

## **DOCUMENT MADE AVAILABLE UNDER THE PATENT COOPERATION TREATY (PCT)**

International application number:	<b>PCT/EP2019/081441</b>
International filing date:	<b>15 November 2019 (15.11.2019)</b>
Document type:	<b>Certified copy of priority document</b>
Document details:	Country/Office: <b>DE</b>
	Number: <b>10 2018 220 477.2</b>
	Filing date: <b>28 November 2018 (28.11.2018)</b>
Date of receipt at the International Bureau:	<b>03 December 2019 (03.12.2019)</b>

Remark: Priority document submitted or transmitted to the International Bureau in compliance with Rule 17.1(a),(b) or (b-bis)

# BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



## Prioritätsbescheinigung DE 10 2018 220 477.2 über die Einreichung einer Patentanmeldung

**Aktenzeichen:** 10 2018 220 477.2

**Anmeldetag:** 28. November 2018

**Anmelder/Inhaber:** TRUMPF Laser GmbH, 78713 Schramberg, DE

**Bezeichnung:** Verfahren zum Laserschweißen einer Lichtleitfaser in einem Lochelement mittels eines UKP-Laserstrahls sowie zugehöriges optisches Element

**IPC:** B23K 26/24; G02B 6/38; G02B 6/24;  
B23K 26/00; B23K 26/21; B23K 26/32

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der Teile der am 28. November 2018 eingereichten elektronischen Dokumente dieser Patentanmeldung unabhängig von gegebenenfalls durch das Druckverfahren bedingten Farbabweichungen.

München, den 14. November 2019  
Deutsches Patent- und Markenamt  
Die Präsidentin  
Im Auftrag

SP12703 Rk/Sc

27.11.2018

5 Anmelder:

TRUMPF Laser GmbH  
Aichhalderstr. 39  
D-78713 Schramberg

10

Vertreter:

Kohler Schmid Möbus  
15 Patentanwälte PartG mbB  
Gropiusplatz 10  
D-70563 Stuttgart

20

25

Verfahren zum Laserschweißen einer Lichtleitfaser in einem Lochelement mittels  
eines UKP-Laserstrahls sowie zugehöriges optisches Element

30 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Schweißen einer Lichtleitfaser, insbesondere einer Hohlkernfaser, und eines Lochelements, insbesondere aus Glas, mittels eines gepulsten Laserstrahls, insbesondere UKP-Laserstrahls, wobei die Lichtleitfaser in ein Loch des Lochelements eingeschoben ist, so dass der Außenumfang der Lichtleitfaser und der Innenumfang des Loches eine zylindrische Fügefläche bilden, wobei die Lichtleitfaser und das Lochelement im Bereich der Füge-

5 gefläche mittels des in das Werkstückmaterial fokussierten Laserstrahls lokal aufgeschmolzen und dadurch miteinander verschweißt werden. Vorzugsweise weist der Laserstrahl eine Wellenlänge auf, bei der mindestens ein Fügepartner transparent/teiltransparent ist. Die Erfindung betrifft weiter ein optisches Element aus einer Lichtleitfaser und einem Lochelement, die miteinander verschweißt sind.

10 Lichtleitfasern sind beispielsweise Step-Index oder Mehrclad-Fasern, PCF (Polymer Cladded Fibre) oder Hohlkernfasern. Hohlkernfasern sind passive Transportfasern, die Strahlung durch einen hohlen Kern, umgeben mit einer feinen photonischen Glasstruktur, z.B. in Kagomé Konfiguration, führen. Durch den hohlen Kern können Glaszerstörsschwellen umgangen und nichtlineare Effekte unterdrückt werden, sodass höhere Intensitäten geführt werden können. Der hohle Kern kann hierfür ein Vakuum aufweisen. Andererseits kann das hohle Innere des Kerns auch gezielt mit einem Gas, wie z.B. Argon gefüllt werden.

15

Lochelemente sind beispielsweise Lochsteine, Ferrulen/Glashülsen oder auch Lochscheiben oder Lochkappen.

20 Schweißungen von monolithischen Verbindungen mit der Hohlkernfaser können beispielsweise mittels CO<sub>2</sub>-Spleißen erreicht werden. Dafür wird allerdings z.B. die empfindliche Kagomé-Struktur mit aufgeschmolzen, welches im Wesentlichen die Strahlqualität negativ beeinflusst. Weitere Möglichkeiten der Verbindung sind beispielsweise das Kleben oder das Verspannen mit einem O-Ring, was beides Verspannungsprobleme bereiten kann. Kleber können dazu ausgasen oder vorzei-

25 tig altern.

