



(10) **DE 10 2016 118 189 A1** 2018.03.29

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2016 118 189.7**  
(22) Anmeldetag: **27.09.2016**  
(43) Offenlegungstag: **29.03.2018**

(51) Int Cl.: **B23K 26/02 (2014.01)**  
**B23K 26/073 (2006.01)**  
**B23K 26/24 (2014.01)**  
**B23K 26/70 (2014.01)**

(71) Anmelder:  
**TRUMPF Werkzeugmaschinen GmbH + Co. KG,**  
**71254 Ditzingen, DE**

(74) Vertreter:  
**Mammel & Maser, 71065 Sindelfingen, DE**

(72) Erfinder:  
**Andreasch, Wolfgang, Dr., 71384 Weinstadt, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

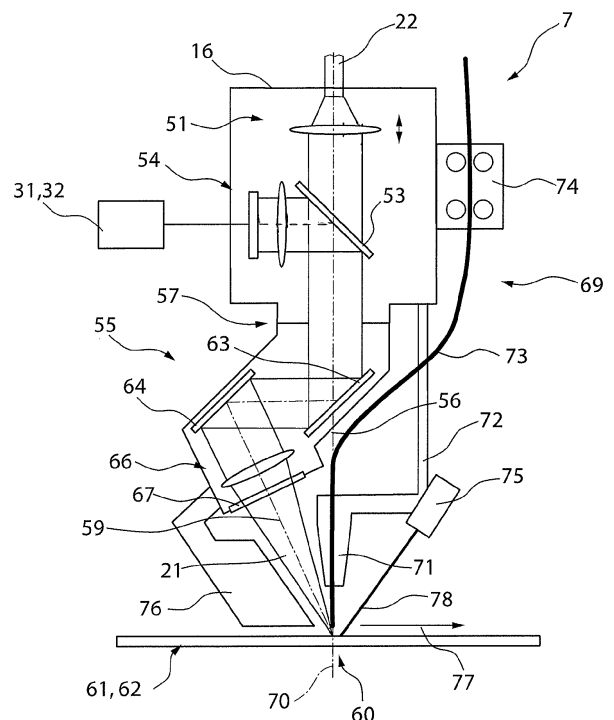
DE	197 24 986	C2
DE	10 2013 008 085	B4
DE	44 01 597	A1
DE	10 2010 003 750	A1
DE	94 01 081	U1
FR	2 823 686	A1
JP	H09- 108 869	A

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.**

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Laserbearbeitungsmaschine zum Laserschweißen eines ersten und eines zweiten Werkstückabschnitts**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Laserbearbeitungsmaschine zum Laserschweißen eines ersten und eines zweiten Werkstückabschnitts (61, 62) mittels eines Laserstrahls (21), der mit einem Laserbearbeitungskopf (7) entlang einem zwischen den Werkstückabschnitten (61, 62) gebildeten Fügespalt (60) geführt und bei dem der Laserstrahl (21) mit einer Bearbeitungsoptik (66) fokussiert wird, und bei dem ein Zusatzwerkstoff (73) mit einer Zuführeinrichtung (69) zum Fügespalt (60) ausgerichtet wird, wodurch zumindest eine Spaltbreite des Fügespalt (60) der zu verschweißenden Werkstückabschnitte (61, 62) erfasst wird, wobei die erfasste Spaltbreite entlang des Verlaufs des Fügespalt (60) ausgewertet und mit zumindest einem ersten und einen zweiten Spaltmaß verglichen wird, wobei das erste Spaltmaß eine Spaltbreite umfasst, bei der eine Schweißnaht (81) ohne Zusatzwerkstoff (73) gebildet wird und das zweite Spaltmaß eine Spaltbreite umfasst, bei der zum Auffüllen des Fügespalt (60) ein Zusatzwerkstoff (73) für die Bildung der Schweißnaht (81) zugeführt wird, wobei bei einer erfassten Spaltbreite, die innerhalb des ersten Spaltmaßes liegt, während dem Laserschweißen die Zuführung des Zusatzwerkstoffes (73) zum Fügespalt (60) stillgesetzt und ein Strahlprofil des Laserstrahls (21) mit einem Punkt- oder Ringfokus (43, 46) eingestellt wird, und wobei bei einer erfassten Spaltbreite, die innerhalb des zweiten Spaltmaßes liegt, eine Zuführung des Zusatzwerkstoffes (73) zum Fügespalt (60) angesteuert und ein Strahlprofil des Laserstrahls (21) mit einem Ringfokus (46) eingestellt wird.



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Laserschweißen eines ersten und eines zweiten Werkstückabschnitts mit einem Laserstrahl sowie eine Laserbearbeitungsmaschine zur Durchführung des Verfahrens.

**[0002]** Aus der JP 09-108 869 A1 ist eine Laserbearbeitungsmaschine bekannt, bei welcher ein frei rotierbarer Laserbearbeitungskopf vorgesehen ist, der einen Laserstrahl auf einen Fügespalt zwischen den zu verschweißenden Werkstückabschnitten richtet. An einem Gehäuse des Laserbearbeitungskopfes mit einer Fokussieroptik geht eine Zuführvorrichtung für einen Zusatzdraht beziehungsweise Schweißdraht hervor, welche frei um den Laserbearbeitungskopf rotierbar am Laserbearbeitungskopf angeordnet ist. Während dem Laserschweißen wird die Zuführeinrichtung zum Laserbearbeitungskopf derart rotierend angetrieben, dass die Zuführung des Zusatzdrahtes vorseilend zum Laserstrahl ausgerichtet ist.

**[0003]** Durch die FR 2 823 686 A1 wird eine Vorrichtung zum Laserschweißen vorgeschlagen. Über eine Fokussieroptik wird ein Laserstrahl zu einem Ring aufgeweitet und anschließend über eine Linse zu einem Punkt fokussiert, der in dem Fügespalt auftrifft. Innerhalb des sich fokussierenden Laserstrahls ist eine Zuführeinrichtung in Form einer Düse vorgesehen, um schweißfähiges Material senkrecht zur Werkstückebene dem Fügespalt zuzuführen.

**[0004]** Aus der DE 94 01 081 U1 ist eine Positioniervorrichtung zur Aufnahme eines Laserbearbeitungskopfes und einer Zuführeinrichtung für einen Schweißdraht bekannt. Diese Positioniereinrichtung nimmt einen Laserbearbeitungskopf in einem Winkel von 45° zur Oberfläche der zu verschweißenden Werkstückabschnitte auf. Zwischen dem Laserbearbeitungskopf und der Oberfläche der zu bearbeitenden Werkstückabschnitte ist die Zuführeinrichtung vorgesehen, um eine Schweißnaht in dem Fügespalt der zu verschweißenden Werkstückabschnitte zu erzeugen.

**[0005]** Aus der DE 10 2010 003 750 A1 ist ein Verfahren zur Veränderung einer Strahlprofilcharakteristik eines Laserstrahls bekannt. Zur Veränderung der Strahlprofilcharakteristik eines ausgekoppelten Laserstrahls wird eine Mehrfachclad-Faser eingesetzt. In Abhängigkeit der Einkopplung des Laserstrahls kann ein ausgefülltes Kreisprofil angesteuert werden, welches beispielsweise für einen Laserschneidprozess eingesetzt wird. Des Weiteren kann ein Ringprofil erzeugt werden, welches beispielsweise für einen Laserschweißprozess eingesetzt wird. Darüber hinaus kann ein breites ausgefülltes Strahlprofil erzielt werden, welches ebenfalls zum Laserschweißen eingesetzt werden kann.

**[0006]** Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren sowie eine Laserbearbeitungsmaschine zum Laserschweißen eines ersten und eines zweiten Werkstückabschnitts mittels eines Laserstrahls vorzuschlagen, durch welche in Abhängigkeit der Parameter zum Verschweißen des ersten und zweiten Werkstückabschnitts eine weitere Verbesserung in der Qualität der zu erzeugenden Schweißnaht ermöglicht wird.

**[0007]** Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren zum Laserschweißen eines ersten und zweiten Werkstückabschnitts mittels eines Laserstrahls gelöst, bei dem zumindest eine Spaltbreite eines zwischen dem ersten und zweiten Werkstückabschnitt gebildeten Fügespalts erfasst wird, die erfasste Spaltbreite entlang des Verlaufs des Fügespalt auswertet und mit zumindest einem ersten und einem zweiten Spaltmaß verglichen wird, wobei das erste Spaltmaß eine Spaltbreite umfasst, bei der eine Schweißnaht ohne Zusatzwerkstoff gebildet wird und das zweite Spaltmaß eine Spaltbreite umfasst, bei dem zum Auffüllen des Fügespalt ein Zusatzwerkstoff für die Bildung der Schweißnaht zugeführt wird und bei einer erfassten Spaltbreite, die innerhalb des ersten Spaltmaßes liegt, während dem Laserschweißen die Zuführung des Zusatzwerkstoffes zum Fügespalt stillgesetzt und ein Strahlprofil des Laserstrahls mit einem Punkt- oder Ringfokus eingestellt wird oder bei einer erfassten Spaltbreite, die innerhalb des zweiten Spaltmaßes liegt, eine Zuführung des Zusatzwerkstoffes zum Fügespalt angesteuert und ein Strahlprofil des Laserstrahls mit einem Ringfokus eingestellt wird. Dadurch wird in Abhängigkeit der Spaltbreite des Fügespalt, insbesondere entlang des Verlaufs des Fügespalt, eine Optimierung des Laserschweißens ermöglicht, indem eine Zuschaltung oder eine Abschaltung des Zusatzwerkstoffes einerseits und eine entsprechende Anpassung des Strahlprofils des Laserstrahls andererseits angesteuert werden. Es wird durch dieses Verfahren also ein tolerantes Laserschweißen ermöglicht, das heißt, dass auch bei abweichenden Verhältnissen entlang eines Fügespalt eine gleichbleibende Schweißqualität erzielt werden kann.

**[0008]** Nach einer bevorzugten Ausführungsform des Verfahrens wird der Fügespalt mit einer optischen Einrichtung erfasst, wobei vorzugsweise die Erfassung der Spaltbreite des Fügespalt und/oder dessen Verlauf während einem Teach-in-Modus durchgeführt werden. Dadurch kann eine Prozesszeitoptimierung ermöglicht sein. Alternativ kann unmittelbar vor dem Einbringen der Schweißnaht durch ein Sensorsystem der Fügespalt erfasst werden, wobei dieses Sensorsystem vorzugsweise in der Optik im Laserbearbeitungskopf integriert ist, welche relativ zum Laserstrahl coaxial oder off-axis den Fügespalt im Vorlauf erfasst. Die erfassten tatsächlichen geometrischen Verhältnisse des Fügespalt werden

durch die optische Einrichtung oder das Sensorsystem erfasst und an die Steuerungseinrichtung weitergeleitet, durch welches nach einem Abgleich der hinterlegten Parameter für die Auswahl des ersten und zweiten Spaltmaßes eine entsprechende Ansteuerung zur Zuführung oder Abschaltung des Zusatzwerkstoffes und zur Ausbildung des Strahlprofils des Laserstrahls durchgeführt wird.

**[0009]** Bevorzugt werden die Schweißparameter für das erste Spaltmaß zumindest der zu verschweißenden Werkstückabschnitte ausgehend von einer Materialdicke ausgewählt. Ein Auswahlkriterium hierfür kann die Materialdicke der zu verschweißenden Werkstücke sein, welche kleiner als das Spaltmaß ist. Neben der Materialdicke können auch Fügegeometrien und/oder das Material der zu verschweißenden Werkstücke in der Auswahl mit einfließen.

