

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

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
04. Juni 2020 (04.06.2020)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2020/109080 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

C03B 23/203 (2006.01) B23K 26/24 (2014.01)
B23K 26/0622 (2014.01) B23K 26/26 (2014.01)
B23K 26/082 (2014.01) B23K 26/324 (2014.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2019/081787

(22) Internationales Anmeldedatum:

19. November 2019 (19.11.2019)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:

10 2018 220 445.4

28. November 2018 (28.11.2018) DE

(71) Anmelder: TRUMPF LASER- UND SYSTEMTECH-
NIK GMBH [DE/DE]; Johann-Maus-Straße 2, 71254 Ditz-
ingen (DE).

(72) Erfinder: KUMKAR, Malte; Am Wäldchen 10, 99425
Weimar (DE). ZIMMERMANN, Felix; Gleiwitzer Straße
47, 71229 Leonberg (DE).

(74) Anwalt: KOHLER SCHMID MÖBUS PATENT-
ANWÄLTE PARTNERSCHAFTSGESELLSCHAFT
MBB; Gropiusplatz 10, 70563 Stuttgart (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY,
BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM,
DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,
HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN,
KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD,

(54) Title: METHOD FOR BUTT-JOINT WELDING TWO WORKPIECES BY MEANS OF AN ULTRASHORT PULSE LASER
BEAM, AND ASSOCIATED OPTICAL ELEMENT

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUM STUMPFSTOßSCHWEIßEN ZWEIER WERKSTÜCKE MITTELS EINES UKP-
LASERSTRAHLS SOWIE ZUGEHÖRIGES OPTISCHES ELEMENT

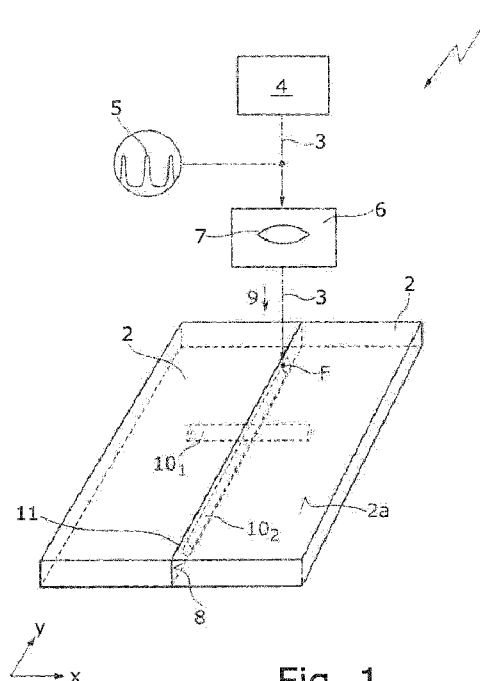


Fig. 1

(57) Abstract: The invention relates to a method for butt-joint welding two, in particular planar workpieces (2) by means of at least one pulsed laser beam (3), in particular ultrashort pulse laser beam, which is focussed into the workpiece material. In order to melt the two workpieces (2) locally in the region of their joining surface (8), the laser focus (F) of the laser beam (3) focussed into the workpiece material is moved transversely, in particular at right angles, to the joining surface (8) to produce a weld seam (101, 102) in the region of the

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



WO 2020/109080 A1

ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO,
NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW,
SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM,
TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

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

Veröffentlicht:

- mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

joining surface (8).

(57) Zusammenfassung: Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren zum Stumpfstoßschweißen zweier, insbesondere plattenförmiger Werkstücke (2), mittels mindestens eines gepulsten Laserstrahls (3), insbesondere UKP-Laserstrahls, der in das Werkstückmaterial fokussiert wird, um die beiden Werkstücke (2) im Bereich ihrer Fügefläche (8) lokal aufzuschmelzen, wird der Laserfokus (F) des in das Werkstückmaterial fokussierten Laserstrahls (3) quer, insbesondere rechtwinklig, zur Fügefläche (8) bewegt, um im Bereich der Fügefläche (8) eine Schweißnaht (10₁, 10₂) zu erzeugen.