30 Außerdem ist bei Hohlkernfasern die im Wesentlichen mittige Positionierung des Kerns über das Loch des Lochelements, z. B. einer Lochkappe, sowie eine plane Ausrichtung der Faser auf das Lochelement erforderlich. Dies erfordert für die Halterung eine hohe Präzision und gleichzeitig genügend Justage-Freiheitsgrade. Für den kompletten Prozess sind demnach nur sehr geringe Toleranzen vorhanden, damit eine erfolgreiche Schweißung erfolgt, bei der die Strahlqualität erhalten bleibt und eine ausreichende Festigkeit und/oder Gasdichtigkeit erzielt wird.

In der EP 0 905 534 A2 ist die Verbindung einer Faser mit einer Glashülse beschrieben. Hierfür wird am Faserende an der Grenzfläche zwischen Faser und Glashülse Material von Faser und Glashülse ringförmig aufgeschmolzen und die beiden Werkstücke werden so verbunden.

5

Die vorliegende Erfindung stellt sich demgegenüber die Aufgabe, ein faserschonendes Schweißverfahren mit verbesserter Verbindung von Lichtleitfaser und Lochelement zur Verfügung zu stellen.

- 10 Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass ein gepulster Laserstrahl auf den Bereich der Fügefläche fokussiert wird und der Laserfokus im Bereich der Fügefläche axial bewegt wird, um im Bereich der Fügefläche mindestens eine Schweißnaht, insbesondere eine axiale bzw. achsparallele Schweißnaht, zu erzeugen. Vorzugsweise weist der UKP-Laserstrahl Laserstrahlung mit Puls-
- 15 dauern kleiner als 50 ps, bevorzugt kleiner 1ps, insbesondere im Femtosekundenbereich, auf.

- Dieses Schweißverfahren lässt sich besonders vorteilhaft auf das Schweißen von Hohlkernfasern anwenden. Hohlkernfasern sind Lichtleitfasern, bestehend aus
- 20 einem hohlen Faserkern und einem Fasermantel.

- Es hat sich gezeigt, dass bedingt durch die geringen Abmessungen der Hohlkernfaser sowie durch die empfindliche Struktur im Inneren der Hohlkernfaser sich besondere Anforderungen an die Schweißung ergeben. Obwohl nur sehr lokal Wärme eingebracht werden darf, wird durch das erfindungsgemäße Verfahren eine
- 25 ausreichende Festigkeit erzielt, sodass eine Handhabung der Faser zur weiteren Konfektionierung möglich ist. Zudem ist es möglich, die Schweißnaht präzise zu positionieren sowie auch die Breite der Schweißnaht schmal zu halten. Dies ist ausschlaggebend für die spätere Strahlqualitätserhaltung der Hohlkernfaser. Die
- 30 Schweißnaht darf die empfindliche innere Struktur der Hohlkernfaser nicht zerstören und muss deshalb schmaler sein als der Fasermantel. Vorzugsweise wird mit einem Laserfokusdurchmesser von ca. 5-10  $\mu\text{m}$  gearbeitet; die resultierende Schweißnaht ist dann ca. 50-70  $\mu\text{m}$  im Durchmesser.

Ein weiterer Vorteil des erfindungsgemäßen Schweißverfahrens ist die gute zu erzielende Gasdichtigkeit der Verbindung. Dies ist besonders wichtig für Hohlkernfasern, da diese für hohe Spitzenintensitäten evakuiert werden müssen oder gezielt mit Gasen, z. B. Argon, befüllt werden, um eine spektrale Verbreiterung zur Pulsverkürzung zu erreichen.

Gepulste Laserstrahlen, insbesondere ultrakurz gepulste (UKP)-Laserstrahlung mit Pulsdauern kleiner als 500 ps, insbesondere im Femtosekundenbereich, werden zunehmend für die Materialbearbeitung eingesetzt. Die Besonderheit der Materialbearbeitung mit UKP-Laserstrahlung liegt in den hohen Spitzenleistungen/Spitzenintensitäten der Laserstrahlung mit dem Werkstück. Dadurch bedingt lassen sich im Festkörper extreme thermische Ungleichgewichte erzeugen, z.B. zwischen Elektronen und Atom/Ion-Rümpfen, die dann zu einzigartigen Abtrags- oder Formationsmechanismen führen.