**[0010]** Bevorzugt wird das erste Spaltmaß zumindest von einer Materialdicke der zu verschweißenden Werkstückabschnitte ausgehend ausgewählt, wenn das erste Spaltmaß gleich oder kleiner als ein Anteil von 15% der Materialdicke des zu verschweißenden Werkstückabschnittes, besonders bevorzugt gleich oder kleiner als ein Anteil von 10 % der Materialdicke des zu verschweißenden Werkstückabschnittes ist. Dies kann insbesondere für Werkstücke mit einer Materialdicke von 3 mm oder weniger gelten. In solchen Fällen eignet sich besonders das Laserschweißen ohne Zuführung des Zusatzwerkstoffes. In Abhängigkeit der tatsächlichen Breite des Fügespaltens kann ergänzend noch ein punkt- oder ringförmiger Fokus für das Strahlprofil des Laserstrahls ausgewählt und angesteuert werden.

**[0011]** Des Weiteren ist bevorzugt das zweite Spaltmaß größer als das erste Spaltmaß und umfasst alle Breiten des Fügespaltens, welche außerhalb des ersten Spaltmaßes liegen. Dadurch kann eine einfache Differenzierung zwischen dem ersten und zweiten Spaltmaß sowie der dazugehörigen Einstellparameter für das Laserschweißen ermöglicht sein.

**[0012]** Eine bevorzugte Ausführungsform des Verfahrens sieht vor, dass der Zusatzwerkstoff zur Strahlachse des Laserstrahls in Schweißrichtung vorseilend dem Fügespalt zugeführt wird. Dies weist den Vorteil auf, dass nach dem Aufschmelzen des Zusatzwerkstoffes die Schweißstelle, bzw. das Schmelzbad, durch den Laserstrahl noch vollständig überfahren und dabei zusätzlich Wärme eingebracht wird, wodurch sich die Qualität der Schweißnaht verbessert. Der zusätzliche Wärmeeintrag richtet sich so vorwiegend in Schweißnahtichtung, weshalb kaum oder im günstigsten Fall kein zusätzlicher Bauteilverzug entsteht.

**[0013]** Der Zusatzwerkstoff kann gemäß einer ersten Ausführungsform des Verfahrens ein Zusatzdraht

sein, der über eine Drahtzuführeinrichtung zugeführt wird. Das Material und/oder die Dicke des Drahtes wird an die weiteren Parameter angepasst, die sich aus den zu verschweißenden Werkstückabschnitten ergeben, wie beispielsweise der Werkstoff, die Dicke der Werkstückabschnitte und/oder die Fügegeometrie. Alternativ kann als Zusatzwerkstoff ein Pulver eingesetzt werden, welches über eine Düse zugeführt wird. Diese eine Düse oder mehrere Düsen können neben dem Laserstrahl oder koaxial zum Laserstrahl angeordnet sein. Alternativ kann auch eine koaxiale Ringspaltdüse eingesetzt werden.

**[0014]** Des Weiteren wird bevorzugt durch das Strahlprofil des Laserstrahls mit einem Ringfokus eine ringförmige Strahlfläche gebildet, die den Fügespalt überdeckt, wobei durch einen inneren Strahlflächenrand ein innenliegender strahlfreier Bereich begrenzt wird, welcher vorzugsweise im Wesentlichen der Breite des Fügespaltens entspricht oder breiter ist und ein äußerer Strahlflächenrand der ringförmigen Strahlfläche beide Ränder der zu verschweißenden Werkstückabschnitte überdeckt. Eine solche Anpassung ermöglicht einerseits ein sicheres Schmelzen des Zusatzwerkstoffes im Fügespalt sowie ein Anschmelzen der Fügegeometrien der Werkstückabschnitte, um eine Schweißverbindung mit einer hohen Qualität zu erzielen.

**[0015]** Bevorzugt wird in einem Strahlflächenabschnitt des ringförmigen Strahlprofils des Laserstrahls, der durch einen in Vorlaufrichtung vorderen, den Fügespalt überdeckenden Bereich der ringförmigen Strahlfläche gebildet wird, der Zusatzwerkstoff zugeführt. Dies weist den Vorteil auf, dass der Zusatzwerkstoff schnell angeschmolzen und tiefer in den Fügespalt eingebracht werden kann und zunehmend die Randbereiche entfernt vom Fügespalt aufgewärmt werden. Dadurch kann ein homogenes Gefüge in der Schweißnaht gebildet sein.

**[0016]** Bevorzugt wird in einem nacheilenden, den Fügespalt überdeckenden Strahlflächenabschnitt des Ringfokus das im vorseilenden Flächenabschnitt gebildete Schmelze beziehungsweise Schmelzbad nachgewärmt. Dadurch kann der Temperaturgradient zum umliegenden Material verringert werden, wodurch die Abkühlgeschwindigkeit sinkt. Dies kann einen positiven Einfluss auf die Entstehung von Heißrissen haben.

**[0017]** Eine weitere vorteilhafte Ausgestaltung des Verfahrens sieht vor, dass die Breite des den Fügespalt überdeckenden Strahlabschnitts des Laserstrahls mit dem ringförmigen Strahlprofil durch einen Abstand des Strahlfokus oberhalb oder unterhalb der Ebene der zu verbindenden Werkstückabschnitte eingestellt wird. Dadurch kann in einfacher Weise die Breite des Strahlflächenabschnitts eingestellt

werden, der auf den Fügespalt und benachbarten Fügespalt auftrifft.

**[0018]** Alternativ kann das Strahlprofil durch eine 2-in-1-Faser, eine 3-in-1-Faser, eine n-in-1-Faser oder ein Axicon gebildet werden. Diese Ausführungsformen weisen den Vorteil auf, dass keine zusätzlichen bewegten Teile im Bearbeitungskopf erforderlich und zusätzlich sehr hohe Laserintensitäten ermöglicht sind.

**[0019]** Eine weitere bevorzugte Ausführungsform des Verfahrens sieht vor, dass der Zusatzwerkstoff mit einer Zuführeinrichtung dem Fügespalt zugeführt und die Zuführeinrichtung in einer Zuführachse zum Fügespalt, vorzugsweise senkrecht dazu, ausgerichtet wird und der Laserstrahl vom Gehäuse in eine am Gehäuse angeordnete Bewegungseinrichtung eingekoppelt und in eine Strahlachse der Bewegungseinrichtung übergeführt wird, wobei die Strahlachse der Bewegungseinrichtung entsprechend dem Verlauf des Fügespalt in Schweißrichtung um die Zuführachse rotierend angetrieben wird und während der Rotationsbewegung der Bewegungseinrichtung die Strahlachse den Zuführwerkstoff im Fügespalt kreuzt. Dies weist den Vorteil auf, dass in einfacher Weise eine Bearbeitung von Fügespalten erforderlich ist, die nicht nur ausschließlich einen geradlinigen Verlauf aufweisen. Es können beliebige Linienführungen des Fügespalt mit einer vorzugsweise kontinuierlichen Verfahrensbewegung des Laserbearbeitungskopfes bearbeitet werden können.

**[0020]** Die der Erfindung zugrunde liegende Aufgabe wird des Weiteren durch eine Laserbearbeitungsmaschine mit einer Laserquelle und einer Strahlführung gelöst, bei welcher mittels einem Laserbearbeitungskopf ein Laserstrahl auf einen Fügespalt gerichtet und eine Zuführeinrichtung vorgesehen ist, die in einer Zuführachse liegt und den Zusatzwerkstoff in der Zuführachse dem Fügespalt zuführt und an dem Gehäuse eine Bewegungseinrichtung vorgesehen ist, durch welche der im Gehäuse entlang einer Hauptachse geführte Laserstrahl oberhalb dem Fügespalt umgelenkt und in eine Strahlachse in der Bewegungseinrichtung übergeführt ist, welche in einem Winkel zur Zuführachse oder Hauptachse ausgerichtet ist und den Fügespalt kreuzt und die Bewegungseinrichtung um die Zuführachse oder Hauptachse rotierend am Gehäuse vorgesehen ist. Dadurch wird eine am Laserbearbeitungskopf feststehende Zuführachse gebildet, welche die Zuführgenauigkeit des Zusatzwerkstoffs verbessert. Darüber hinaus kann durch die Ausrichtung der Strahlachse unabhängig zur Linearbewegung beziehungsweise Verfahrensbewegung des Bearbeitungskopfes eine exakte Anpassung an den tatsächlichen Verlauf des Fügespalt ermöglicht sein, um die Schweißnaht zu bilden. Die Strahlachse wird auf den Verlauf des Fügespalt ausgerichtet.

**[0021]** Bevorzugt liegt die Zuführachse in der Hauptachse. Dadurch wird der Aufbau des Laserbearbeitungskopfes vereinfacht. Alternativ kann diese auch parallel zur Hauptachse ausgerichtet sein.

**[0022]** Bevorzugt ist die Hauptachse der Kollimationsoptik des Laserstrahls senkrecht zum Fügespalt ausgerichtet. Dadurch können des Weiteren einfache geometrische Verhältnisse im Aufbau des Laserbearbeitungskopfes und auch in der Ansteuerung mittels eines ein- oder mehrachsigen Linearachsensystems geschaffen werden.

**[0023]** Eine bevorzugte Ausführungsform der Laserbearbeitungsmaschine sieht vor, dass die Strahlachse der Bewegungseinrichtung in einem Winkel von mindestens  $\pm 90^\circ$ , insbesondere mindestens  $\pm 135^\circ$ , drehbar um die Hauptachse am Gehäuse gelagert ist.

**[0024]** Die Bewegungseinrichtung der Laserbearbeitungsmaschine weist bevorzugt zumindest einen Umlenkspiegel, eine insbesondere als Fokussierlinse ausgebildete Bearbeitungsoptik und vorzugsweise ein strahlaustrittsseitig angeordnetes Schutzglas auf. Dadurch können in einfacher Weise eine Auskoppelung des Laserstrahls aus der Hauptachse und eine Überleitung in die zum Fügespalt ausrichtbare Strahlachse erfolgen. Bevorzugt ist diese Bewegungseinrichtung an einem die Kollimationsoptik umfassenden Gehäuse des Laserbearbeitungskopfes mittels eines Drehlagers angeordnet.

**[0025]** Eine weitere bevorzugte Ausgestaltung der Laserbearbeitungsmaschine sieht vor, dass die Zuführungseinrichtung einen fest am Gehäuse des Laserbearbeitungskopfes angeordneten Halter zur ortsfesten Aufnahme der Zuführdüse in der Hauptachse aufweist. Die Bewegungseinrichtung ist bevorzugt drehbar um diese Hauptachse. Dadurch sind definierte Verhältnisse gegeben, die infolge einer präzisen Schweißnahtbildung ermöglicht werden. Alternativ kann der Halter auch an der Bewegungseinrichtung vorgesehen sein, welcher um die Hauptachse am Gehäuse drehbar ist.

**[0026]** Des Weiteren ist bevorzugt an dem Gehäuse eine Fördereinrichtung für den Zuführwerkstoff vorgesehen. Im Falle der Ausbildung eines Drahtes als Zusatzwerkstoff ist eine Drahtzuführdüse vorgesehen, durch welche zentrisch der Zusatzdraht hindurchgeführt ist, der mittels der als Drahtförderer ausgebildeten Drahtfördereinrichtung kontrolliert und vorzugsweise über die Steuerungseinrichtung angesteuert zugeführt wird. Alternativ kann auch ein Pulver als Zusatzwerkstoff zugeführt werden. Die Zuführdüse liegt bevorzugt in der Hauptachse.

