschiedlichen Wechselringen das Strömungsbild im Bereich nahe der Bearbeitungszone zu beeinflussen, kann eine verbesserte Prozessbegasung erreicht werden, d. h. ein verbessertes, insbesondere weniger Hilfsgas benötigendes, Freihalten des vom Laserstrahl durchdrungenen Volumens von Schweißgasen, Metalldämpfen bzw. der Metaldampffackel.

**[0022]** Bei einer bevorzugten Ausführungsform ist an dem Wechselring eine Mehrzahl von Austrittsöffnungen für das Hilfsgas ausgebildet, die bevorzugt in regelmäßigen Abständen in Umfangsrichtung an dem Wechselring angeordnet sind. Die Austrittsöffnungen sind somit bevorzugt in einem regelmäßigen Muster, insbesondere in einem um eine Rotationsachse der Ringdüse dreh-symmetrischen Muster, an dem Wechselring ausgebildet und bewirken eine gleichmäßigere Durchdringung des Strahlwegs des Laserstrahls bzw. dessen Umgebung mit dem Hilfsgas. Auf diese Weise kann die auftretende Metaldampffackel in effizienter Art und Weise aus dem werkstücknahen Bearbeitungsbereich verdrängt werden.

**[0023]** Bei einer bevorzugten Weiterbildung der vorhergehenden Ausführungsform weist die mindestens eine Austrittsöffnung des Wechselrings einen in Längsrichtung der Austrittsöffnung variierenden Strömungsquerschnitt auf. Der variierende Strömungsquerschnitt bewirkt eine im Vergleich zu Bohrungen konstanten Durchmessers stärkere Ausrichtung der Austrittsströmung, wobei die Austrittsströmung darüber hinaus eine höhere Austrittsgeschwindigkeit aufweisen kann. Der Strömungsquerschnitt der Austrittsöffnungen kann beispielsweise einen konvergent-divergenten Verlauf aufweisen. Durch eine geeignete Wahl eines variierenden Strömungsquerschnitts der Austrittsöffnungen im Wechselring kann das Strömungsbild im werkzeugnahen Bereich der Bearbeitung gezielt beeinflusst werden.

**[0024]** Bevorzugt ist auch eine Weiterbildung, bei der die Längsachse der mindestens einen Austrittsöffnung unter einem (spitzen) Winkel zur Rotationsachse der Ringdüse ausgerichtet ist. Der Winkel kann hierbei so gewählt werden, dass die durch die Ringdüse bewirkte Gasströmung im Wesentlichen parallel zur konischen Mantelfläche des fokussierten Laserstrahls verläuft, wodurch eine besonders effiziente Verdrängung der Metaldampffackel und somit eine besonders effiziente Verhinderung der Ausbildung einer thermischen Linse erreicht werden kann.

**[0025]** Schließlich sind bei einer bevorzugten Ausführungsform das erste Ringteil und/oder das zweite Ringteil und/oder der Wechselring miteinander ver-

schraubt. Durch die gegenseitige Verschraubung des ersten und zweiten Ringteils können diese zum Austauschen bzw. Ersetzen des Wechselrings besonders einfach und schnell voneinander getrennt und anschließend wieder zusammengefügt werden, wobei die Verschraubung auch eine gasdichte Verbindung erlaubt. Der Wechselring wird bevorzugt zwischen das erste und das zweite Ringteil eingelegt und beim Verschrauben zwischen den beiden Ringteilen verklemt. Alternativ kann der Wechselring ebenfalls mit dem ersten und/oder dem zweiten Ringteil verschraubt werden. Es versteht sich, dass auch andere Möglichkeiten zur Realisierung einer lösba-ren Verbindung zwischen dem ersten Ringteil, dem zweiten Ringteil und dem Wechselring bestehen, beispielsweise kann eine Verrastung vorgesehen werden. In allen oben beschriebenen Fällen können gegebenenfalls zur Ausbildung eines gasdichten Gasverteilungsraums Dichtungselemente an den Ringteilen bzw. an dem Wechselring vorgesehen werden.