Hintergrund ist das lokale Aufschmelzen des Materials mittels ultrakurzer Laserpulse. Fokussiert man ultrakurze Laserpulse in das Volumen von Glas, z.B. Quarzglas, führt die im Laserfokus vorliegende hohe Intensität zu nichtlinearen Absorptionsprozessen, wodurch, in Abhängigkeit der Laserparameter, verschiedene Materialmodifikationen induziert werden können. Durch diese nichtlinearen Absorptionsprozesse werden freie Ladungsträger erzeugt, die in Folge quasi linear absorbieren. So entsteht lokal ein Plasma, welches die Schmelzzone ausbildet. Platziert man die Modifikation im Bereich der Grenzfläche zweier Gläser, generiert die abkühlende Schmelze eine stabile Verbindung beider Gläser. Aufgrund des sehr lokalen Fügeprozesses sind die laserinduzierten Spannungen typischerweise gering, wodurch auch in ihren thermischen Eigenschaften stark verschiedene Gläser verschweißt werden können. Auch können andere transparente Materialien wie Kristalle mit teilweise noch stärker abweichenden thermischen und mechanischen Eigenschaften miteinander bzw. mit Gläsern verschweißt werden.

Erfindungsgemäß wird im Bereich der zylindrischen Fügefläche zwischen Lichtleiterfaser und Lochelement mindestens eine Schweißnaht durch eine Vorschubbewegung des Laserfokus in oder entgegen der Strahlrichtung des Laserstrahls er-

zeugt. Diese Vorschubbewegung des Laserfokus kann beispielsweise durch eine Bewegung des Laserbearbeitungskopfs in oder entgegen der Strahlrichtung des Laserstrahls und/oder durch eine Vorschubbewegung von Lichtleitfaser und Lochelement in oder entgegen der Strahlrichtung des Laserstrahls erfolgen, aber  
5 auch eine Brennweitenänderung der Fokussieroptik ist möglich.

Die mindestens eine Schweißnaht weist dabei Richtungsanteile in axialer Richtung der Lichtleitfaser bzw. der zylindrischen Fügefläche auf und befindet sich im Bereich der Fügefläche von Lichtleitfaser und Lochelement. Die mindestens eine  
10 Schweißnaht kann auch Richtungsanteile in Umfangsrichtung der Lichtleitfaser aufweisen. Hierfür kann der Vorschubbewegung des Laserfokus in oder entgegen der Strahlrichtung eine Bewegung in Umfangsrichtung der zylindrischen Fügefläche überlagert werden.

15 Vorzugsweise verläuft die Strahlrichtung des Laserstrahls in axialer Richtung der zylindrischen Fügefläche und wird der Laserfokus in oder entgegen der Strahlrichtung des Laserstrahls bewegt, um im Bereich der Fügefläche eine sich entlang der Strahlrichtung erstreckende Schweißnaht zu erzeugen.

20 Für eine zuverlässige Fügeverbindung können mehrere in Umfangsrichtung der Fügefläche voneinander beabstandete Schweißnähte erzeugt werden. Vorzugsweise wird im Bereich mit dem geringsten Fügespalt begonnen und dann alternierend davon weiter gegangen. So schließt eine Schweißnaht an eine bereits stabil gefügte Schweißnaht an. Experimente zeigen, dass dadurch auch Fügespalte  
25 überbrückt werden können, die größer sind als die, die mit einer Einzelnaht überbrückt werden können.

Vorzugsweise erfolgt die in oder entgegen der Strahlrichtung verlaufende Vorschubbewegung des Laserfokus kontinuierlich, kann aber auch schrittweise mit  
30 oder ohne Pausen zwischen den einzelnen Schritten erfolgen. Im letzteren Fall führt das Schweißen ohne Pausen dazu, dass in dem noch vom vorhergehenden Schritt heißen Material geschweißt wird, und das Schweißen mit Pausen dazu, dass wegen der zeitlichen Verzögerung zum vorhergehenden Schritt in bereits abgekühltem Material geschweißt wird. Wie Versuche gezeigt haben, führt insbe-

sondere das kontinuierliche Laserschweißen entgegen der Strahlrichtung zu einer rissfreien durchgängigen Schweißnaht.

5 Vorzugsweise wird bei einem Vorschub entgegen der Strahleinfallsrichtung mit einem kontinuierlichen Vorschub im Bereich von 0,5mm/s bis 100mm/s, bevorzugt 5mm/s bis 30mm/s, besonders bevorzugt mit ca. 20mm/s, gearbeitet.

Vorzugsweise wird bei der Schweißung eine Schweißnaht mit einem Nahtdurchmesser von 5-500µm, bevorzugt 50-100 µm, erzeugt.