**[0027]** Eine weitere Ausgestaltung der Laserbearbeitungsmaschine sieht an dem Halter der Zuführeinrichtung einen Linienlaser vor, dessen Laserstrahl

vorzugsweise auf den Fügespalt gerichtet ist. Dieser zusätzliche Linienlaser kann zusammen mit einem geeigneten Sensor zur Laserlinien-Triangulation genutzt werden. Hiermit lassen sich insbesondere Abstandsinformationen, sowie auch Spaltlage und Spaltbreite bestimmen.

**[0028]** Eine weitere vorteilhafte Ausgestaltung der Laserbearbeitungsmaschine sieht an der Bewegungseinrichtung eine vorzugsweise in der Höhe einstellbare Lineardüse zum Zuführen von Schutzgas vor. Diese Lineardüse ist vorteilhafterweise nachteilend zur Zuführeinrichtung vorgesehen, wodurch eine bessere Abdeckung der abkühlenden Schmelze erreicht wird und es zu weniger Oxidation an der Nahtoberraupe kommt, wodurch eine verbesserte Schweißnahtqualität erzielt werden kann.

**[0029]** Zur Erzeugung des ringförmigen oder punktförmigen Strahlprofils des Laserstrahls kann eine 2-in-1-Faser, eine 3-in-1-Faser oder ein Axicon oder eine N-in-1-Faser mit mehreren coaxialen Ringfasern vorgesehen sein. Ein Vorteil der verwendeten Faser ist, dass durch das Fehlen von zusätzlichen optomechanischen Komponenten, wie dies bei dem Axicon erforderlich wäre, der Platzbedarf der Optik geringer ist und keine zusätzliche Störkontur entsteht.

**[0030]** Die Erfindung sowie weitere vorteilhafte Ausführungsformen und Weiterbildungen derselben werden im Folgenden anhand der in den Zeichnungen dargestellten Beispiele näher beschrieben und erläutert. Die der Beschreibung und den Zeichnungen zu entnehmenden Merkmale können einzeln für sich oder zu mehreren in beliebiger Kombination erfindungsgemäß angewandt werden. Es zeigen:

**[0031]** Fig. 1 eine perspektivische Ansicht auf eine Werkzeugmaschine,

**[0032]** Fig. 2 eine perspektivische Ansicht einer Laserbearbeitungsanlage,

**[0033]** Fig. 3 eine schematische Darstellung eines in eine 2-in-1-Faser eingekoppelten Laserstrahls zur Erzeugung eines Punktfokus,

**[0034]** Fig. 4 eine schematische Darstellung eines in eine 2-in-1-Faser eingekoppelten Laserstrahls zur Erzeugung eines Ringfokus,

**[0035]** Fig. 5 eine schematische Schnittansicht eines Laserbearbeitungskopfes der Laserbearbeitungsmaschine in Fig. 2,

**[0036]** Fig. 6 eine schematische Schnittansicht einer alternativen Ausführungsform des Laserbearbeitungskopfes zu Fig. 5,

**[0037]** Fig. 7 eine schematische Schnittansicht einer alternativen Ausführungsform des Laserbearbeitungskopfes zu Fig. 6,

**[0038]** Fig. 8 eine schematische Seitenansicht eines Schweißprozesses zur Bildung einer Schweißnaht zwischen zwei Werkstückabschnitten,

**[0039]** Fig. 9 eine schematische Ansicht von oben auf den Verfahrensschritt gemäß Fig. 8,

**[0040]** Fig. 10 und Fig. 11 schematische Seitenansichten alternativer Ausführungsformen des Verfahrens zu Fig. 8,

**[0041]** Fig. 12 eine schematische Ansicht von oben auf einen gekrümmten Verlauf eines Fügespaltes, in welchem mehrere Schweißpositionen dargestellt sind, und

**[0042]** Fig. 13 eine schematische Ansicht eines Brechzahlverlaufes bei einer N-in-1-Faser.

**[0043]** In Fig. 1 ist eine Werkzeugmaschine **1** mit einer Laserbearbeitungsanlage **3** als Grundmaschine für die Bearbeitung eines Werkstücks dargestellt. Die Bedienung der Werkzeugmaschine **1** erfolgt über ein Bedienpult **5**, beispielsweise über die Erstellung und Einstellung von NC-Programmen, die spezifische auf Werkstücke und deren Bearbeitung abgestimmte Arbeitsabläufe festlegen. Ein z.B. rückseitig der Werkzeugmaschine **1** angeordneter nicht dargestellter Schaltschrank weist als Teil einer Werkzeugmaschinensteuerung die zugehörige Maschinensteuerung, eine elektrische Versorgung von Antrieben sowie Logik- und Leistungsteile auf.

**[0044]** Ein nicht explizit in Fig. 1 gezeigtes Lasergerät der Laserbearbeitungsanlage **3** dient der Erzeugung von Laserstrahlung und kann beispielsweise auf einem Festkörperlaser wie einem Scheibenlaser oder Faserlaser oder einem Gaslaser wie einem CO<sub>2</sub>-Laser basieren. Über Laserlichtkabel und/oder Spiegel kann die Strahlführung vom Lasergerät zur Werkstück erfolgen. Ein Kühlaggregat **9** für das Lasergerät sorgt für die Kühlung optischer Bauelemente wie Umlenk- oder Kollimationsspiegel und des Schaltschranks. Eine Schutzkabine **11** dient der Abschirmung von Laserstrahlung nach außen. In Fig. 1 ist zur Einsichtnahme die Dachverkleidung der Schutzkabine **11** nicht dargestellt.

**[0045]** Weitere Komponenten der Werkzeugmaschine **1** umfassen beispielsweise einen Rotationswechsler **13** zum Halten von zu bearbeitenden Werkstücken und zum leichten Entnehmen von bearbeiteten Werkstücken, einen Kompaktentstauber **15** zur Absaugung von Rauchgasen und Schwebeteilchen aus dem Innenraum, einen Schrottförderer **17** sowie integrierte, nicht explizit gezeigte Elemente für

die Pneumatik, für die Schneid- und Schweißgasversorgung sowie für die Zentralschmierung. Ferner kann ein Lichtgitter **19** einen externen Zugangsbereich zum Rotationswechsler **13** abgrenzen.

**[0046]** Ein durch die Maschinensteuerung kontrollierter Arbeitsablauf erlaubt die Bearbeitung des Werkstücks auf eine vorbestimmte Art und Weise unter Zusammenwirken der verschiedensten Komponenten der Laserbearbeitungsmaschine.

**[0047]** Fig. 2 zeigt schematisch den Aufbau der Laserbearbeitungsanlage **3** im Innenraum der Schutzkabine **11**. Die Schutzkabine **11** umgibt eine Bewegungseinheit **25** mit funktionsrelevanten Bauteilen wie X-, Y- und Z-Schlitten **26**, **27**, **28** und Drehgelenken **29**, **30** zur Bewegung von Strahlführungs- und Medienzuführungskomponenten relativ zu einem Werkstück **24**. Faltenbälge **34**, **35**, **36** decken entsprechend Leitungen und mechanische Komponenten ab und verlaufen z.B. entlang der Führungen der X- und Y-Schlitten **26**, **27**.

**[0048]** Die Strahlführungskomponenten umfassen beispielsweise ein Laserlichtkabel **22**, eine Kollimationsoptik **51** und eine Bearbeitungsoptik **66** zum Leiten und Fokussieren des Laserstrahls **21** auf ein Werkstück **24**. Zumindest die Bearbeitungsoptik **66** ist üblicherweise in einem Bearbeitungskopf **7** vorgesehen, der im Wesentlichen frei positioniert und ausgerichtet werden kann, und aus dem der Laserstrahl **21** austritt. Bevorzugt ist auch die Kollimationsoptik **51** im Bearbeitungskopf **7** vorgesehen. Insbesondere kann der Bearbeitungskopf **7** in einem durch die X-, Y- und Z- Schlitten **26**, **27**, **28** sowie die Drehgelenke **29**, **30** bestimmten Bereich jede einstellbare Position und Orientierung einnehmen. Den X-, Y- und Z- Schlitten **26**, **27**, **28**, sowie den Drehgelenken **29**, **30** sind Antriebseinheiten zugeordnet, die es erlauben, eine Relativbewegung des Bearbeitungskopfs **7** bezüglich des Werkstücks **24** durchzuführen. Daraus ergibt sich ein Arbeitsraum, der alle Punkte umfasst, die durch den entsprechend fokussierten austretenden Laserstrahl **21** bearbeitbar sind.

**[0049]** Medienzuführungskomponenten sind zum Beispiel eine Zuführeinrichtung **69** für einen Zusatzwerkstoff und/ oder Schutz- oder Prozessgas, sowie eine oder mehrere Zufühdüsen **71**, welche z.B. am Bearbeitungskopf **7** befestigt sind.

**[0050]** Das Werkstück **24** ist in der Ausführung gemäß Fig. 2 aufgrund einer Spanntechnik ortsfest auf der Werkstücklagerungsvorrichtung **23** gelagert, so dass hier die Bearbeitung nur von oben erfolgen kann. In alternativen Ausführungsformen ist das Werkstück **24** ebenfalls oder nur das Werkstück **24** im Raum bewegbar. Fig. 2 zeigt schematisch eine Werkstücklagerungsvorrichtung **23** mit einer Werkstückauflage zum Lagern des zu bearbeitenden Werk-

stücks **24**. Zur Werkstücklagerungsvorrichtung **23** gehören in der Regel weitere Elemente, wie Spanner zum Spannen des Werkstücks **24**, sowie Sensoren für die Bauteilerkennung. Weitere Elemente sind beispielsweise ein externer Taster für die Beladebestätigung oder eine Statusleuchte, die dem Anwender die Bauteilerkennung signalisiert. Die elektrischen und pneumatischen Schnittstellen zum Anschluss der Elemente können sich beispielsweise im Schaltschrank, am Bedienpult **5** oder am Rotationswechsler **13** befinden.

**[0051]** Die Laserbearbeitungsanlage **3** ist geeignet sowohl ebene Bleche, wie auch dreidimensional, variabel geformte Werkstücke, wie z.B. umgeformte Bleche schneidend, schweißend oder erwärmend zu bearbeiten. Alternativ zur dargestellten Ausführungsform wäre z.B. eine Maschine mit einem 6-Achsen-Knickarmroboter in der Lage dieselben Aufgaben auszuführen.

**[0052]** Fig. 2 zeigt ein dreidimensionales Bauteil **24**, an dem beispielsweise ein Fügespalt **60** als Eckstoß zwischen zwei Bauteilkanten schweißend zusammengefügt wird.

**[0053]** Für die Strahlführung **22** kann beispielsweise gemäß Fig. 3 eine 2-in-1-Faser **37** eingesetzt werden, in welche der Laserstrahl **21** aus der Laserquelle **12** eingekoppelt wird. Dadurch ist eine Veränderung der Strahlcharakteristik des Laserstrahls **21** möglich. Bei der 2-in-1-Faser **37** ist vorgesehen, dass ein innerer Kern **38** und ein äußeres Ringprofil **39** z.B. durch eine Zwischenschicht **40** mit geringerem Brechungsindex getrennt sind. Bei einer zentralen Einkopplung des Laserstrahls **21**, wie dies in Fig. 3 dargestellt ist, kann der Laserstrahl **21** beispielsweise über eine Koppellinse **41** fokussiert werden, so dass der Laserstrahl **21** in den inneren Kern **38** eingekoppelt wird. Am gegenüberliegenden Ende der 2-in-1-Faser **37** weist das Strahlprofil des Laserstrahls **31** einen Punktfokus **43** auf, der ein vollständig ausgefülltes Kreisprofil umfasst. Dadurch kann eine hohe Strahlqualität mit einem scharfen Fokus erzielt werden.