25

Verfahren zum Stumpfstoßschweißen zweier Werkstücke mittels eines UKP-
Laserstrahls sowie zugehöriges optisches Element

30

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Stumpfstoßschweißen zweier, insbesondere plattenförmiger Werkstücke mittels mindestens eines gepulsten Laserstrahls, insbesondere UKP-Laserstrahls, der in das Werkstückmaterial fokussiert wird, um die beiden Werkstücke im Bereich ihrer Fügefläche lokal aufzuschmelzen. Die Erfindung betrifft weiter ein Element das aus mindestens zwei miteinander Laser verschweißten Werkstücken zusammengefügt ist.

Ultrakurz gepulste (UKP) Laserstrahlung mit Pulsdauern kleiner als 500 ps, insbesondere im Femtosekundenbereich, wird zunehmend für die Materialbearbeitung eingesetzt. Die Besonderheit der Materialbearbeitung mit UKP-Laserstrahlung
5 liegt in der kurzen Wechselwirkungszeit der Laserstrahlung mit dem Werkstück. Bedingt durch diese Wechselwirkungszeit lassen sich im Festkörper extreme thermodynamische Ungleichgewichte erzeugen, die dann zu einzigartigen Abtrags- oder Formationsmechanismen führen.

10 Das Laserschweißen von lasertransparenten Gläsern oder auch anderen, für den Laserstrahl transparenten, teiltransparenten oder streuenden Materialien, wie z.B. Kristalle, Polymere, Halbleiter, Keramik, mittels ultrakurzer Laserpulse ermöglicht eine stabile Verbindung ohne zusätzlichen Materialeinsatz, ist aber durch laserinduzierte transiente sowie permanente Spannungen limitiert. Zum Stumpfstoß-
15 verbinden zweier lasertransparenter Werkstücke, wie zum Beispiel Gläser oder Kristalle, wird ein zum Beispiel mittig in die Dicke der beiden Werkstücke fokussierter UKP-Laserstrahl entlang der Fügefläche bewegt, um die beiden Werkstücke im Bereich ihrer Fügefläche lokal aufzuschmelzen und dadurch im Material der beiden Werkstücke eine insbesondere durchgängige horizontale Schweißnaht
20 zu erzeugen. Die Schweißnaht ist typischerweise durch eine von außen als Schweißblase erkennbare Schmelzzone gebildet, die vom Laserfokus ausgeht und sich entgegen der Richtung des einfallenden Laserstrahls tropfenförmig erstreckt. Zur Steigerung der Anbindungsfläche werden mehrere Schweißnähte in Bahnen nebeneinandergesetzt. Diese Art zu Schweißen ermöglicht gasdichte
25 Schweißnähte und Fügeverbindungen mit hohen Festigkeiten und wird zum Fügen von zum Beispiel Schutzgläsern eingesetzt.

Hintergrund ist das lokale Aufschmelzen des Materials mittels ultrakurzer Laserpulse. Fokussiert man ultrakurze Laserpulse in das Volumen von Glas, z.B.

30 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 angeregte Ladungsträger erzeugt, die in Folge quasi linear absorbieren. So entsteht lokal ein Plasma im Absorptionsbereich. Die

Schmelzzone entsteht, wenn mehrere Pulse (mit hoher Repetitionsrate) mit Überlapp eingestrahlt werden, sodass sich die induzierte Wärme aufakkumuliert und das Material aufschmilzt. Nach dem Abkühlen entsteht so eine permanente Verbindung, wenn die Modifikation in der Grenzfläche der Fügepartner liegt. Die tatsächliche Schweißnaht (Größe des aufgeschmolzenen Bereichs) ist dabei i.A. größer als der Absorptionsbereich. 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.