**[0026]** Durch die Möglichkeit, den Betrag des Winkels, unter dem die Austrittsöffnung(en) zur Laserstrahlachse ausgerichtet sind, sowie weitere Geometrie-Parameter der Austrittsöffnungen, beispielsweise den Öffnungsdurchmesser der Austrittsöffnungen, über die Wahl des Wechselrings einzustellen, kann unter anderem der Volumenstrom, der für die Verdrängung der Metaldampffackel aus dem Strahlweg der Laserstrahlung benötigt wird, entsprechend den Erfordernissen der jeweiligen Bearbeitungssituation (beispielsweise unterschiedliche Arbeitsabstände zwischen dem Werkstück und dem Laserbearbeitungskopf) angepasst werden. Durch die Wahl des Winkels, unter dem die Austrittsöffnungen zur Laserstrahlachse ausgerichtet sind, kann zudem deren Wirkbereich, also der Bereich, in dem das aus der Ringdüse austretende Hilfsgas die bei der Laserbearbeitung des Werkstücks entstehenden Schweißgase (bzw. die Metaldampffackel) verdrängt, gezielt und situationspezifisch angepasst werden.

**[0027]** Weitere Vorteile und vorteilhafte Ausgestaltungen des Gegenstands der Erfindung ergeben sich aus der Beschreibung, den Ansprüchen und der Zeichnung. Die Figuren der Zeichnung zeigen den erfindungsgemäßen Gegenstand stark schematisiert und sind nicht maßstäblich zu verstehen.

**[0028]** Es zeigen:

**[0029]** Fig. 1 eine Ausführungsform eines Laserbearbeitungskopfs gemäß der Erfindung in einer perspektivischen Ansicht;

**[0030]** Fig. 2a, b einen Gehäuseabschnitt des Laserbearbeitungskopfs aus Fig. 1 mit einer Ringdüse in einer ersten Position, in der diese am Laserbearbeitungskopf anliegt, sowie in einer zweiten, vom Laserbearbeitungskopf beabstandeten Position;

**[0031]** Fig. 3 eine Seitenansicht des Gehäuseabschnitts aus Fig. 2a, b sowie eines auf eine Bearbeitungszone eines Werkstücks fokussierten Laserstrahls;

**[0032]** Fig. 4 einen Querschnitt durch eine Ringdüse des Laserbearbeitungskopfs; und

**[0033]** Fig. 5 eine Explosionsdarstellung der Ringdüse gemäß Fig. 4.

**[0034]** Fig. 1 zeigt einen Laserbearbeitungskopf 1 mit einer Fokussieroptik 2, die zur Fokussierung eines Laserstrahls 3 auf eine Bearbeitungszone 4 eines Werkstücks 5 dient und die beispielsweise eine Fokussierlinse und/oder einen fokussierenden Spiegel umfassen kann. Die Fokussieroptik 2 ist im Inneren des Laserbearbeitungskopfs 1 angeordnet und daher in Fig. 1 nicht im Detail gezeigt. Das Werkstück 5 kann mittels des Laserstrahls 3 trennend (Laserschneiden, Laserabtragen) oder fügend (Laserschweißen bzw. Laserauftragsschweißen) bearbeitet werden, wobei im vorliegenden Fall eine fügende Bearbeitung vorgesehen ist.

**[0035]** Beim Laserschweißen wird das Werkstück 5 in der Bearbeitungszone 4 durch den Laserstrahl 3 aufgeschmolzen und es kann Metalldampf von der Werkstückoberfläche in Richtung des Laserbearbeitungskopfes 1 aufsteigen (nicht dargestellt). Werden keine Schutzmaßnahmen ergriffen, so werden Teile der Laserstrahlung 3 von dem aufsteigenden Metalldampf absorbiert und anschließend als von dem Metalldampf ausgehende Wärmestrahlung (als so genannte Metalldampffackel) emittiert. Hierdurch entsteht eine so genannte thermische Linse, die für die Qualität der Laserbearbeitung des Werkstücks 5 aufgrund ihrer sowohl zeitlichen als auch örtlich stark wechselnden Ausprägung ungünstig ist (es entstehen beispielsweise unregelmäßige Nahtoberrauten, sowie Schweißspritzer).

**[0036]** Um diesem Effekt entgegen zu wirken, weist der Laserbearbeitungskopf 1 zum Einbringen eines Hilfsgases (in Fig. 1 durch Pfeile 6 dargestellt) in einen (Bearbeitungs-)Bereich 7, der die Bearbeitungszone 4 des Werkstücks 5 umgibt, eine koaxial zur Laserstrahlachse 8 angeordnete Ringdüse 9 auf. Mithilfe der Ringdüse 9 kann das Hilfsgas 6 in den Bearbeitungsbereich 7 (insbesondere in den Bereich um den Laserstrahl 3 herum bzw. in diesen hinein) geleitet werden, wodurch eine Metalldampffackel bzw. Metalldampf aus dem Bearbeitungsbereich 7 verdrängt wird und verhindert wird, dass dieser in das vom Laserstrahl 3 durchstrahlte Volumen eindringt. Auf diese Weise kann die Ausbildung der thermischen Linse mit ihren nachteiligen Folgen verhindert oder zumindest abgeschwächt werden. Zur Verteilung bzw. Einleitung des Hilfsgases 6 in den Bearbeitungsbereich 7 weist die Ringdüse 9 eine Mehrzahl von Aus-

trittsöffnungen 10 auf, von denen beispielhaft zwei in Fig. 1 dargestellt sind.