**[0054]** In Fig. 4 ist eine schematische Ansicht des Laserstrahls **21** dargestellt, bei welcher der Laserstrahl in ein äußeres Ringprofil **39** der 2-in-1-Faser **37** eingekoppelt ist. Dies kann beispielsweise dahingehend erfolgen, indem eine Keilplatte **44** den Laserstrahl **21** aus einer Achse geringfügig ablenkt und durch die Koppellinse **41** fokussiert, so dass der Laserstrahl **21** in das äußere Ringprofil **31** eingekoppelt wird. Daraus ergibt sich ein Strahlprofil des Laserstrahls **21** mit einem Ringfokus **46**, der eine ringförmige Strahlfläche **84** umfasst. Ein innerer freibleibender Bereich **47** wird durch einen innenliegenden Strahlflächenrand **89** begrenzt und im Wesentlichen

durch den Durchmesser des inneren Kerns **38** der 2-in-1-Faser **37** bestimmt.

**[0055]** Der Einsatz einer 2-in-1-Faser **37** ist nur beispielhaft. Alternativ kann auch eine 3-in-1-Faser, d.h. eine Faser mit einem zusätzlichen weiteren Ringprofil, vorgesehen sein. Ebenso ist es möglich alternativ zur beschriebenen Stufenindexfaser eine Gradientenindexfaser zu verwenden.

**[0056]** In **Fig. 5** ist eine schematische Schnittansicht eines Laserbearbeitungskopfes **7** dargestellt. Über die Strahlführung **22** wird der Laserstrahl **21** in das Gehäuse **16** des Laserbearbeitungskopfes **7** eingekoppelt. Die Kollimationsoptik **51** kann das zugeführte Strahlprofil des Laserstrahls **21** an die Arbeitsbedingungen anpassen. Die Kollimationsoptik **51** liegt bevorzugt in der Hauptachse **56** des Laserbearbeitungskopfes **7**.

**[0057]** An dem Gehäuse **16** des Laserbearbeitungskopfes **7** ist eine Bewegungseinrichtung **55** vorgesehen, welche vorzugsweise um die Hauptachse **56** drehbar angeordnet sein kann. Bevorzugt ist ein Drehlager **57** vorgesehen, um diese Bewegungseinrichtung **55** um die Hauptachse **56** drehbar aufzunehmen. Diese Bewegungseinrichtung **55** umfasst optische Elemente, durch welche der Laserstrahl **21** von dem Laserbearbeitungskopf **7** aus der Hauptachse **56** ausgekoppelt und in eine Strahlachse **59** übergeführt wird. Diese Strahlachse **59** ist auf einen Fügespalt **60** gerichtet, der durch zwei miteinander zu verschweißende Werkstückabschnitte **61**, **62** gebildet ist. Diese Strahlachse **59** ist in einem Winkel von  $5^\circ$  bis  $45^\circ$  zur Hauptachse geneigt. Besonders bevorzugt ist ein Winkel zwischen  $7^\circ$  und  $15^\circ$ , da hierbei eine gute Einkopplung in das Material gewährleistet ist und Rückreflexionen in die Laseroptik vermieden werden.

**[0058]** Das Drehlager **57** kann bevorzugt auch mit einer Kupplung versehen sein, um verschieden ausgestaltete Bewegungseinrichtungen **55** aufnehmen zu können. Dadurch lassen sich auch Optiken für andere Bearbeitungsaufgaben, wie Laserschneiden oder Oberflächenbehandlung, am Gehäuse **16** drehbar befestigen.

**[0059]** Die Bewegungseinrichtung **55** umfasst einen ersten und zumindest einen weiteren Umlenkspiegel **63**, **64** sowie eine Bearbeitungsoptik **66** welche den Laserstrahl **21** fokussiert als auch vorzugsweise ein Schutzglas **67**, durch welches die Bearbeitungsoptik **66** vor Verschmutzung geschützt wird. Durch die Bearbeitungsoptik **66** und/oder die Kollimationsoptik **51** kann ein Fokus **83** des Laserstrahls **21** eingestellt werden, der sowohl oberhalb, auf Oberflächenhöhe, oder auch unterhalb des Fügespalts **60** der Werkstückabschnitte **61**, **62** liegen kann, wie dies nachfolgend noch anhand der **Fig. 6** und **Fig. 8** erläutert wird.

**[0060]** Durch die radial seitliche Auskopplung des Laserstrahls **21** durch die Bewegungseinrichtung **55** ist eine Zuführeinrichtung **69** in der Hauptachse **56** liegend anordenbar. Bevorzugt umfasst diese Zuführeinrichtung **69** eine Zuführdüse **71**, welche bevorzugt über einen an dem Gehäuse **16** feststehend angeordneten Halter **72** in der Hauptachse **56** positioniert ist. Für den Schweißprozess kann ein Zusatzwerkstoff **73** zugeführt werden. Im Ausführungsbeispiel gemäß **Fig. 5** ist der Zusatzwerkstoff **73** als ein Zusatzdraht ausgebildet, der zentral durch eine Zuführdüse **71** hindurchgeführt wird. Am Gehäuse **16** des Laserbearbeitungskopfes **7** ist des Weiteren eine Fördereinrichtung **74** vorgesehen, die im vorliegenden Beispielfall als Drahtförderer ausgebildet ist. Diese Fördereinrichtung **74** ist mit der Maschinen-Steuerungseinrichtung **31** und/oder Laser-Steuerungseinrichtung **32** verbunden und wird über diese angesteuert.

**[0061]** Durch die Positionierung der Zuführdüse **71** in der Hauptachse **56** wird der Zusatzwerkstoff **73** vorzugsweise senkrecht zur Oberfläche der Werkstückabschnitte **61**, **62** beziehungsweise senkrecht zum Fügespalt **60** zugeführt.

**[0062]** An dem Halter **72** können zusätzlich noch ein Linienlaser **75** oder weitere optische Systeme vorgesehen sein. Die Ausrichtung dieser optischen Systeme ist derart, dass diese auf die Schweißstelle gerichtet sind. Die Schweißstelle ist durch das Auftreffen des Laserstrahls **21** auf den Fügespalt **60** definiert.

**[0063]** Des Weiteren kann in oder am Laserbearbeitungskopf **7** ein optisches Sensorsystem **54** vorgesehen sein, um die Schweißstelle beziehungsweise den Fügespalt **60** und/ oder den auf das Werkstück projizierten Linienlaser **78** zu erfassen. Über ein Auskoppelement **53** kann ein ausgekoppelter Strahl dem Sensorsystem **54**, wie beispielsweise einer Kamera, insbesondere CCD-Kamera, zur Erfassung des Fügespalts **60** zugeführt werden, welche die daraus gewonnenen Signale an die Steuerungseinrichtung **31**, **32** weiterleitet.

**[0064]** Des Weiteren kann an der Bewegungseinrichtung **55** eine Düse, insbesondere Lineardüse **76** vorgesehen sein, durch welche Schutzgas in Richtung des der Bauteile **61**, **62** auf die Schweißnaht ausströmt. Hierdurch wird die frische Schweißnahtoberraupe in der Abkühlphase vor Sauerstoff aus der Atmosphäre abgeschirmt. Zusätzlich strömt bevorzugt ein Teil des Schutzgases in Richtung der Verfahrbewegung **77** des Laserbearbeitungskopfes **7** während dem Laserschweißen, um auch bereits die Prozessstelle gegen die Atmosphäre abzuschirmen. Die Schutzgaszuführung könnte alternativ auch am Halter **72** angebracht sein um eine bessere Zugäng-

lichkeit zu ermöglichen, dazu sind auch andere Düsenformen als eine Lineardüse möglich.

**[0065]** In Fig. 6 ist eine schematische Schnittansicht einer alternativen Ausführungsform des Laserbearbeitungskopfes 7 gemäß Fig. 5 dargestellt. Diese Ausführungsform gemäß Fig. 6 unterscheidet sich zur Ausführungsform gemäß Fig. 5 dahingehend, dass der Halter 72' an der Bewegungseinrichtung 55 angeordnet ist und nicht an dem Gehäuse 16. Im Übrigen entspricht diese Ausführungsform dem Laserbearbeitungskopf 7 gemäß Fig. 5, so dass darauf vollständig Bezug genommen wird. Diese in Fig. 6 dargestellte Ausführungsform des Laserbearbeitungskopfes 7 weist den Vorteil auf, dass die Bewegungseinrichtung 55 über die gesamten 360° um die Zuführachse 70, insbesondere die Hauptachse 56 drehbar ist. Eine vollständige Rotation der Bewegungseinrichtung 55 um die Zuführachse 70, insbesondere die Hauptachse 56, ist möglich. Des Weiteren weist diese Ausführungsform den Vorteil auf, dass durch das Mitdrehen des Linienlasers 75 die durch den Linienlaser 75 erzeugte Linie, welche senkrecht zum Fügespalt 60 ausgerichtet ist, in dieser Ausrichtung bei einer Drehbewegung bleibt. Dies erleichtert eine Auswertung der sich darstellenden Situation am Fügespalt 60 durch die Sensoren, wodurch die Prozesssicherheit erhöht werden kann.

**[0066]** In Fig. 7 ist eine schematische Seitenansicht einer alternativen Ausführungsform des Laserbearbeitungskopfes 7 zu Fig. 6 dargestellt. Diese Ausführungsform weicht zu der in Fig. 6 dargestellten Ausführungsform dahingehend ab, dass die Zuführachse 70 der Zuführeinrichtung 69 parallel zur Hauptachse 56 des Gehäuses 16 beziehungsweise zur Kollimationsoptik 51 ausgerichtet ist. Der Halter 72' ist außermittig an der Bewegungseinrichtung 55 angeordnet. Alternativ positioniert der an der Bewegungseinrichtung 55 angeordnete Halter 72' die Zuführdüse 71 mit der Zuführachse 70 parallel versetzt zur Hauptachse 56 der Kollimationsoptik. Im Übrigen gelten die analogen Ausführungen zu Fig. 6 beziehungsweise Fig. 5.

**[0067]** Durch die Maschinen-Steuerungseinrichtung 31 und/oder der Laser-Steuerungseinrichtung 32 wird das Laserschweißen der zwei Werkstückabschnitte 61, 62 gesteuert. Bevorzugt sind die Werkstückabschnitte 61, 62 derart zueinander positioniert, dass die Breite des Fügespalt 60 nahezu gleich Null ist. Allerdings lässt sich dies aufgrund von Bearbeitungstoleranzen oder weiteren Anforderungen zu meist nicht hinreichend realisieren. Deshalb ist der Fügespalt 60 unterschiedlich breit. Durch die vorstehend beschriebene Anordnung des Laserbearbeitungskopfes 7, die Erfassung des Fügespalt 60 vor der Bildung der Schweißnaht 81 und die Veränderung der Strahlcharakteristik des Laserstrahls von einem Ringfokus 43 in einen Punktfokus 46 und umgekehrt, kann mit dem nachfolgend anhand der Fig. 8

bis Fig. 11 beschriebenen Schweißverfahren eine Anpassung an die sich ändernden Gegebenheiten unmittelbar durchgeführt und eine hohe Qualität der Schweißverbindung erzielt werden.