Die vorliegende Erfindung stellt sich die Aufgabe, ein Stumpfstoßschweißverfahren anzugeben, mit dem das Schweißergebnis weiter verbessert wird. Insbesondere sollen lasertransparente Werkstücke sicher miteinander verschweißt werden, auch wenn beispielsweise Defekte an einer der Oberflächen der Werkstücke vorliegen.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch ein Verfahren zum Stumpfstoßschweißen zweier, insbesondere plattenförmiger Werkstücke mittels mindestens eines gepulsten Laserstrahls, insbesondere UKP-Laserstrahls, gelöst, der in das Werkstückmaterial fokussiert wird, um die beiden Werkstücke im Bereich ihrer Fügefläche lokal aufzuschmelzen, wobei der Laserfokus des in das Werkstückmaterial fokussierten Laserstrahls quer, insbesondere rechtwinklig, zur Fügefläche bewegt wird, um im Bereich der Fügefläche eine sich quer zur Strahlrichtung des Laserstrahls erstreckende Schweißnaht zu erzeugen. Vorzugsweise weist der UKP-Laserstrahl Laserstrahlung mit Pulsdauern kleiner als 50 ps, bevorzugt kleiner 1ps, insbesondere im Femtosekundenbereich, auf und beträgt die Pulsdauer des gepulsten Laserstrahls zwischen 10 fs und 500 ps.

Erfindungsgemäß wird dabei der Laserfokus längs und/oder quer zur Fügefläche bewegt. Dabei ist die Strahlrichtung des Laserstrahls beispielsweise parallel zur

Fügefläche und/oder rechtwinklig zur Werkstückoberseite. Vorzugsweise ist die Geometrie des Laserstrahls auf die entsprechende Werkstückgeometrie abgestimmt und kann raumzeitlich geformt sein. Dies erlaubt es, Abschattungen oder mangelhafte Energieeinkopplung, beispielsweise durch Defekte im Material, zu vermeiden. Die Erfindung ermöglicht es, insbesondere dicke plattenförmige Werkstücke miteinander zu verschweißen. Vorzugsweise sind die Werkstücke aus Glas, insbesondere Quarzglas, aus Polymer, Glaskeramik, Kristallen oder Kombinationen davon und/oder mit opaken Materialien gebildet. Sie können ebenfalls Beschichtungen aufweisen die eine direkte Bestrahlung durch das Werkstück hindurch nicht erlauben würden.

Bei einer Querbewegung des Laserfokus wird der Laserfokus quer über die Fügefläche hinwegbewegt. Dadurch wird die im Fokusbereich induzierte Schmelze in die Fügezone getrieben und führt nach dem Abkühlen zu einer permanenten Verbindung beider Werkstücke. Es ist außerdem möglich, direkt oder nahe in die Fügefläche zu fokussieren und den Schweißprozess unter Vorschub entlang der Fügefläche, also längs der oberseitigen Fügelinie, durchzuführen. Es ist auch möglich, den Laserfokus gleichzeitig längs und quer zur Fügefläche zu bewegen, um so beispielsweise im Bereich der Fügefläche eine nicht geradlinige Schweißnaht zu bilden, deren Form sich durch die überlagerte Quer- und Längsbewegung des Laserfokus ergibt.

Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung wird das Strahlprofil des eingestrahlten Laserstrahls räumlich und oder zeitlich angepasst. Dies bedeutet beispielsweise für räumliche Strahlprofile, dass ein gaußförmiges Strahlprofil verwendet oder aber das Strahlprofil so angepasst werden kann, dass ein räumliches Strahlprofil gewählt wird, das wesentliche Stahlanteile außerhalb der optischen Achse aufweist. Das kann beispielsweise zwei zur optischen Achse versetzte Fokuspunkte bedeuten. Eine weitere Möglichkeit, das Strahlprofil räumlich anzupassen, ist beispielsweise, den Laserstrahl schräg zur Fügefläche und/oder zur Werkstückoberseite einzustrahlen. Ein Beispiel für die zeitliche Anpassung des Strahlprofils ist zum Beispiel, dass der gepulste Laserstrahl in zeitlichen Intervallen eingestrahlt wird. Dies können kurze Pulszüge, sogenannte Bursts, sein. Hierdurch kann eine bessere Energieeinkopplung erreicht werden. Ein weiteres Bei-