**[0037]** In Fig. 2a, b ist ein Gehäuseabschnitt 11 des Laserbearbeitungskopfs 1 aus Fig. 1 sowie die Ringdüse 9 dargestellt. Zur Vereinfachung wurde auf die Darstellung der Fokussieroptik 2 sowie des fokussierten Laserstrahls 3 verzichtet. Die Ringdüse 9 ist entlang der Laserstrahlachse 8 verschiebbar an dem Gehäuseabschnitt 11 des Laserbearbeitungskopfs 1 gelagert, wobei in Fig. 2a die Ringdüse 9 in einer ersten (oberen) Position dargestellt ist, in der diese am unteren Ende des Gehäuseabschnitts 11 anliegt, welcher einen ersten Endanschlag für die Ringdüse 9 bildet und wobei in Fig. 2b die Ringdüse 9 in einer zweiten (unteren) Position dargestellt ist, in der die Ringdüse 9 vom Gehäuseabschnitt 11 beabstandet ist. Die Ringdüse 9 kann an dem Gehäuseabschnitt 11 in weiteren zwischen der oberen und der unteren Position liegenden Positionen entlang der Laserstrahlachse 8 angeordnet werden und ist dort jeweils festlegbar.

**[0038]** Zur verschiebbaren Lagerung der Ringdüse 9 an dem Gehäuseabschnitt 11 ist ein rohrförmiger Abschnitt 12 einer Hilfsgas-Zuführung 13 vorgesehen, der an eine (nicht gezeigte) Hilfsgas-Erzeugungseinrichtung angeschlossen werden kann. Über den rohrförmigen (starrten) Abschnitt 12 der Zuführung 13 kann das Hilfsgas 6 in die Ringdüse 9 geleitet werden, die starr mit dem rohrförmigen Abschnitt 12 verbunden ist. Der rohrförmige Abschnitt 12 der Zuführung 13 ist an dem Gehäuseabschnitt 11 verschiebbar gelagert.

**[0039]** An dem Gehäuseabschnitt 11 des Laserbearbeitungskopfs 1 ist ferner zur klemmenden Festlegung des rohrförmigen Abschnitts 12 eine Klemmeinrichtung 14 vorgesehen. Die Klemmeinrichtung 14 weist in Fig. 2a, b zur Aufnahme des rohrförmigen Abschnitts 12 eine Bohrung auf, deren Durchmesser durch das Ein- bzw. Ausdrehen von Klemmschrauben 15 verändert werden kann. Ist der Durchmesser entsprechend verringert, so ist die Reibung zwischen der Aufnahme bzw. Bohrung der Klemmeinrichtung 14 und dem rohrförmigen Abschnitt 12 ausreichend groß, so dass eine Festlegung des rohrförmigen Abschnitts 12 und der Ringdüse 9 an dem Gehäuseabschnitt 11 erfolgt.

**[0040]** Die Ringdüse 9 ist über einen Adapter 16 starr mit dem rohrförmigen Abschnitt 12 verbunden, wobei der Adapter 16 im Inneren eine Ausnehmung aufweist, durch die das Hilfsgas 6 aus dem rohrförmigen Abschnitt 12 in die Ringdüse 9 geleitet wird. Bei dem Hilfsgas 6 kann es sich um Luft oder um andere Gase handeln, insbesondere um inerte Gase, beispielsweise um Stickstoff.

**[0041]** In Fig. 3 sind die Fokussieroptik **2**, der Gehäuseabschnitt **11** und die Klemmeinrichtung **14** sowie die Ringdüse **9**, der Adapter **16** und der rohrförmige Abschnitt **12** in einer Seitenansicht über dem Werkstück **5** dargestellt. Durch die Fokussieroptik **2** wird der Laserstrahl **3** auf die Bearbeitungszone **4** des Werkstücks **5**, insbesondere in einem Fokuspunkt **17**, fokussiert. Dabei durchdringt der Laserstrahl **3** zumindest teilweise den Bearbeitungsbereich **7**, der die Bearbeitungszone **4** des Werkstücks **5** umgibt. Bei dem Bearbeitungsbereich **7** handelt es sich um einen Volumenbereich, der sich ausgehend von der Werkstückoberseite **18** in Richtung zu dem Laserbearbeitungskopf **1** hin erstreckt.