**[0068]** Bevor der durch die zu verschweißenden Werkstückabschnitte 61, 62 gebildete Fügespalt 60 verschweißt wird, kann durch ein Teach-in-Verfahren der Verlauf und/oder die Breite des Fügespalt 60 erfasst werden. Hierfür kann der Linienlaser 25 eingesetzt werden, der vorseilend an dem Laserbearbeitungskopf 7 angeordnet ist und durch eine Sensorik erfasst wird, die in der Maschine, an der Bearbeitungsanlage, in oder am Laserbearbeitungskopf 7 angebracht ist. In Fig. 5 wird diese Sensorik durch das Sensorsystem 54 gebildet. Alternativ kann das Sensorsystem 54 auch allein vorgesehen sein. Das Sensorsystem ist vorteilhaft im Laserbearbeitungskopf 7 angeordnet, so dass durch die Bearbeitungsoptik 66 auch die erforderlichen Prozessdaten für den Fügespalt 60 erfassbar sind. Das nachfolgende Verfahren zum Laserschweißen gilt sowohl für einen vorausgegangenen Teach-in-Modus als auch eine optische Erkennung des Fügespalt 60 bei einer unmittelbar darauffolgenden Bildung einer Schweißnaht 81 in dem Fügespalt 60.

**[0069]** Bei der Erkennung eines ersten Spaltmaß eines Fügespalt 60, welches beispielsweise kleiner als die Materialdicke der zu verschweißenden Werkstückabschnitte 61, 62 ist, wird die Einkopplung des Laserstrahls 21 in die Strahlführung 22 derart angesteuert, dass der Laserstrahl ein Strahlprofil mit einem Punktfokus 43 aufweist. Gleichzeitig wird die Zuführeinrichtung 69 für den Zusatzwerkstoff 73 stillgesetzt. Darauffolgend wird der Laserbearbeitungskopf 7 entlang dem Verlauf des Fügespalt 60 verfahren und die Schweißnaht 81 gebildet, um den Fügespalt 60 zu schließen. Sofern vor dem Schweißvorgang kein Teach-in-Modus folgt, wird während des Laserschweißens zumindest die Spaltbreite des Fügespalt 60 durch das Sensorsystem 54 überwacht und abgefragt.

**[0070]** Sofern sich die Spaltbreite des Fügespalt 60 ändert, so dass eine Spaltbreite erfasst wird, die größer ist als das erste Spaltmaß, werden mittels der Maschinen-Steuerungseinrichtung 31 und/oder Laser-Steuerungseinrichtung 32 die Schweißparameter geändert. Die Zuführeinrichtung 69 wird angesteuert, um den Zusatzwerkstoff hinzu zu führen. Des Weiteren wird die Strahlcharakteristik des Laserstrahls 21 von einem Punktfokus 43 in einen Ringfokus 46 geändert. Weitere Parameter, wie beispielsweise Laserintensität, können ebenfalls angepasst werden.

**[0071]** Bei einem Verschweißen der Werkstückabschnitte 62, 63 mit einem ringförmigen Strahlprofil des Laserstrahls 21 ist der Zusatzwerkstoff 73 vorseilend zum Laserstrahl 21 angeordnet. Der Ring-



fokus **46** ist bevorzugt derart eingestellt, dass der Fokuspunkt **83** beispielsweise auf der Werkstückebene der Werkstückabschnitte **61, 62** liegt (Fig. 8). Dadurch bildet sich eine ringförmige Strahlfläche **84**, welche beispielsweise einen inneren strahlfreien Bereich **47** aufweist, der im Wesentlichen der Breite des Fügespaltes **60** entspricht, wie dies in Fig. 9 dargestellt ist. Ein äußerer Strahlflächenrand **85** erstreckt sich in den Randbereich der Werkstückabschnitte **61, 62** hinein, der entlang des Fügespaltes **60** verläuft.

[0072] Dadurch ergibt sich ein vorseilender Strahlflächenabschnitt **86**, der den Fügeabschnitt **60** überdeckt. Des Weiteren ergibt sich ein Strahlflächenabschnitt **87**, der gegenüber dem Strahlflächenabschnitt **86** nacheilend ist. Links und rechts des Fügespaltes **60** ist eine überdeckende Strahlfläche **88**, welche die Fügegeometrie beziehungsweise auf die Randkontur der Werkstückabschnitte **61, 62** einwirkt.

[0073] Die Zuführung des Zuführwerkstoffes **73** erfolgt derart, dass der vorseilende Strahlflächenabschnitt **86** den Zusatzwerkstoff **73** kreuzt beziehungsweise der Zusatzwerkstoff **73** dem Fügespalt **60** derart zugeführt wird, dass dieser innerhalb des Strahlflächenabschnitts **86** liegt. Dadurch wird in diesem Bereich ein Aufschmelzen des Zusatzwerkstoffes **73** sowie der Randkontur und der Werkstückabschnitte **61, 62** und die Bildung einer Schweißnaht **81** erreicht. Durch den nacheilenden Strahlflächenabschnitt **87** wird das im vorseilenden Flächenabschnitt gebildete Schmelzbad nachgewärmt. Dadurch kann die Abkühlgeschwindigkeit verringert werden, wodurch eine Verbesserung der Qualität der Schweißnaht **81** erzielt wird.

[0074] Die schematische Darstellung des auf den Fügespalt **60** gerichteten Laserstrahls **21** und des Zusatzwerkstoffes **73** in Fig. 10 weicht dahingehend von der beschriebenen Ausführungsform in den Fig. 8 und Fig. 9 ab, dass der Fokus **83** des Ringfokusses **46** oberhalb der Werkstückabschnitte **61, 62** liegt. Dadurch ergeben sich analoge Verhältnisse wie bei den Ausführungsformen gemäß den Fig. 8 oder Fig. 9. Eine Abweichung liegt darin, dass bei einem Fokus **83** oberhalb der Werkstückebene bei gleicher Ausrichtung der Strahlachse **59** und der Hauptachse **56** ein bezogen auf den Fügespalt **60** längerer vorseilender Strahlflächenabschnitt **86** als bei einer Lage des Fokus **83** auf der Werkstückebene der Werkstückabschnitte **61, 62** erhalten werden kann. Dies kann besonders bei niedrigen Vorschubgeschwindigkeiten vorteilhaft sein um den Zusatzwerkstoff **73** mit weniger Laserleistung zu beaufschlagen und so die Aufschmelzgeschwindigkeit an die ebenfalls niedrigere Zuführgeschwindigkeit anzupassen.

[0075] In Fig. 11 ist der Ringfokus **46** derart eingestellt, dass der Fokus **83** unterhalb der Werkstückebene der Werkstückabschnitte **61, 62** liegt. Der Un-

terschied bezüglich den Verhältnissen in Fig. 8 und Fig. 9 liegt darin, dass bei einem Fokus **83** unterhalb der Werkstückebene bei gleicher Ausrichtung der Strahlachse **59** und der Hauptachse **56** ein bezogen auf den Fügespalt **60** längerer nacheilender Strahlflächenabschnitt **87** als bei einer Lage des Fokus **83** auf der Werkstückebene der Werkstückabschnitte **61, 62** erhalten werden kann. Bei gleicher Vorschubgeschwindigkeit wird somit das Schmelzbad etwas länger nachgewärmt. Zudem ist in Fig. 11 erkennbar, dass bedingt durch die Laserstrahlcharakteristik bei einer Fokusslage unter der Werkstückebene der Werkstückabschnitte **61, 62** der Zusatzwerkstoff **73** einen größeren Abstand durch den Laserstrahl **21** bis zur Werkstückebene der Werkstückabschnitte **61, 62** zurücklegen muss, wodurch auch eine höhere Zuführgeschwindigkeit erreicht werden kann, bei welcher der Zusatzwerkstoff **73** noch vollständig aufgeschmolzen wird. Die unter der Werkstückebene der Werkstückabschnitte **61, 62** liegende Fokusslage ist damit also besonders geeignet für hohe Vorschubgeschwindigkeiten oder wenn viel Zusatzwerkstoff benötigt wird, wie z.B. bei dicken Bauteilen oder vergleichsweise großem Spalt.

[0076] In Fig. 12 ist beispielsweise ein Verlauf eines Fügespaltes **60** mit einer unterschiedlichen Breite zwischen den Werkstückabschnitten **61, 62** dargestellt. Gleichzeitig ist dieser Fügespalt **60** nicht geradlinig verlaufend, sondern er folgt einer Konturlinie.

[0077] Zur weiteren Erörterung des Verfahrens sind beispielsweise vier Schweißpositionen **91** bis **94** dargestellt, die nachfolgend beschrieben sind. In der Schweißposition **91** ist eine Fallgestaltung gegeben, wie dies in den Fig. 8 und Fig. 9 beschrieben ist. Der Fügespalt **60** weist eine Breite auf, welche größer als das erste Spaltmaß ist, so dass die Verfahrensparameter gemäß dem zweiten Spaltmaß angesteuert werden. Bei einer Verfahrbewegung des Laserbearbeitungskopfes **7** in Schweißrichtung gemäß Pfeil **95** verringert sich die Breite des Fügespaltes **60**. In der Schweißposition **92** ist durch das optische System **54, 75** erkannt worden, dass die Breite des Fügespaltes **60** im Bereich des ersten Spaltmaßes liegt. Daraufhin wird die Zuführung des Zusatzwerkstoffes **73** eingestellt und eine Änderung des Ringfokusses **46** auf den Punktfokus **43** durchgeführt.

[0078] Durch die rotierend zum Gehäuse **16** vorgesehene Bewegungseinrichtung **55** kann bei einer Verfahrbewegung vom Schweißpunkt **91** zum Verschweißpunkt **92** in einfacher Weise der Ringfokus **46** an den Verlauf des Fügespaltes **60** durch eine Drehbewegung der Bewegungseinrichtung **55** angepasst werden. Zur Ansteuerung des Laserbearbeitungskopfes **7** gilt, dass die Hauptachse **56** im Fügespalt **60** verläuft.

**[0079]** Vom Schweißpunkt **92** bis zum Schweißpunkt **93** weist die Breite des Fügspaltes **60** beispielsweise ein erstes Spaltmaß auf. Darauffolgend breitet sich der Fügspalt **60** wiederum aus, so dass ausgehend vom Schweißpunkt **93** bis zum Schweißpunkt **94** wiederum Bedingungen eingestellt werden wie zwischen dem Schweißpunkt **91** und **92**, um den sich aufweitenden Fügspalt **60** mit einer Schweißnaht zu verbinden.

**[0080]** In **Fig. 13** ist eine N-in-1-Faser (oder auch Multi-Koax-Faser) **97** in der Draufsicht und in einem schematischen Schnitt dargestellt (im vorliegenden Fall eine 4-in-1-Faser). Durch eine solche N-in-1-Faser **97** lässt sich die Strahlcharakteristik des Laserstrahls **21** im Hinblick auf mehrere Durchmesser des Ringfokus **46** einstellen. In Abhängigkeit der Auswahl des Ringes  $n = 1, 2, 3 \dots$ , in welchem der Laserstrahl **21** eingekoppelt wird, können unterschiedliche Durchmesser der ringförmigen Strahlfläche **84** für den Ringfokus **46** erzielt werden.

**ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG**

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

**Zitierte Patentliteratur**

- JP 09-108869 A1 [0002]
- FR 2823686 A1 [0003]
- DE 9401081 U1 [0004]
- DE 102010003750 A1 [0005]

## Patentansprüche

1. Verfahren zum Laserschweißen eines ersten und eines zweiten Werkstückabschnitts (**61, 62**) mittels eines Laserstrahls (**21**), der mit einem Laserbearbeitungskopf (**7**) entlang einem zwischen den Werkstückabschnitten (**61, 62**) gebildeten Fügespalt (**60**) geführt wird und bei dem der Laserstrahl (**21**) mit einer Bearbeitungsoptik (**66**) fokussiert wird, und bei dem ein Zusatzwerkstoff (**73**) mit einer Zuführeinrichtung (**69**) zum Fügespalt (**60**) ausgerichtet wird, **dadurch gekennzeichnet**,

– dass zumindest eine Spaltbreite des Fügespalt (**60**) der zu verschweißenden Werkstückabschnitte (**61, 62**) erfasst wird,

– dass die erfasste Spaltbreite entlang des Verlaufs des Fügespalt (**60**) ausgewertet und mit zumindest einem ersten und einem zweiten Spaltmaß verglichen wird, wobei das erste Spaltmaß eine Spaltbreite umfasst, bei der eine Schweißnaht (**81**) ohne Zusatzwerkstoff (**73**) gebildet wird und das zweite Spaltmaß eine Spaltbreite umfasst, bei der zum Auffüllen des Fügespalt (**60**) ein Zusatzwerkstoff (**73**) für die Bildung der Schweißnaht (**81**) zugeführt wird,

– dass bei einer erfassten Spaltbreite, die innerhalb des ersten Spaltmaßes liegt, während dem Laserschweißen die Zuführung des Zusatzwerkstoff (**73**) zum Fügespalt (**60**) stillgesetzt und ein Strahlprofil des Laserstrahls (**21**) mit einem Punkt- oder Ringfokus (**43, 46**) eingestellt wird, und

– dass bei einer erfassten Spaltbreite, die innerhalb des zweiten Spaltmaßes liegt, eine Zuführung des Zusatzwerkstoffes (**73**) zum Fügespalt (**60**) angesteuert und ein Strahlprofil des Laserstrahls (**21**) mit einem Ringfokus (**46**) eingestellt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Fügespalt (**60**) vorzugsweise während einem Teach-in-Modus zum Erfassen des Verlaufs des Fügespalt (**60**), oder unmittelbar vor dem Einbringen der Schweißnaht (**81**) durch ein Sensorsystem (**54**), relativ zum Laserstrahl (**21**) koaxial oder im Vorlauf erfasst wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass das erste Spaltmaß zumindest von einer Materialdicke der zu verschweißenden Werkstückabschnitte (**61, 62**) ausgehend ausgewählt wird und das erste Spaltmaß kleiner als die Materialdicke der zu verschweißenden Werkstückabschnitte (**61, 62**) ist, und vorzugsweise das erste Spaltmaß gleich oder kleiner als ein Anteil von 15 % der Materialdicke der zu verschweißenden Werkstückabschnitte (**61, 62**), besonders bevorzugt gleich oder kleiner als ein Anteil von 10 % der Materialdicke der zu verschweißenden Werkstückabschnitte (**61, 62**) ist.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das zweite Spaltmaß größer als das erste Spaltmaß ist.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Zusatzwerkstoff (**73**) zur Strahlachse (**59**) des Laserstrahls (**21**) in Schweißrichtung vorausgehend dem Fügespalt (**60**) zugeführt wird.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass als Zusatzwerkstoff (**73**) ein Zusatzdraht eingesetzt wird, der über eine Drahtzuführeinrichtung zugeführt wird oder dass als Zusatzwerkstoff (**73**) ein Pulver eingesetzt wird, das über zumindest eine Düse, vorzugsweise koaxial zum Laserstrahl (**21**), zugeführt wird.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass durch das Strahlprofil des Laserstrahls (**21**) mit einem Ringfokus (**46**) eine ringförmige Strahlfläche (**84**) gebildet wird, die den Fügespalt (**60**) überdeckt, wobei durch einen inneren Strahlflächenrand (**89**) ein innenliegender strahlungsfreier Bereich (**47**) begrenzt wird, welcher vorzugsweise im Wesentlichen der Breite des Fügespalt (**60**) entspricht oder breiter ausgebildet ist und ein äußerer Strahlflächenrand (**85**) der ringförmigen Strahlfläche (**84**) beide Ränder der zu verschweißenden Werkstückabschnitte (**61, 62**) überdeckt.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass in einem Strahlflächenabschnitt (**86**) der ringförmigen Strahlfläche (**84**) des Laserstrahls (**21**), der durch einen in Vorlaufrichtung vorderen, den Fügespalt (**60**) überdeckenden Bereich des ringförmigen Strahlfläche (**84**) gebildet wird, der Zusatzwerkstoff (**73**) zugeführt wird.

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass in einem nachfolgenden, den Fügespalt (**60**) überdeckenden Strahlflächenabschnitt (**87**) der ringförmigen Strahlfläche (**84**) die im vorausgehenden Strahlflächenabschnitt (**86**) gebildete Schmelze nachgewärmt wird.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Breite eines den Fügespalt (**60**) überdeckenden Strahlflächenabschnitts (**88**) der ringförmigen Strahlfläche (**84**) des Laserstrahls (**21**) durch einen Abstand des Fokuspunkt (**83**) oberhalb oder unterhalb einer Ebene der zu verbindenden Werkstückabschnitte (**61, 62**) eingestellt wird.

11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Strahlprofil des Laserstrahls (**21**) mit einem Ringfokus (**46**) durch eine 2-in-1-Faser, eine 3-in-1-Faser, ein Axicon oder eine N-in-1-Faser (**97**) gebildet wird.

12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**,

– dass der Zusatzwerkstoff (73) mit einer Zuführeinrichtung (69) dem Fügespalt (60) zugeführt wird und die Zuführeinrichtung (69) in einer Zuführachse (70) zum Fügespalt (60), vorzugsweise senkrecht zum Fügespalt (60), ausgerichtet wird,

– dass der Laserstrahl (21) vom Gehäuse (16) in eine am Gehäuse (16) angeordnete Bewegungseinrichtung (55) eingekoppelt und in eine Strahlachse (59) der Bewegungseinrichtung (55) übergeführt wird,

– dass die Strahlachse (59) der Bewegungseinrichtung (55) entsprechend dem Verlauf des Fügespalts (60) in Schweißrichtung um die Zuführachse (70) des Zusatzwerkstoffes (73) rotierend angetrieben wird und während der Rotationsbewegung der Bewegungseinrichtung (55) die Strahlachse (59) den Zuführwerkstoff (73) im Fügespalt (60) kreuzt.

13. Laserbearbeitungsmaschine mit einer Laserquelle (12) und mit einer Strahlführung (22), die sich zwischen der Laserquelle (12) und einem Bearbeitungskopf (7) erstreckt, in welchem eine Bearbeitungsoptik (66) vorgesehen ist, wobei mit dem Laserbearbeitungskopf (7) ein Laserstrahl (21) auf einen Fügespalt (60) gerichtet ist, der zwischen einem ersten und einem zweiten zu verschweißenden Werkstückabschnitt (61, 62) gebildet ist und mit einer Zuführeinrichtung (69), die einen Zusatzwerkstoff (73) dem Fügespalt (60) zuführt, **dadurch gekennzeichnet**,

– dass die Zuführeinrichtung (69) eine Zufühdüse (71) aufweist, die in einer Zuführachse (70) liegt und den Zusatzwerkstoff (73) dem Fügespalt (60) zuführt,

– dass der Bearbeitungskopf (7) eine Bewegungseinrichtung (55) umfasst, durch welche der entlang einer Hauptachse (56) geführte Laserstrahl (21) oberhalb dem Fügespalt (60) umgelenkt und in eine Strahlachse (59) in der Bewegungseinrichtung (55) übergeführt ist, welche in einem Winkel zur Hauptachse (56) oder zur Zuführachse (70) oder beidem ausgerichtet ist und den Fügespalt (60) kreuzt, und

– dass die Bewegungseinrichtung (55) um die Hauptachse (56) oder Zuführachse (70) rotierend vorgesehen ist. Laserbearbeitungsmaschine nach Anspruch 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Zuführachse (70) der Zuführeinrichtung (69) parallel zur Hauptachse (56) verläuft.

14. Laserbearbeitungsmaschine nach Anspruch 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Zuführachse (70) der Zuführeinrichtung (69) in der Hauptachse (56) liegt.

15. Laserbearbeitungsmaschine nach Anspruch 13 bis 15, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Hauptachse (56) senkrecht zum Fügespalt (60) ausgebildet ist.

16. Laserbearbeitungsmaschine nach Anspruch 13 bis 16, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Bewegungseinrichtung (55) in einem Winkel von min-

destens  $\pm 90^\circ$ , besonders bevorzugt mindestens  $\pm 135^\circ$ , ganz besonders bevorzugt mindestens  $\pm 180^\circ$ , drehbar um die Hauptachse (56), vorzugsweise mittels eines Drehlagers (57), gelagert ist.

17. Laserbearbeitungsmaschine nach einem der Ansprüche 13 bis 17, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Bewegungseinrichtung (55) zumindest einen Umlenkspiegel (63, 64), eine insbesondere als Fokussierlinse ausgebildete Bearbeitungsoptik (66) und vorzugsweise ein strahlaustrittseitig angeordnetes Schutzglas (67) aufweist.

18. Laserbearbeitungsmaschine nach einem der Ansprüche 13 bis 18, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Zuführungseinrichtung (69) einen fest an einem Gehäuse (16) oder an der Bewegungseinrichtung (55) angeordneten Halter (72, 72') zur ortsfesten Aufnahme der Zuführungsdüse (71) in der Hauptachse (56) aufweist und vorzugsweise am Gehäuse (16) eine fest daran angeordnete Fördereinrichtung (74) aufnimmt.

19. Laserbearbeitungsmaschine nach Anspruch 19, **dadurch gekennzeichnet**, dass an dem Halter (72, 72') der Zuführungseinrichtung (69) ein Linienlaser (75) angeordnet ist, dessen Laserstrahl (78) vorzugsweise auf den Fügespalt (60) gerichtet ist.

20. Laserbearbeitungsmaschine nach einem der Ansprüche 13 bis 20, **dadurch gekennzeichnet**, dass an der Bewegungseinrichtung (55) eine vorzugsweise in der Höhe zur Bewegungseinrichtung (55) einstellbare Lineardüse (76) zum Zuführen von Schutzgas vorgesehen ist.

21. Laserbearbeitungsmaschine nach einem der Ansprüche 13 bis 21, **dadurch gekennzeichnet**, dass zur Erzeugung eines Strahlprofils des Laserstrahls (21) mit einem Ringfokus (46) eine 2-in-1-Faser (37), eine 3-in-1-Faser oder eine N-in-1-Faser (97) mit mehreren koaxialen Ringfasern vorgesehen ist.