10

Um den Toleranzbereich und die Schweißnahtgesamtbreite zu vergrößern, werden an einer Umfangsposition statt einer einzigen axialen Schweißnaht bevorzugt mehrere einander in Richtung quer zur Fügefläche überlappende axiale Schweißnähte sequentiell erzeugt.

15

Es ist möglich, bei der Schweißung mit Einzelpulsen zu arbeiten. Vorzugsweise wird bei der Schweißung mit Pulspaketen gearbeitet, die mehrere Einzelpulse aufweisen. Ein Pulszug besteht aus vielen Einzelpulsen, wobei im Pulszug die Einzelpulse eine Einzelpulsrepetitionsrate von Puls zu Puls aufweisen. Pulspakete bestehen aus mindestens zwei Einzelpulsen. Hier gibt es auch eine Einzelpulsrepetitionsrate. Desweiteren gibt es auch eine Pulspaket-zu-Pulspaket-Repetitionsrate. Bevorzugt sind die Einzelpulse in einem Pulspaket gleich. Die Anzahl Einzelpulse in einem Pulspaket beträgt beispielsweise zwischen 2 und 20, bevorzugt ca. 5. Beispielsweise können die Pulspaket-zu-Pulspaket-Repetitionsraten 50-200kHz, bevorzugt ca. 125 kHz, und die mittlere Pulsleistung 1-20W, bevorzugt ca. 10 W, betragen. Die Einzelpulsrepetitionsrate im Pulspaket beträgt typischerweise mehrere MHz.

20

25

Das erfindungsgemäße Verfahren kann beispielsweise beim Schweißen von Lochkappe, Schutzkappe oder Endkappe auf Lichtleitfasern oder beim Justierfügen, z.B. die Spiegel eines Multipassverstärkers, Anwendung finden.

30

Die Erfindung betrifft in einem weiteren Aspekt auch ein mit dem erfindungsgemäßen Laserschweißen aus Lichtleitfaser und Lochelement zusammengefügt opti-



5 sches Element, wobei die Lichtleitfaser in einem Loch des Lochelements angeordnet ist und der Außenumfang der Lichtleitfaser und der Innenumfang des Loches des Lochelements eine zylindrische Fügefläche bilden und wobei die Lichtleitfaser und das Lochelement im Bereich der zylindrischen Fügefläche mittels mindestens einer Schweißnaht verbunden sind, die sich in axialer Richtung und/oder in Umfangsrichtung der zylindrischen Fügefläche erstreckt.

10 Vorzugsweise ist die Lichtleitfaser aus einer Glasstruktur, z.B. Kagomé-Struktur, gebildet, die ein hohles Inneres umgibt. Der hohle Faserkern aus einer Glasstruktur ist von einem Fasermantel umgeben. Das Lochelement ist bevorzugt aus Glas, z.B. ein Lochstein, Ferrule/Glashülse oder auch eine Lochscheibe oder Lochkappe.

15 Das durch das erfindungsgemäße Verfahren hergestellte optische Element weist eine Schweißnaht im Bereich des Außenumfangs des Mantels der Lichtleitfaser auf. Die Schweißnaht erstreckt sich beispielsweise in axialer bzw. achsparalleler Richtung zur Lichtleitfaser bzw. zur zylindrischen Fügefläche. Die Schweißnaht kann auch Richtungskomponenten in Umfangsrichtung des Außenumfangs des Fasermantels aufweisen.

20 Weitere Vorteile und vorteilhafte Ausgestaltungen des Gegenstands der Erfindung ergeben sich aus der Beschreibung, den Ansprüchen und der Zeichnung. Ebenso können die vorstehend genannten und die noch weiter aufgeführten Merkmale je für sich oder zu mehreren in beliebigen Kombinationen Verwendung finden. Die 25 gezeigten und beschriebenen Ausführungsformen sind nicht als abschließende Aufzählung zu verstehen, sondern haben vielmehr beispielhaften Charakter für die Schilderung der Erfindung. Es zeigen:

30 Fig. 1 schematisch eine Laserbearbeitungsmaschine zum erfindungsgemäßen Laserschweißen einer Lichtleitfaser in einem Lochelement;

Fig. 2 schematisch einen Längsschnitt durch die mit dem Lochelement verschweißte Lichtleitfaser mit einer axialen Schweißnaht im Bereich einer zylindrischen Fügefläche;

Fig. 3, 4 schematisch eine Draufsicht auf die Stirnseite der Lichtleitfaser und des Lochelements mit mehreren in Umfangsrichtung der zylindrischen Fügefläche voneinander beabstandeten, axialen Schweißnähten (Fig. 3) und mit zusätzlichen sequentiell erzeugten axialen Schweißnähten (Fig. 4).