**[0042]** Der Laserbearbeitungskopf **1**, genauer gesagt das freie Ende des Gehäuseabschnitts **11** des Laserbearbeitungskopfs **1**, ist während der Laserbearbeitung des Werkstücks **5** in einem Arbeitsabstand  $D_1$  von der Werkstückoberseite **18** beabstandet. In Fig. 3 ist die Ringdüse **9** in geringer Entfernung von der oberen Position (vgl. Fig. 2a) dargestellt. Dabei ist die Ringdüse **9**, insbesondere eine Stirnseite der Ringdüse **9**, an der die Mehrzahl von Austrittsöffnungen **10** angeordnet sind, in einem Abstand  $D_2$  von der Werkstückoberseite **18** beabstandet. Ist der Arbeitsabstand  $D_1$  entsprechend der jeweiligen Bearbeitungssituation (zum Beispiel der Dicke des zu bearbeitenden Werkstücks **5**, der Laserstrahlintensität oder der Fokuslage etc.) bekannt, so kann der Abstand  $D_2$  der Ringdüse **9** vom Werkstück **5** durch entsprechende Handhabung der Klemmeinrichtung **14** und des rohrförmigen Abschnitts **12** (durch Verschieben des rohrförmigen Abschnitts **12** entlang einer zur Laserstrahlachse **8** parallelen Richtung **20**) verändert werden.

**[0043]** Die Mehrzahl von Austrittsöffnungen **10** der Ringdüse **9** ist derart ausgebildet, dass das Hilfsgas **6** unter einem (spitzen) Winkel  $\alpha$  zur Laserstrahlachse **8** ausströmt und im vorliegenden Beispiel im Wesentlichen parallel zu einer Mantelfläche **21** des konusförmigen fokussierten Laserstrahls **3** verläuft, d. h. der halbe Öffnungswinkel des fokussierten Laserstrahls **3** stimmt im Wesentlichen mit dem spitzen Winkel  $\alpha$  überein. Auf diese Weise kann der Bereich, in den aufsteigende Metaldämpfe eindringen bzw. in dem sich die Metaldampffackel ausbildet, besonders vorteilhaft auf einen werkstücknahen Bereich **7** begrenzt werden. Auch ist eine solche im Wesentlichen parallele Ausrichtung günstig, da in diesem Fall nur ein geringer Anteil des Hilfsgases **6** in den Bereich der Bearbeitungszone **4** gelangt, sodass ölfreie Druckluft als Hilfsgas **6** verwendet werden kann. Es versteht sich aber, dass für den Fall, dass eine im Wesentlichen oxidfreie Schmelze gewünscht ist, eine prozessnahe Schutzabdeckung mit herkömmlichen, inerten Gasen realisiert werden muss. Eine solche Schutzabdeckung kann durch das von der Ringdüse **9** bereitgestellte Hilfsgas **6** oder ggf. durch weitere Zuführungs-

einrichtungen zur Zuführung von Hilfsgasen zur Bearbeitungszone **4** erfolgen.

**[0044]** Ist die Ringdüse **9** bzw. der Laserbearbeitungskopf **1** in vergleichsweise großer Entfernung von der Werkstückoberseite **18**, bspw. direkt unterhalb eines (nicht gezeigten) Querluftstroms angeordnet, so vereinigen sich die durch die Pfeile **6** veranschaulichten Hilfsgasströme **6**, welche durch die einzelnen Austrittsöffnungen **10** treten, oberhalb der Werkstückoberseite **18**. Die Metaldampffackel wird in dieser Position weitgehend verdrängt, sie befindet sich bspw. ca. 10 mm über der Bearbeitungszone **4** (Kapillare). In diesem Fall ist fast der gesamte Bereich zwischen Werkstück **5** und Ringdüse **9** partikel-frei.

**[0045]** Ist die Ringdüse **9** in einer geringeren Entfernung zur Werkstückoberseite **18** angeordnet, beispielsweise wie in Fig. 3 gezeigt, so vereinigen sich die Volumenströme **6** an der Werkstückoberseite **18**. In dieser Position bzw. in diesem Abstand  $A_2$  ist der Volumenstrom minimal, jedoch hat sich die Störkontur gegenüber der vorherigen Position vergrößert. In der in Fig. 3 gezeigten Position kann der Hilfsgasverbrauch bzw. der Aufwand zur Erzeugung und Bereitstellung des Hilfsgases **6** wesentlich reduziert werden. Es versteht sich aber, dass die den Metaldampf verdrängende Wirkung des Hilfsgases **6** auch bei größeren als den minimalen Volumenströmen in vorteilhafter Weise gegeben ist.