spiel für eine zeitliche und räumliche Anpassung des Strahlprofils des eingestrah-
ten Laserstrahls ist, dass mehrere quer zur Strahlrichtung zueinander versetzte
Laserstrahlen eingestrahlt werden. Diese mehreren Laserstrahlen können bei-
spielsweise quer zur Strahlrichtung zueinander parallelversetzt sein, sodass sich
5 einzelne oder zusammenhängende Schweißbereiche ergeben und so eine größe-
re Fläche in gleicher Zeit geschweißt werden kann und/oder eine größere longitu-
dinale Schmelzmodifikation entsteht, die eine größere Fokuslagertoleranz ermög-
licht. Die Laserfoki der mehreren Laserstrahlen können dabei in Strahlrichtung
hintereinander versetzt sein, um so die Auswirkung eventueller Defekte an der
10 Werkstückoberfläche oder an der Fügefläche zu minimieren. Die mehreren Laser-
strahlen müssen aber nicht parallelversetzt verlaufen, sondern ihre Strahlachsen
können besonders vorteilhaft im Werkstück zusammenlaufen, um mögliche Defek-
te zu umgehen. In diesem Fall werden die mehreren Laserstrahlen gemeinsam in
einer Richtung bewegt, welche quer zu ihren jeweiligen Strahlrichtungen verläuft.

15 Die Anpassung des Strahlprofils wird dabei bevorzugt an die Gegebenheiten der
Werkstücke angepasst. Beispielsweise kann die Ausdehnung der Schmelzzonen
für das Schweißen von Werkstücken mit eventuellen Härtungsschichten in latera-
ler Richtung der Härtungsschichten oder in Richtung von Spannungsgradienten,
20 senkrecht zu den Härtungszonen, lokalisiert werden.

Durch die räumliche und/oder zeitliche Anpassung von Strahlprofilen auf die Ge-
gebenheiten der Werkstücke können beispielsweise Abschattungen, beispielswei-
se durch Totalreflexion an Spalten oder Übergängen an der Fügefläche der Werk-
25 stücke vermieden oder vermindert werden. Es können ebenfalls aberrationsbe-
dingte Verluste verringert oder vermieden werden, die sich beispielsweise bei
sphärischen Aberrationen beim Versatz der Grenzflächen der Werkstücke zuei-
nander ergeben könnten.

30 Der Laserstrahl kann beispielsweise durch einen räumlichen Lichtmodulator oder
einen akusto-optischen Deflektor (AOD) moduliert werden. Die AOD-Modulation
kann hochdynamisch während des Schweißprozesses erfolgen. Das Absorptions-
gebiet des Laserstrahls in den Werkstücken kann beispielsweise aktiv durch

strahlformende Elemente, wie z.B. diffraktiv optische Elemente, räumliche Lichtmodulatoren und/oder durch akusto-optische Deflektoren, verändert werden.

Eine zeitliche Absorptionsdynamik kann durch das Einstrahlen des Laserstrahls in zeitlichen Intervallen erfolgen, beispielsweise durch kurze Laserpulszüge, sogenannte Bursts. Hierdurch kann nicht nur die Absorptions- und/oder die Schmelzgeometrie verändert werden, sondern auch die Abkühlodynamik, um so beispielsweise die Abkühlrate und die finale fiktive Temperatur des Werkstoffes zu modifizieren.

Die Erfindung betrifft in einem weiteren Aspekt auch ein mit dem erfindungsgemäßen Stumpfstoßschweißen aus mindestens zwei Werkstücken zusammengefügt optisches Element. Die Werkstücke sind dabei miteinander mittels mindestens einer Schweißnaht im Bereich der Fügefläche miteinander verschweißt. Die Schweißnaht verläuft dabei in Längsrichtung und/oder in Querrichtung zur Fügefläche.

Weitere Vorteile und vorteilhafte Ausgestaltungen des Gegenstands der Erfindung ergeben sich aus der Beschreibung, den Ansprüchen und den Zeichnungen.