5

Die in Fig. 1 gezeigte Laserbearbeitungsmaschine 1 dient zum Schweißen des Außenumfangs einer Lichtleitfaser 10 mit dem Innenumfang des Lochs 14 eines Lochelements 12 mittels eines Laserstrahls 16. Vorzugsweise weist der Laserstrahl 16 eine Wellenlänge auf, bei der mindestens ein Fügepartner transparent/teiltransparent ist. Die Lichtleitfaser 10 ist beispielsweise aus Glas, insbesondere Quarzglas, und das Lochelement 12 beispielsweise aus Glas, insbesondere Quarzglas, aus Polymer, Glaskeramik, kristallin oder aus Kombinationen davon und/oder mit opaken Materialien gebildet.

10  
15

Die Laserbearbeitungsmaschine 1 umfasst einen UKP-Laser 18 zum Erzeugen des Laserstrahls 16 in Form von UKP-Laserpulsen 20 mit Pulsdauern kleiner als 50 ps, bevorzugt kleiner 1ps, insbesondere in Form von Femtosekundenpulsen, sowie einen in X-Y-Richtung bewegbaren Laserbearbeitungskopf 22, aus dem der Laserstrahl 16 austritt. Alternativ oder zusätzlich kann auch die zu schweißende Baugruppe aus Lichtleitfaser 10 und Lochelement 12 bewegt werden.

20

Nachdem die Lichtleitfaser 10 in das Loch 14 des Lochelements 12 eingeschoben und positioniert worden ist, wird der Laserstrahl 16 in den Bereich der zylinderförmigen gemeinsamen Fügefläche 24 von Lichtleitfaser 10 und Lochelement 12 fokussiert, um die Lichtleitfaser 10 und das Lochelement 12 im Bereich der Fügefläche 24 lokal aufzuschmelzen und so miteinander zu verschweißen. Dabei wird der Laserfokus des achsparallel zur Lichtleitfaser 10 bzw. zur zylindrischen Fügefläche 24 ausgerichteten Laserstrahls 16 in oder entgegen der Strahlrichtung des Laserstrahls 16, also in axialer Richtung der zylindrischen Fügefläche 24, bewegt, um im Bereich der Fügefläche 24 eine sich in Strahlrichtung erstreckende axiale Schweißnaht 26 (Fig. 2b) zu erzeugen. Der Laserfokus F des fokussierten Laserstrahls 16 befindet sich an der Fügefläche 24 oder nahe an dieser Fügefläche 24

25  
30

im Volumen eines der beiden Komponenten 10, 12. Vorzugsweise erstreckt sich die vertikale Schweißnaht 26 fast über die gesamte Dicke des Lochelements 12 und endet so vor den Oberseite und Unterseiten des Lochelements 12, dass kein Materialaustritt entsteht und ein sauberer Prozess gefahren wird. Dies hängt von  
5 der Größe der Schweißnaht 26 bzw. Schweißblase ab.

Im dargestellten Ausführungsbeispiel ist die Lichtleitfaser 10 lediglich beispielhaft als eine Hohlkernfaser mit einem Kern 28 und einem Mantel 30 ausgebildet.

10 Fig. 2 zeigt schematisch einen Längsschnitt durch die mit dem Lochelement 12 verschweißte Lichtleitfaser 10 mit einer im Bereich der Fügefläche 24 ausgebildeten axialen Schweißnaht 26. Der Laserstrahl 16 trifft in axialer Richtung der Lichtleitfaser 10 auf die Fügefläche 24 zwischen dem Außenumfang der Lichtleitfaser 10 und dem Innenumfang des Lochs 14 des Lochelements 12. Der Laserfokus F  
15 wird in oder, wie in Fig. 2 gezeigt, entgegen der Strahlrichtung (Z-Richtung) des Laserstrahls 16 bewegt, so dass sich eine axiale Vorschubrichtung 32 des Laserfokus F bzw. eine Schweißrichtung entgegen der Strahlrichtung des Laserstrahls 16 ergibt. Das so gebildete optische Element ist insgesamt mit 34 bezeichnet.

20 Bei dem in Fig. 3 gezeigten optischen Element 34 sind im Bereich der zylindrischen Fügefläche 24, wie oben beschreiben, mehrere in Umfangsrichtung der zylindrischen Fügefläche 24 voneinander beabstandete, axiale Schweißnähte 26 erzeugt worden, wodurch die Lichtleitfaser 10 in dem Lochelement 12 verschweißt ist.