**[0046]** Wird der Abstand der Ringdüse **9** zu Werkstückoberfläche **18** weiter verringert, so treffen die Volumenströme **6** einzeln auf die Werkstückoberseite **18**, d. h. ihr Schnittpunkt würde unterhalb der Werkstückoberfläche **18** liegen. In diesem Fall wird die Metaldampffackel nur unzureichend verdrängt. Jedoch kann durch die Wahl eines anderen (größeren) Winkels  $\alpha$  erreicht werden, dass sich die Volumenströme **6** auch bei einem solchen vergleichsweise geringen Abstand  $D_2$  vom Werkstück **5** oberhalb der Werkstückoberseite **18** vereinigen. Typische Werte für die der Gasdüse **9** zugeführten Volumenströme liegen bei ca. 20 l/min bis ca. 60 l/min. Die Strömungsgeschwindigkeit des Hilfsgases **6** kann beispielsweise zwischen ca. 4 und 12 m/min betragen, was beispielsweise zu einem Druckanstieg in der in der Bearbeitungszone gebildeten Kapillare von nur ca. 1 mbar führt. Dieser sehr geringe Druckanstieg zeigt, dass das Hilfsgas **6** nicht in die Kapillare geblasen wird.

**[0047]** Fig. 4 zeigt die Ringdüse **9** für den Laserbearbeitungskopf **1** in einem Querschnitt. Die Ringdüse **9** umfasst ein erstes, im Wesentlichen radial außen liegendes Ringteil **22**, sowie ein zweites, im Wesentlichen radial innen liegendes Ringteil **23** sowie einen Wechselring **24**. Das erste Ringteil **22** und das zweite Ringteil **23** sind über eine Schraubverbindung **25** lösbar miteinander verbunden. An dem ersten und zwei-

ten Ringteil **22**, **23** sind ferner Aufnahmen **26** für den Wechselring **24** vorgesehen, sodass dieser zwischen das erste und das zweite Ringteil **22**, **23** gasdicht eingelegt und zwischen diesen beim Verschrauben festgelegt werden kann.

**[0048]** Das erste Ringteil **22**, das zweite Ringteil **23** und der Wechselring **24** begrenzen gemeinsam einen ringförmigen Gasverteilungsraum **27**, wobei zum Anschluss der Zuführung **13** für das Hilfsgas **6** (beispielsweise zum Anschluss des Adapters **16**) an dem ersten Ringteil **22** eine in den Gasverteilungsraum **27** mündende, seitliche Eintrittsöffnung **28** ausgebildet ist. An dem Wechselring **24** ist darüber hinaus die Mehrzahl von Austrittsöffnungen **10** für das Hilfsgas **6** gebildet, wobei die Austrittsöffnungen **10** an der axialen Außenseite **19** des Wechselrings **24** münden. Die Austrittsöffnungen **10** im Wechselring **24** weisen im vorliegenden Beispiel einen variierenden Strömungsquerschnitt **29** auf, der sich von einer axialen Innenseite **30** des Wechselrings **24** bis zu der axialen Außenseite **19** des Wechselrings **24** erstreckt. Die Längsachsen **31** der Austrittsöffnungen **10** sind unter dem spitzen Winkel  $\alpha$  zur Rotationsachse **32** der Ringdüse **9** bzw. zur Laserstrahlachse **8** ausgerichtet. Die Längsachsen der Austrittsöffnungen **10** verschiedener Wechselringe **24** können zur Rotationsachse **32** der Ringdüse **9** unterschiedliche Winkel  $\alpha$  einnehmen. Auf diese Weise kann der Volumenstrom durch die Ringdüse **9** in Abhängigkeit vom Arbeitsabstand **D1** in vorteilhafter Weise minimiert werden.

**[0049]** Schließlich zeigt **Fig. 5** eine Explosionsdarstellung der Ringdüse **9** gemäß **Fig. 4**. Aus **Fig. 5** sind auf der axialen Innenseite **30** des Wechselrings **24** vier Austrittsöffnungen **10** ersichtlich, die in regelmäßigen Abständen **d** in Umfangsrichtung an dem Wechselring **24** angeordnet und auf einen gemeinsamen Punkt auf der Laserstrahlachse **8** ausgerichtet sind. Eine solche Anordnung ermöglicht eine besonders gleichmäßige Verdrängung der Metaldampffackel.