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

Es zeigen:

Fig. 1 schematisch eine Laserbearbeitungsmaschine zum erfindungsgemäßen Stumpfstoßschweißen zweier Werkstücke mittels eines Laserstrahls;

Fig. 2a-2c schematisch eine Schnittansicht zweier plattenförmiger Werkstücke, die mittels eines gaußförmigen Laserstrahls miteinander verschweißt werden, dessen Laserfokus quer zur Fügefläche (Fig. 2a), parallel zur oberseitigen Fügelinie (Fig. 2b) sowie quer zur

Fügefläche und parallel zur oberseitigen Fügelinie (Fig. 3c) bewegt wird; und

Fig. 3a-3c schematisch eine Schnittansicht zweier plattenförmiger Werkstücke, die mittels eines schräg gestellten, gaußförmigen Laserstrahls (Fig. 3a), eines ringförmigen Laserstrahls (Fig. 3b) und dreier parallel nebeneinander verlaufender, gaußförmiger Laserstrahlen (Fig. 3c) miteinander verschweißt werden.

10 Die in **Fig. 1** gezeigte Laserbearbeitungsmaschine **1** dient zum Stumpfstoßschweißen zweier im Stumpfstoß aneinander anliegender, plattenförmiger Werkstücke **2** mittels eines Laserstrahls **3**. Die beiden Werkstücke **2** sind beispielsweise aus Glas, insbesondere Quarzglas, aus Polymer, Glaskeramik, Kristallen oder aus Kombinationen davon und/oder mit opaken Materialien gebildet, und/oder
15 damit beschichtet.

Die Laserbearbeitungsmaschine **1** umfasst einen UKP-Laser **4** zum Erzeugen des Laserstrahls **3** in Form von UKP-Laserpulsen **5** mit Pulsdauern kleiner 500 ps, insbesondere in Form von Femtosekundenpulsen, und einen in X-Y-Z-Richtung
20 bewegbaren Laserbearbeitungskopf **6** mit einer Fokussieroptik **7** zum Fokussieren des unten aus dem Laserbearbeitungskopf **6** austretenden Laserstrahls **3**. Alternativ oder zusätzlich kann auch die zu schweißende Baugruppe aus den beiden Werkstücken **2** in X-Y-Richtung bewegt werden. Vorzugsweise beträgt die Repetitionsrate des gepulsten Laserstrahls **3** zwischen 1 kHz und 500 GHz, insbesondere
25 zwischen 50kHz und 500 kHz, und die Pulsdauer des gepulsten Laserstrahls **3** zwischen 10 fs und 500 ps.

Die Fokussieroptik **7** kann das Strahlprofil des Laserstrahls **3** räumlich und/oder zeitlich anpassen. Hierfür kann die Fokussieroptik **7** beispielsweise einen räumlichen Lichtmodulator und/oder akusto-optische Deflektoren, AOD, umfassen. In
30 der Fokussieroptik **7** kann das Absorptionsgebiet aktiv angepasst werden, beispielsweise durch strahlformende Elemente, wie z.B. diffraktiv optische Elemente, räumliche Lichtmodulatoren oder AOD. Dies kann auch hochdynamisch während des Stoßschweißens selbst passieren. Alternativ oder ergänzend zu der zeitlichen

Modulation der Pulsparameter oder auch zu der Erzeugung von Pulszügen direkt aus dem Laser kann die Fokussieroptik 7 außerdem die zeitliche Absorptionsdynamik durch kurze Laserpulszüge, sogenannte Bursts, modifizieren und dadurch die Absorptions- und/oder Schmelzgeometrie direkt verändern oder indirekt durch angepasste Abkühlodynamik verändern. Die indirekte Anpassung der Abkühlodynamik kann beispielsweise erfordern, die Abkühlrate anzupassen, sodass die finale fiktive Temperatur des Glases, beeinflusst durch die Dichteänderung und somit durch die induzierte Spannung, modifiziert wird. Ebenso kann der Laserstrahl 3 durch die Fokussieroptik 7 bezüglich der optischen Achse versetzt werden.