25

Wie in Fig. 4 gezeigt, können an einer Umfangsposition statt einer einzigen axialen Schweißnaht jeweils mehrere axiale Schweißnähte 26 nebeneinander sequentiell erzeugt werden, die einander in Richtung 36 quer zur Fügefläche 24 überlappen, um die Schweißnahtgesamtbreite und dadurch den Toleranzbereich zu ver-  
30 größern.

SP12703 Rk/Sc

27.11.2018

5

Patentansprüche

1. Verfahren zum Schweißen einer Lichtleitfaser (10), insbesondere einer Hohlkernfaser, und eines Lochelements (12), insbesondere aus Glas, mittels eines gepulsten Laserstrahls (16), insbesondere UKP-Laserstrahls, wobei die Lichtleitfaser (10) in ein Loch (14) des Lochelements (12) eingeschoben ist, so dass der Außenumfang der Lichtleitfaser (10) und der Innenumfang des Loches (14) eine zylindrische Fügefläche (24) bilden, wobei die Lichtleitfaser (10) und das Lochelement (12) im Bereich der Fügefläche (24) mittels des in das Werkstückmaterial fokussierten Laserstrahls (16) lokal aufgeschmolzen und dadurch miteinander verschweißt werden, dadurch gekennzeichnet, dass ein gepulster Laserstrahl (16) auf den Bereich der Fügefläche (24) fokussiert wird und der Laserfokus (F) im Bereich der Fügefläche (24) axial bewegt wird, um im Bereich der Fügefläche (24) mindestens eine Schweißnaht (26), insbesondere eine axiale Schweißnaht, zu erzeugen.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Strahlrichtung des Laserstrahls (16) in axialer Richtung der zylindrischen Fügefläche (24) verläuft und der Laserfokus (F) in oder entgegen der Strahlrichtung des Laserstrahls (16) bewegt wird, um im Bereich der Fügefläche (24) mindestens eine Schweißnaht (26), insbesondere eine axiale Schweißnaht, zu erzeugen.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass im Bereich der Fügefläche (24) mehrere in Umfangsrichtung der zylindrischen Fügefläche (24) voneinander beabstandete Schweißnähte (26) erzeugt werden.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Vorschubbewegung (32) des Laserfokus (26) in oder entgegen der Strahlrichtung kontinuierlich oder schrittweise erfolgt.
- 5 5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Vorschubbewegung (32) kontinuierlich mit einer Vorschubgeschwindigkeit von 0,5 mm/s bis 100 mm/s, bevorzugt von 5 mm/s bis 30 mm/s, besonders bevorzugt mit ca. 20mm/s, erfolgt.
- 10 6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass eine Schweißnaht (26) mit einem Nahtdurchmesser von 5-500  $\mu\text{m}$ , bevorzugt 50-100  $\mu\text{m}$ , erzeugt wird.
- 15 7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass mehrere einander in Richtung (36) quer zur Fügefläche (24) überlappende axiale Schweißnähte sequentiell erzeugt werden.
- 20 8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der gepulste Laserstrahl (26) Laserpulspakete umfasst, welche aus Einzelpulsen bestehen.
- 25 9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Einzelpulse in einem Pulspaket gleich sind.
- 30 10. Verfahren nach Anspruch 8 oder 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Zahl der Einzelpulse in einem Pulspaket zwischen 1 und 20 beträgt.
11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Laserpulse (20) des Laserstrahls (16) eine Einzelpulsrepetitionrate im Pulspaket von 50-200 kHz und/oder eine mittlere Pulsleistung von 1-20 W und/oder einen Laserfokus (F) an der Schweißstelle von 5-10  $\mu\text{m}$  aufweisen.

12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der UKP-Laserstrahl Laserstrahlung mit Pulsdauern kleiner als 50 ps, bevorzugt kleiner 1 ps, insbesondere im Femtosekundenbereich, aufweist.

5

13. Optisches Element (34) aus einer Lichtleitfaser (10), insbesondere einer Hohlkernfaser, und einem Lochelement (12), insbesondere aus Glas, wobei die Lichtleitfaser (10) in einem Loch (14) des Lochelements (12) angeordnet ist und der Außenumfang der Lichtleitfaser (10) und der Innenumfang des Loches (14) des Lochelements (12) eine zylindrische Fügefläche (24) bilden, dadurch gekennzeichnet, dass die Lichtleitfaser (10) und das Lochelement (12) im Bereich der zylindrischen Fügefläche (24) mittels mindestens einer Schweißnaht (26) verbunden sind, die sich in axialer Richtung und/oder in Umfangsrichtung der zylindrischen Fügefläche (24) erstreckt.