**[0050]** Durch die in **Fig. 5** gut zu erkennende Dreiteiligkeit der Ringdüse **9** kann diese besonders einfach zerlegt und wieder zusammengebaut werden, wobei insbesondere der durch die Metaldampffackel bzw. die Metallspritzer typischerweise am stärksten zur Verschmutzung neigende Wechselring **24** besonders einfach ausgewechselt, erneuert oder gereinigt werden kann, da zu diesem Zweck lediglich die Schraubverbindung **25** zwischen dem ersten und dem zweiten Ringteil **22**, **23** gelöst werden muss.

**[0051]** Der leichte und einfache Zugang zum Wechselring **24** erlaubt darüber hinaus vorteilhaft die schnelle Auswechslung einer Vielzahl unterschiedlicher Wechselringe **24** mit jeweils unterschiedlichen Eigenschaften, beispielsweise unterschiedlichen (spitzen) Winkeln  $\alpha$  der Austrittsöffnungen **10**

in Abhängigkeit davon, welchen Öffnungswinkel die den Laserstrahl **3** begrenzende konusförmige Mantelfläche **21** in einer jeweiligen Bearbeitungssituation aufweist bzw. in welchem Abstand von der Werkstückoberfläche **18** die Ringdüse **9** angeordnet ist. Auch ein Wechselring **24** mit einem vollständig oder teilweise umlaufenden Ringspalt (mit beispielsweise ca. 0,02–0,03 mm Spaltdurchmesser) als Austrittsöffnung **10** ist möglich. Bei einem vollständig umlaufenden Ringspalt sind typischer Weise dünne Verbindungsstege in dem Ringspalt vorgesehen, um den Wechselring **24** zusammenzuhalten.

## Patentansprüche

1. Laserbearbeitungskopf (**1**), umfassend: eine Fokussieroptik (**2**) zur Fokussierung eines Laserstrahls (**3**) auf eine Bearbeitungszone (**4**) eines Werkstücks (**5**), eine koaxial zur Laserstrahlachse (**8**) angeordnete Ringdüse (**9**) zum Einbringen eines Hilfsgases (**6**) in einen die Bearbeitungszone (**4**) umgebenden Bereich (**7**), wobei die Ringdüse (**9**) entlang der Laserstrahlachse (**8**) verschiebbar an dem Laserbearbeitungskopf (**1**) gelagert ist und an dem Laserbearbeitungskopf (**1**) in unterschiedlichen Positionen entlang der Laserstrahlachse (**8**) festlegbar ist, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Ringdüse (**9**) starr mit einem rohrförmigen Abschnitt (**12**) einer Zuführung (**13**) für das Hilfsgas (**6**) verbunden ist, der in Richtung der Laserstrahlachse (**8**) verläuft, und dass der rohrförmige Abschnitt (**12**) an dem Laserbearbeitungskopf (**1**) verschiebbar gelagert ist.
2. Laserbearbeitungskopf nach Anspruch 1, weiter umfassend: eine Klemmeinrichtung (**14**) zur klemmenden Festlegung des rohrförmigen Abschnitts (**12**) an dem Laserbearbeitungskopf (**1**).
3. Laserbearbeitungskopf nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Ringdüse (**9**) mindestens eine Austrittsöffnung (**10**), bevorzugt eine Mehrzahl von Austrittsöffnungen (**10**), aufweist, die unter einem spitzen Winkel ( $\alpha$ ) zur Laserstrahlachse (**8**) ausgerichtet ist/sind.
4. Laserbearbeitungskopf nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Ringdüse (**9**) umfasst: ein erstes Ringteil (**22**), ein zweites Ringteil (**23**), sowie einen Wechselring (**24**), die miteinander lösbar verbunden sind und gemeinsam einen ringförmigen Gasverteilungsraum (**27**) begrenzen, wobei zum Anschluss einer Zuführung (**13**, **16**) für das Hilfsgas (**6**) an mindestens einem Ringteil (**22**) eine in den Gasverteilungsraum (**27**) mündende Eintrittsöffnung (**28**) ausgebildet ist,

und wobei an dem Wechselring (24) mindestens eine Austrittsöffnung (10) für das Hilfgas (6) ausgebildet ist.

5. Laserbearbeitungskopf nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass an dem Wechselring (24) eine Mehrzahl von Austrittsöffnungen (10) für das Hilfgas (6) ausgebildet ist, die bevorzugt in regelmäßigen Abständen (d) in Umfangsrichtung an dem Wechselring (24) angeordnet sind.