Beim Stumpfstoßschweißen der beiden Werkstücke 2 wird der Laserstrahl 3 rechtwinklig oder nahezu rechtwinklig auf die dem Laserbearbeitungskopf 6 zugewandte Werkstückoberseite 2a gerichtet und im Bereich der gemeinsamen Fügefläche 8 der beiden Werkstücke 2 in das Werkstückmaterial fokussiert, um die beiden Werkstücke 2 im Bereich der Fügefläche 8 lokal aufzuschmelzen. Dabei wird der Laserfokus F des Laserstrahls 3 quer, hier rechtwinklig, zur Strahlrichtung 9 des Laserstrahls 3 bewegt, um im Bereich der Fügefläche 8 eine sich quer, hier rechtwinklig, zur Strahlrichtung 9 des Laserstrahls 3 erstreckende Schweißnaht 10₁, 10₂ zu erzeugen. Die Schweißnaht kann sich dabei quer, hier rechtwinklig, zur Fügefläche 8 (Quernaht 10₁) oder längs bzw. parallel zur oberseitigen Fügelinie 11 der beiden Werkstücke 2 (Längsnaht 10₂) erstrecken. Bei der Längsbewegung kann sich der Laserfokus F an der Fügefläche 8 oder nahe der Fügefläche 8 im Material eines der beiden Werkstücke 2 befinden. Bei der Querbewegung bewegt sich der Laserfokus F vom Werkstückmaterial des einen Werkstückes 2 ins Werkstückmaterial des anderen Werkstückes 2 und passiert dabei die Fügefläche 8. Auch eine kombinierte Längs- und Querbewegung des Laserfokus ist möglich, um so beispielsweise eine schlangenlinien- oder zickzackförmige Schweißnaht zu erzeugen.

Die **Fign. 2a-2c** zeigen jeweils eine Schnittansicht zweier im Stumpfstoß aneinander anliegender, plattenförmiger Werkstücke 2, die mittels eines gepulsten Laserstrahls 3 mit z.B. gaußförmigem Strahlprofil miteinander verschweißt werden. Der Laserstrahl 3 wird parallel zur Fügefläche 8 und rechtwinklig auf die Werkstückoberseite 2a eingestrahlt. Durch den in das Werkstückmaterial fokussierten Laser-

strahl 3 wird in dem Werkstückmaterial eine tropfenförmige Schmelzzone **12** um den Laserfokus F herum aufgeschmolzen.

In Fig. 2a wird der Laserfokus F rechtwinklig zur Fügefläche 8 in Richtung **A** und
5 über die Fügefläche 8 hinwegbewegt, um so eine über die Fügefläche 8 hinweg verlaufende Schweißnaht **10₁** zu erzeugen. Statt der gezeigten linearen Querbewegung des Laserstrahls 3 in Richtung A kann der Laserstrahl 3 auch um eine zu seiner Einfallrichtung parallele Achse rotiert werden, um so eine ringförmige Schweißnaht zu erzeugen, welche die Fügefläche 8 zweimal schneidet. Weiterhin
10 alternativ kann der Laserstrahl 3 zusätzlich zu seiner gezeigten linearen Querbewegung in Richtung A auch um eine zu seiner Einfallrichtung parallele Achse rotiert werden, um so eine zyklidförmige bzw. eine breitere Schweißnaht zu erzeugen, welche die Fügefläche 8 schneidet.

In Fig. 2b wird der Laserfokus F parallel zur oberseitigen Fügelinie 11 in Vorschubrichtung **B** bewegt, um so im Bereich der Fügefläche 8 eine entlang der Fügefläche 8 verlaufende Schweißnaht **10₂** zu erzeugen.

In Fig. 2c wird der Laserfokus F sowohl rechtwinklig zur Fügefläche 8 oszillierend hin- und her bewegt (Doppelpfeil **C**) als auch parallel zur oberseitigen Fügelinie 11
20 in Vorschubrichtung B bewegt, um so im Bereich der Fügefläche 8 beispielsweise eine schlangenlinien- oder zickzackförmige Schweißnaht **10₃** zu erzeugen. Statt der translatorischen Querbewegung des Laserstrahls 3 in Richtung A kann der Laserstrahl 3 auch pendelnd hin- und her verschenkt oder auch um eine zu seiner Einfallrichtung parallele Achse rotiert werden. Im letzteren Fall wird durch die der
25 linearen Vorschubbewegung überlagerte Rotation des Laserstrahls 3 eine zyklidförmige bzw. eine breite Schweißnaht in Vorschubrichtung B erzeugt.