10

15

14. Optisches Element nach Anspruch 13, gekennzeichnet durch mehrere in Umfangsrichtung der zylindrischen Fügefläche (24) voneinander beabstandete Schweißnähte (26) im Bereich der zylindrischen Fügefläche (24).

20

SP12703 Rk/Sc

27.11.2018

5

Zusammenfassung

Bei einem Verfahren zum Schweißen einer Lichtleitfaser (10), insbesondere einer Hohlkernfaser, und eines Lochelements (12), insbesondere aus Glas, mittels eines gepulsten Laserstrahls (16), insbesondere UKP-Laserstrahls, wobei die Lichtleit-  
10 faser (10) in ein Loch (14) des Lochelements (12) eingeschoben ist, so dass der Außenumfang der Lichtleitfaser (10) und der Innenumfang des Loches (14) eine zylindrische Fügefläche (24) bilden, wobei die Lichtleitfaser (10) und das Loch-  
element (12) im Bereich der Fügefläche (24) mittels des in das Werkstückmaterial fokussierten Laserstrahls (16) lokal aufgeschmolzen und dadurch miteinander ver-  
15 schweißt werden, wird erfindungsgemäß ein gepulster Laserstrahl (16) auf den Bereich der Fügefläche (24) fokussiert und der Laserfokus (F) im Bereich der Fügefläche (24) axial bewegt, um im Bereich der Fügefläche (24) mindestens eine Schweißnaht (26), insbesondere eine axiale Schweißnaht, zu erzeugen.

20 (Fig. 2)