Es folgen 8 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

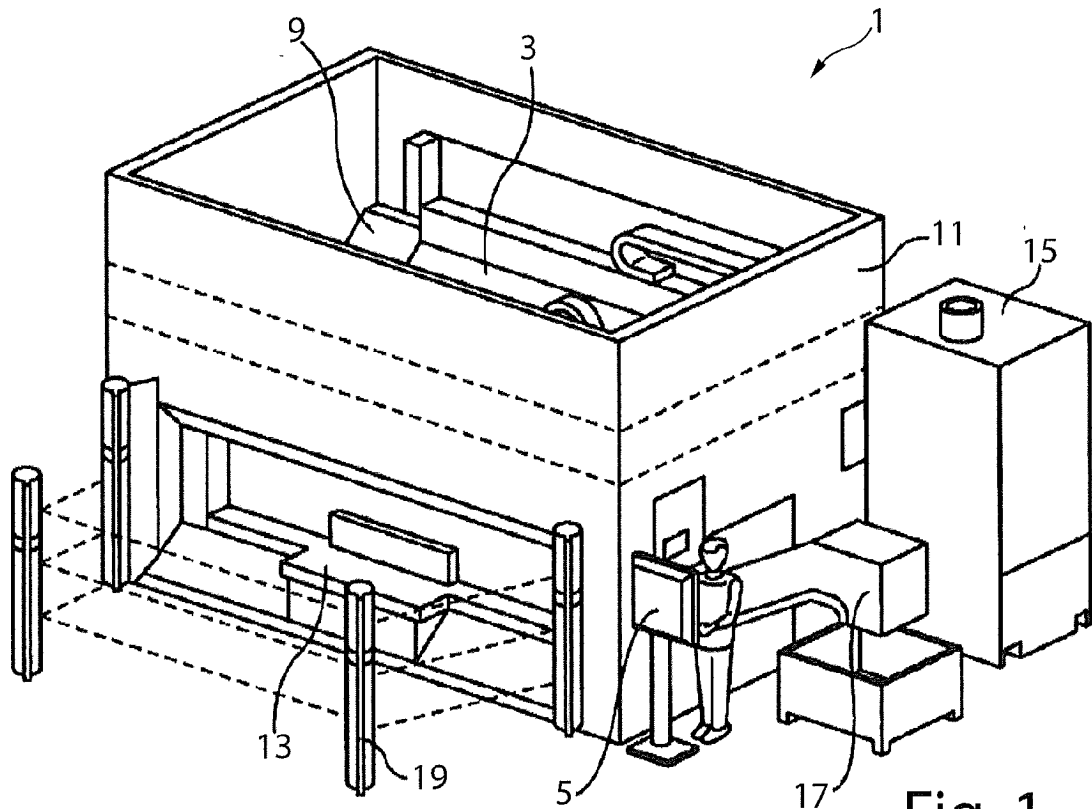


Fig. 1

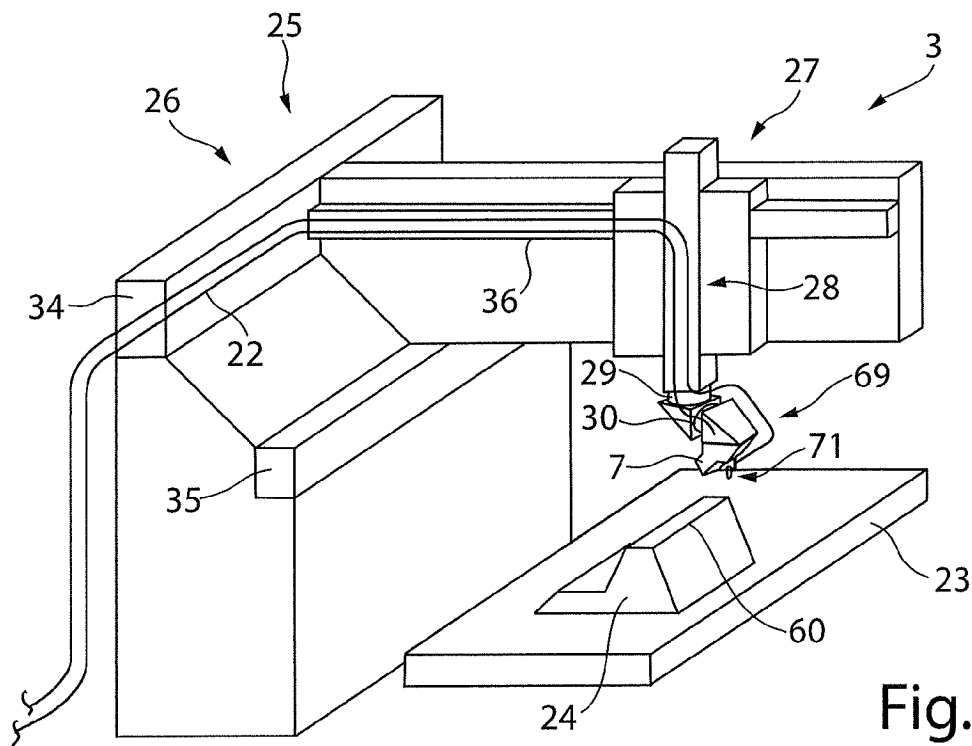


Fig. 2

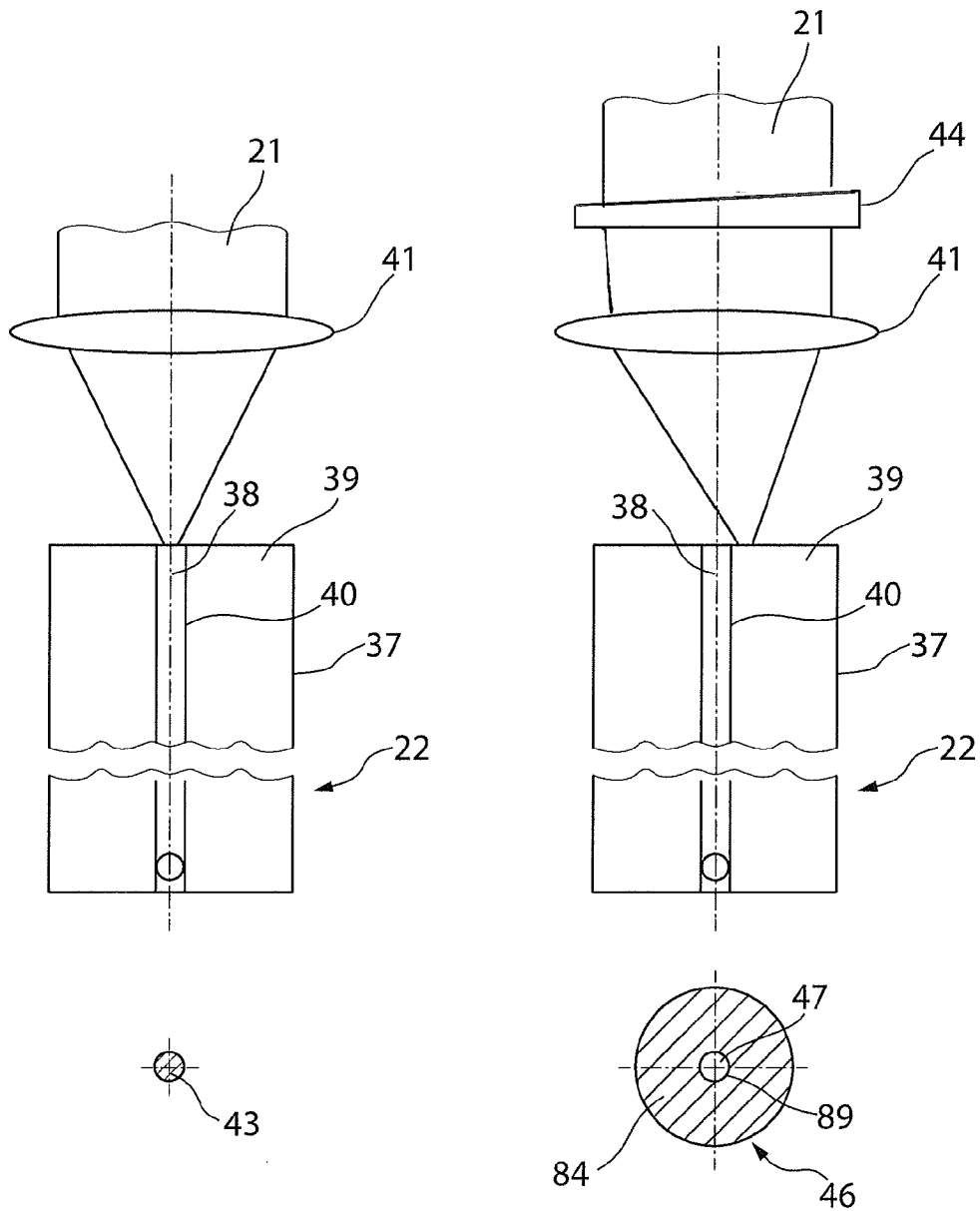


Fig. 3

Fig. 4