6. Laserbearbeitungskopf nach einem der Ansprüche 4 oder 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass mindestens eine Austrittsöffnung (10) einen variierenden Strömungsquerschnitt (29) aufweist.

7. Laserbearbeitungskopf nach einem der Ansprüche 4 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Längsachse (31) der mindestens einen Austrittsöffnung (10) unter einem spitzen Winkel ( $\alpha$ ) zur Rotationsachse (32) der Ringdüse (9) ausgerichtet ist.

8. Laserbearbeitungskopf nach einem der Ansprüche 4 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass das erste Ringteil (22) und/oder das zweite Ringteil (23) und/oder der Wechselring (24) miteinander verschraubt (25) sind.

Es folgen 2 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

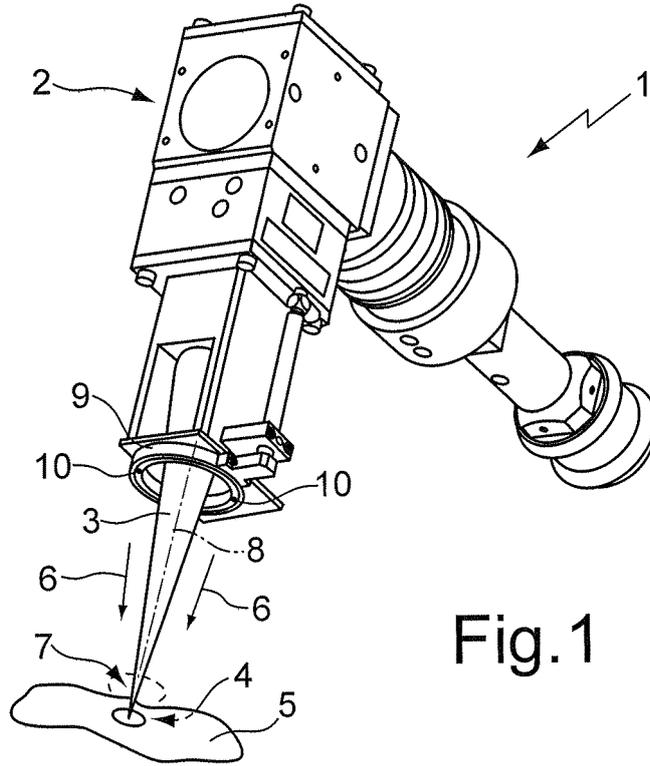


Fig. 1

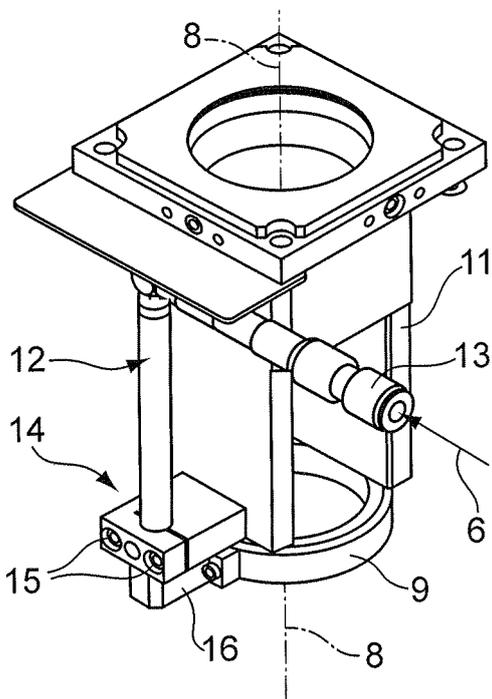


Fig. 2a

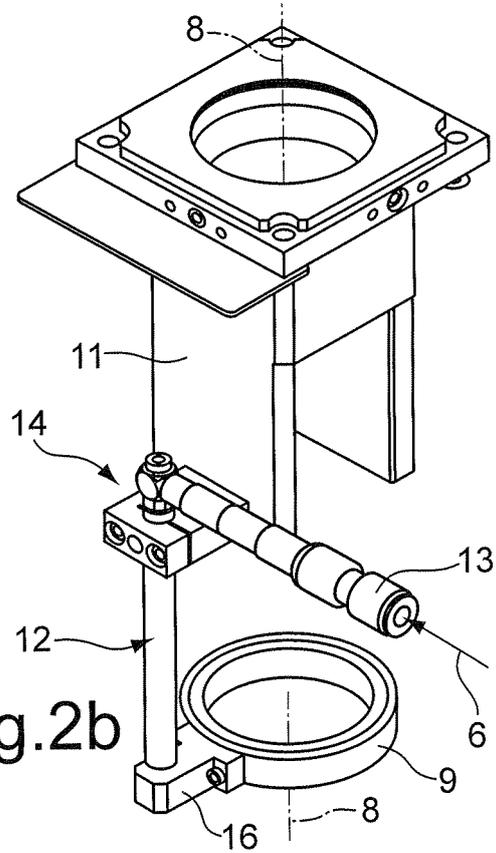


Fig. 2b

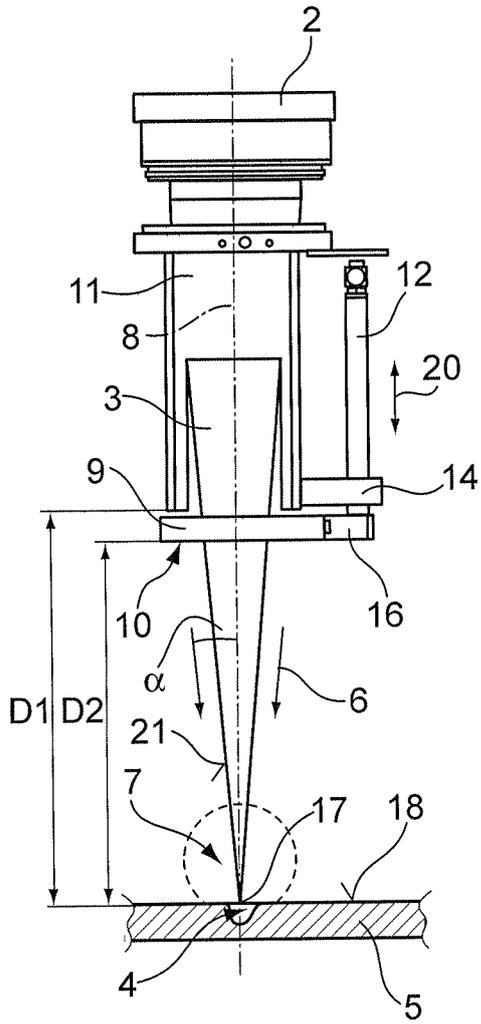


Fig.3

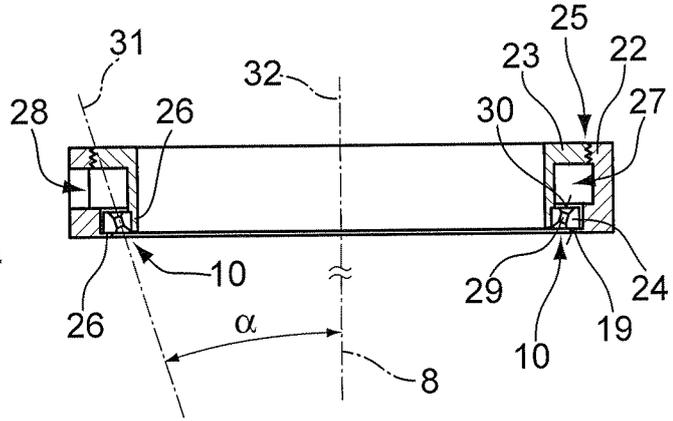


Fig.4

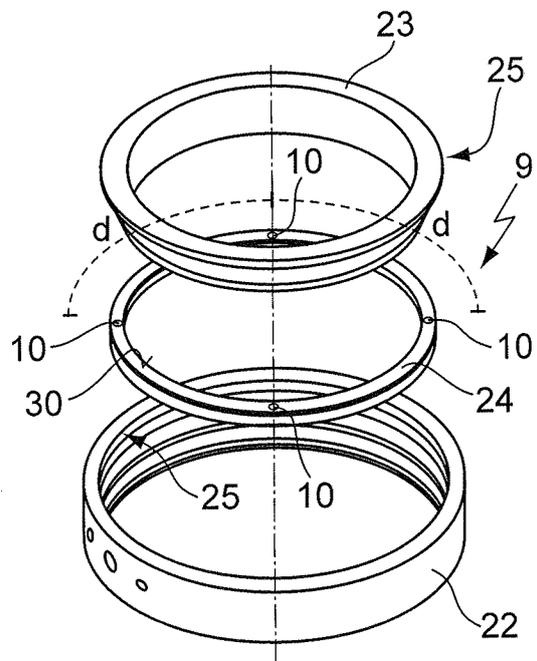


Fig.5