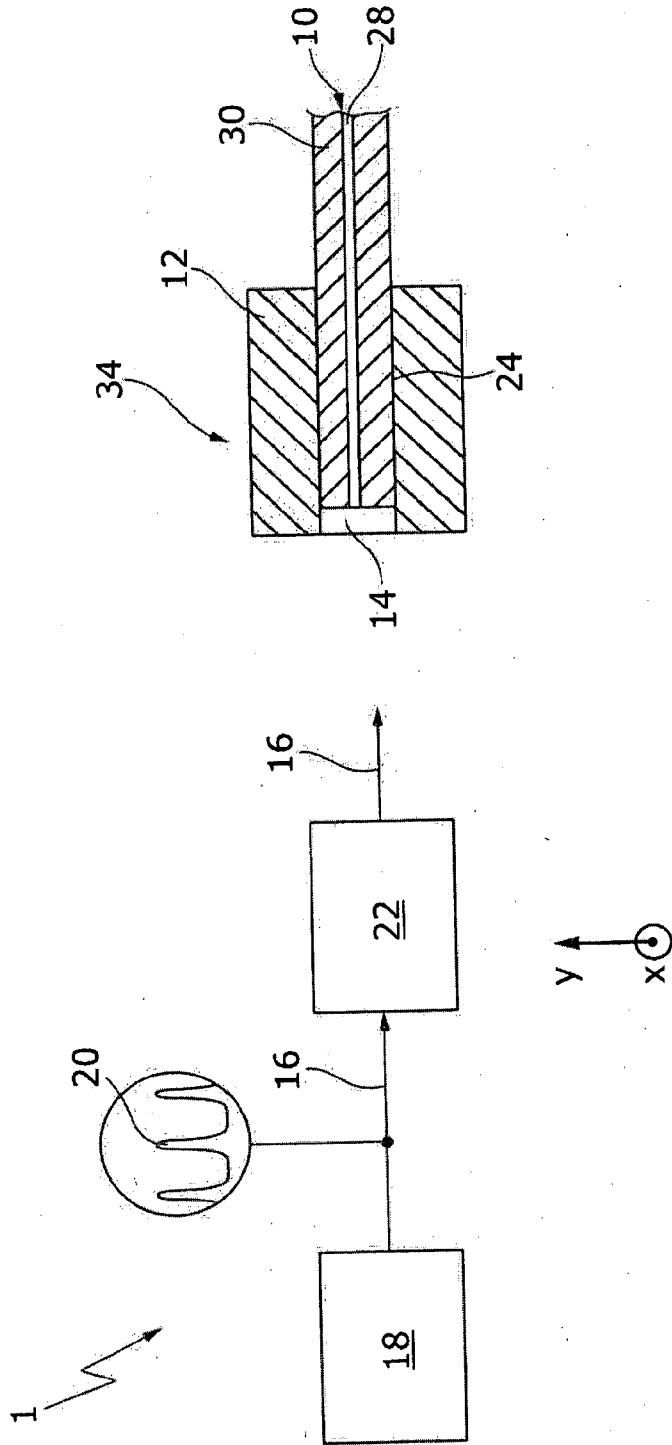


Fig. 1



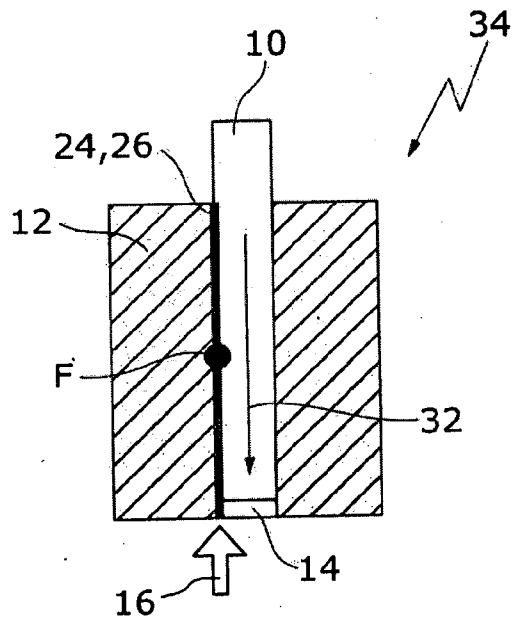


Fig. 2

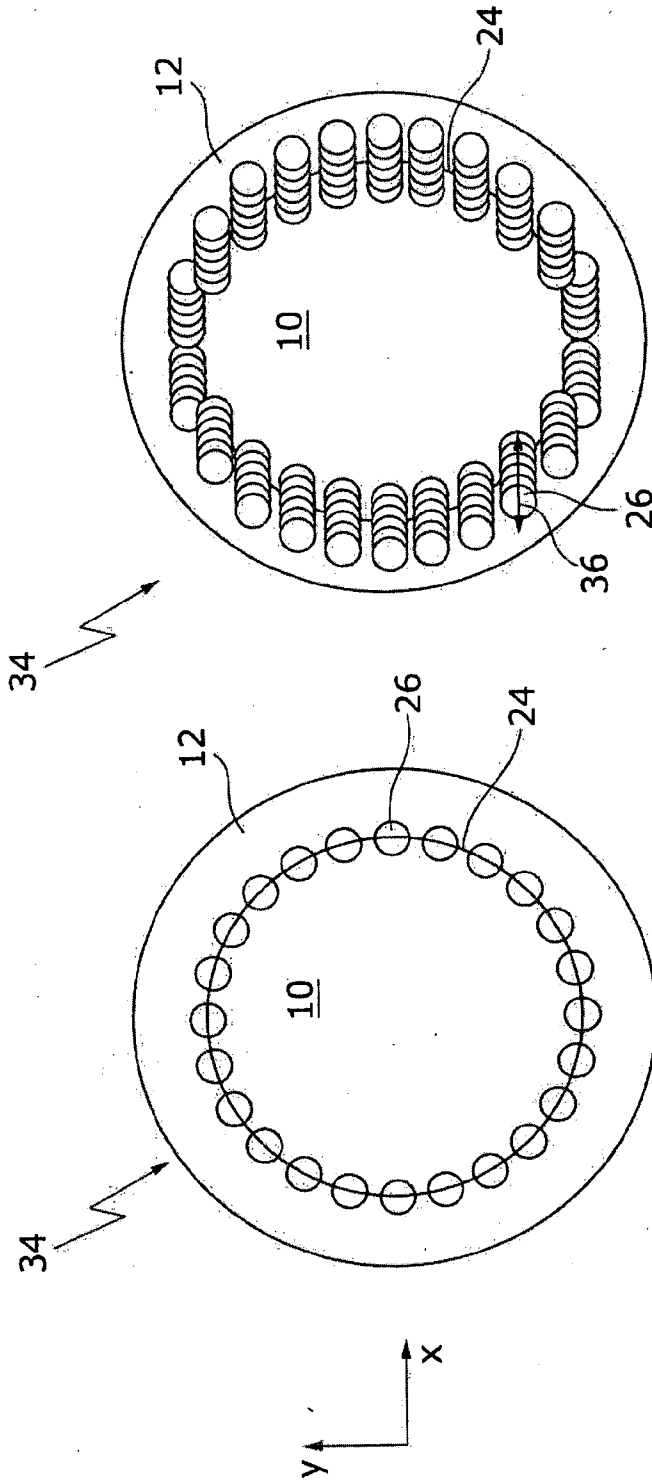


Fig. 4

Fig. 3