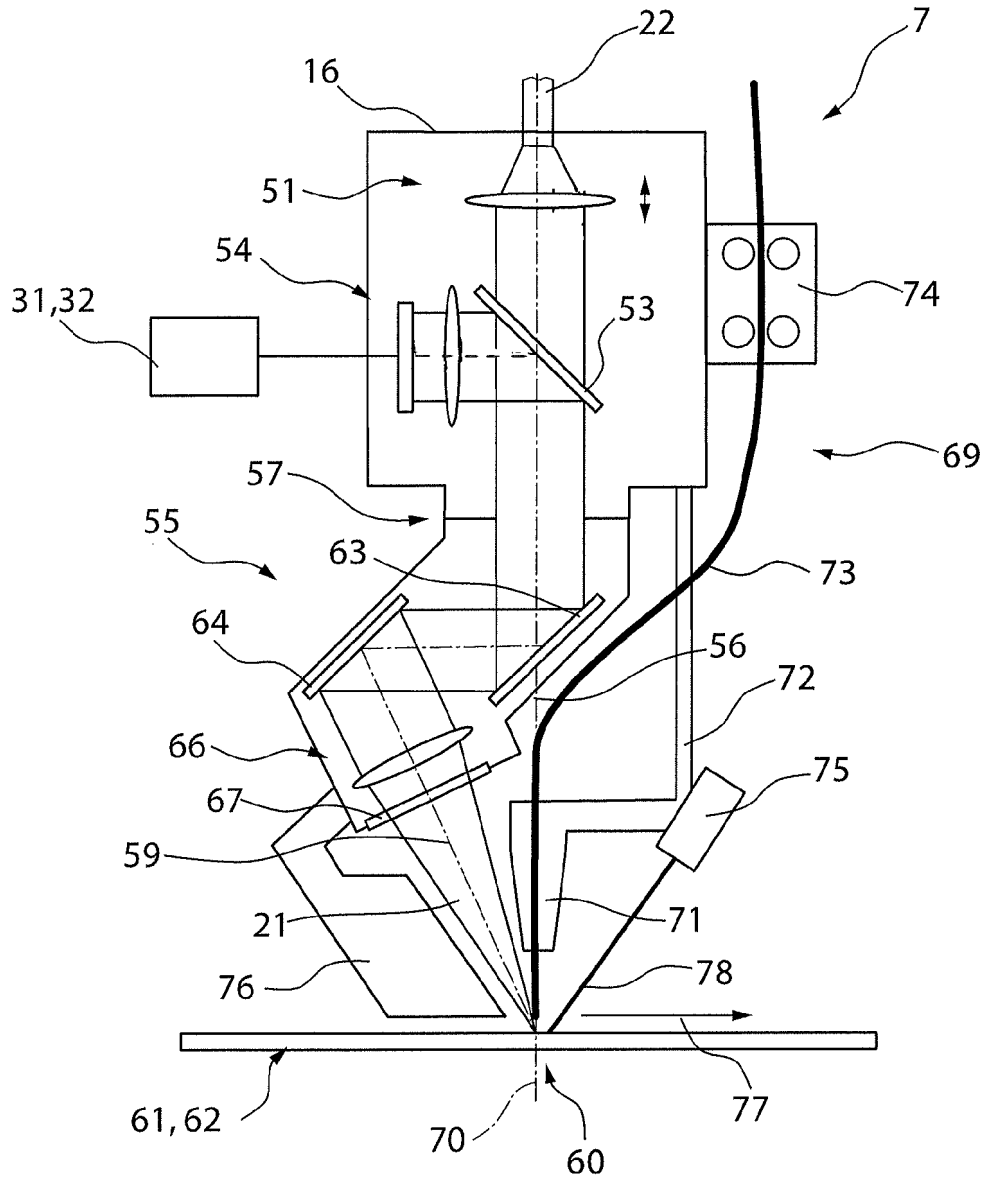


Fig. 5



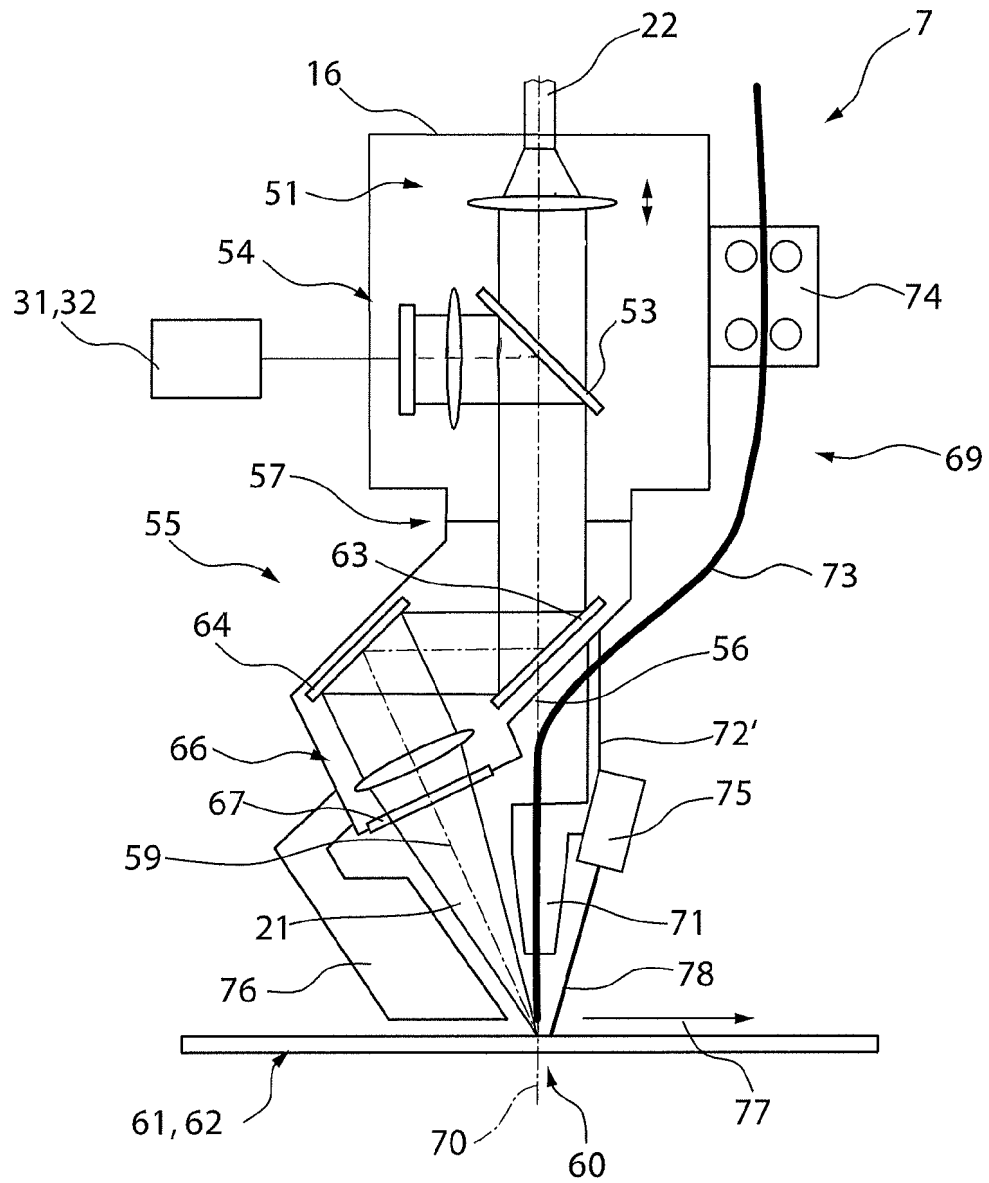


Fig. 6

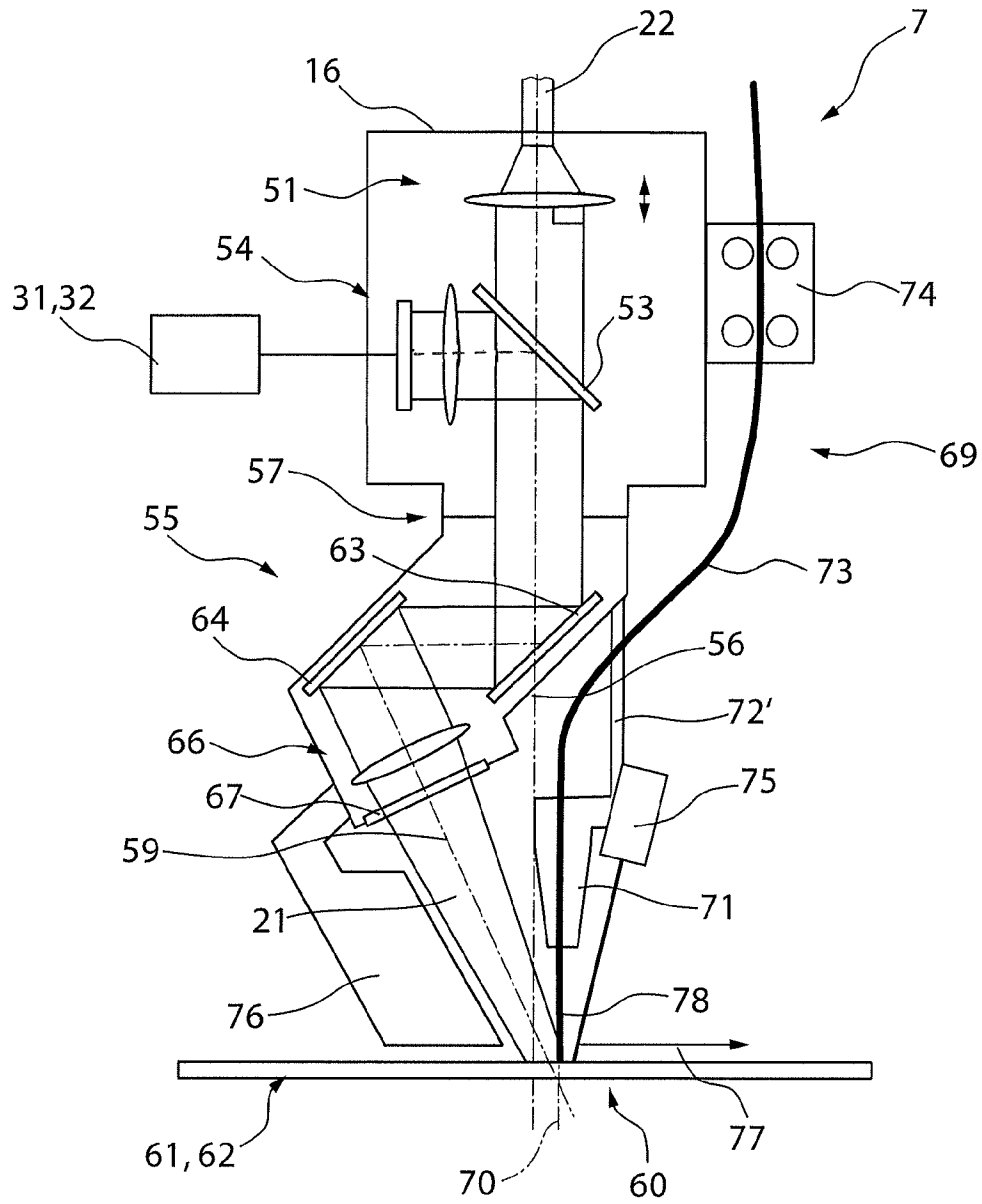


Fig. 7

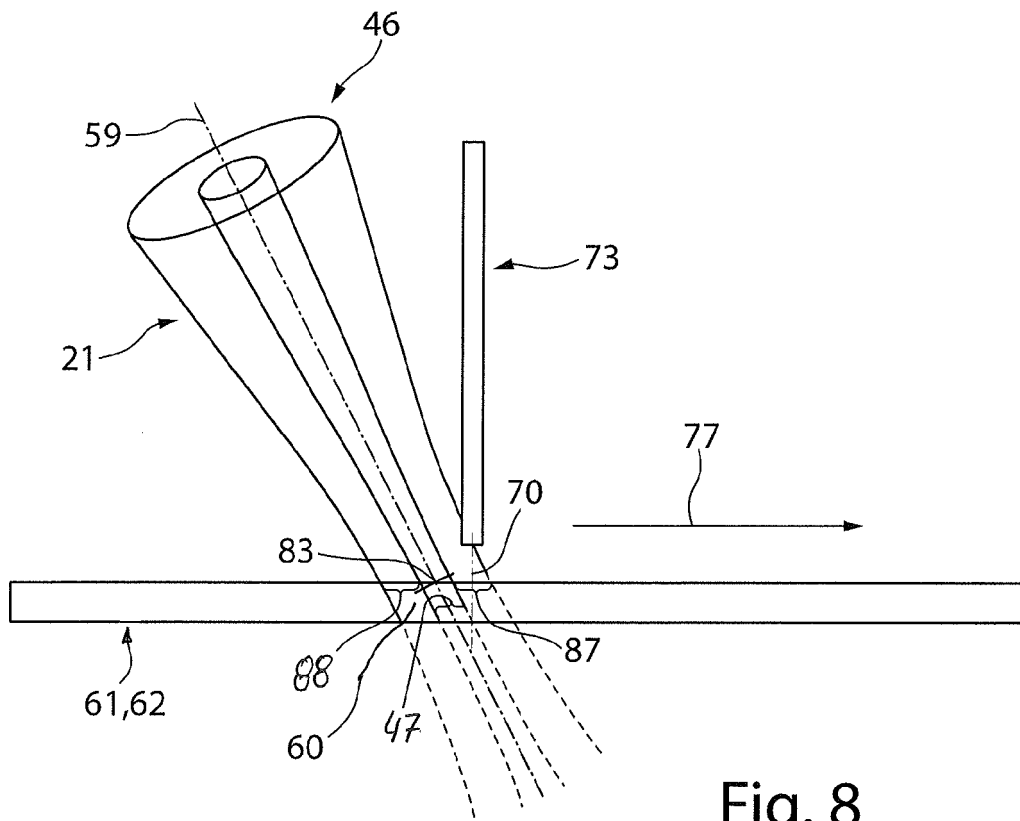


Fig. 8

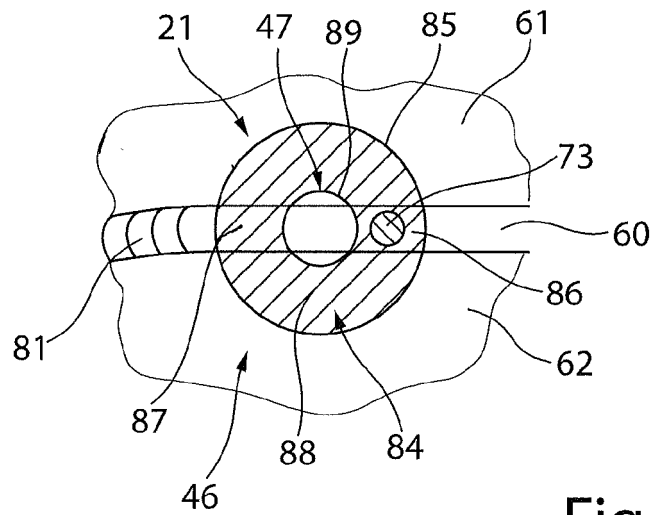


Fig. 9