Von Fig. 2a unterscheidet sich die **Fig. 3a** lediglich dadurch, dass hier der Laserstrahl 3 schräg zur Fügefläche 8 und zur Werkstückoberseite 2a eingestrahlt und
30 quer zur Strahlrichtung des Laserstrahls 3 in Richtung A bewegt wird. Der Winkel α zwischen Laserstrahl 3 und Fügefläche 8 beträgt z.B. 10° bis 20° . Durch diesen schräggestellten Laserstrahl 3 ist es möglich, eventuelle Defekte **13** an der Werkstückoberfläche 2a oder an der Fügefläche 8 zu umgehen und trotzdem ein gutes Schweißergebnis zu erreichen. Statt der gezeigten translatorischen Querbewe-

gung des Laserstrahls 3 in Richtung A kann der schräg gestellte Laserstrahl 3 auch pendelnd hin- und her verschenkt oder um eine zu seiner Einfallsrichtung parallele Achse rotiert werden.

5 Von Fig. 3a unterscheidet sich die **Fig. 3b** lediglich dadurch, dass hier der Laserstrahl 3 ein auf einer ringförmigen Winkelverteilung basierendes Strahlprofil, z.B. eine Bessel-Form, aufweist. Dieses Strahlprofil bzw. die Bessel-Form weist wesentliche Strahlanteile außerhalb der optischen Achse des Laserstrahls 3 auf. Dadurch ist es möglich, die Auswirkung eventueller Defekte 13 an der Werkstück-
10 oberfläche 2a oder an der Fügefläche 8 zu minimieren und ein gutes Schweißergebnis zu erreichen. Statt wie in Fig. 3b schräg, kann der Laserstrahl 3 auch wie in Fig. 2a rechtwinklig auf die Werkstückoberseite 2a eingestrahlt werden. Auch dann ist der störende Einfluss von Oberflächendefekte 13 am Stoß reduziert (wenn auch nicht im vollen Winkelbereich).

15

Von Fig. 2a unterscheidet sich die **Fig. 3c** lediglich dadurch, dass hier mehrere, hier lediglich beispielhaft drei, gepulste Laserstrahlen 3 mit z.B. gaußförmigem Strahlprofil eingestrahlt werden. Die Laserstrahlen 3 sind in Richtung 3 zueinander parallelversetzt, und ihre Laserfoki F sind in Strahlrichtung 9 hintereinander ver-
20 setzt. Die Laserstrahlen 3 werden gemeinsam in Richtung A rechtwinklig zur Fügefläche 8 über die Fügefläche 8 hinwegbewegt, um so mehrere in Tiefenrichtung parallelversetzte Schweißnähte 10₁ zu erzeugen. Durch diese mehreren Laserstrahlen 3 ist es ebenfalls möglich, gute Schweißergebnisse zu erzielen, auch bei vorliegenden Defekten 13 in den Werkstücken 2.

25

Statt der in Fign. 3a bis 3c gezeigten translatorischen Querbewegung des Laserstrahls 3 in Richtung A kann der schräg gestellte Laserstrahl 3 in den Fign. 3a und 3b bzw. die mehreren Laserstrahlen 3 auch pendelnd hin- und her verschenkt oder um eine zur Einfallsrichtung parallele Achse rotiert werden.

30

Zusätzlich zu den in den Fign. 2 und 3 gezeigten Quer- und Längsbewegungen des Laserstrahls 3 kann der Laserfokus F des Laserstrahls 3 auch in und entgegen der Strahlrichtung bewegt werden, um so eine in der Werkstücktiefe variierende Schweißnaht zu erzeugen.

Vorteilhafte Parameter beim erfindungsgemäßen Stumpfstoßschweißen sind:

- Laserstrahl 3 in Form von Laserbursts mit jeweils 2 oder 4 Laserpulsen mit Besselselform,
- 5 - Repetitionsrate ca. 50MHz,
- mittlere Leistung ca. 3-10W, und
- Vorschub zwischen 1 und 50mm/s.

5

Patentansprüche

10

15

20

25

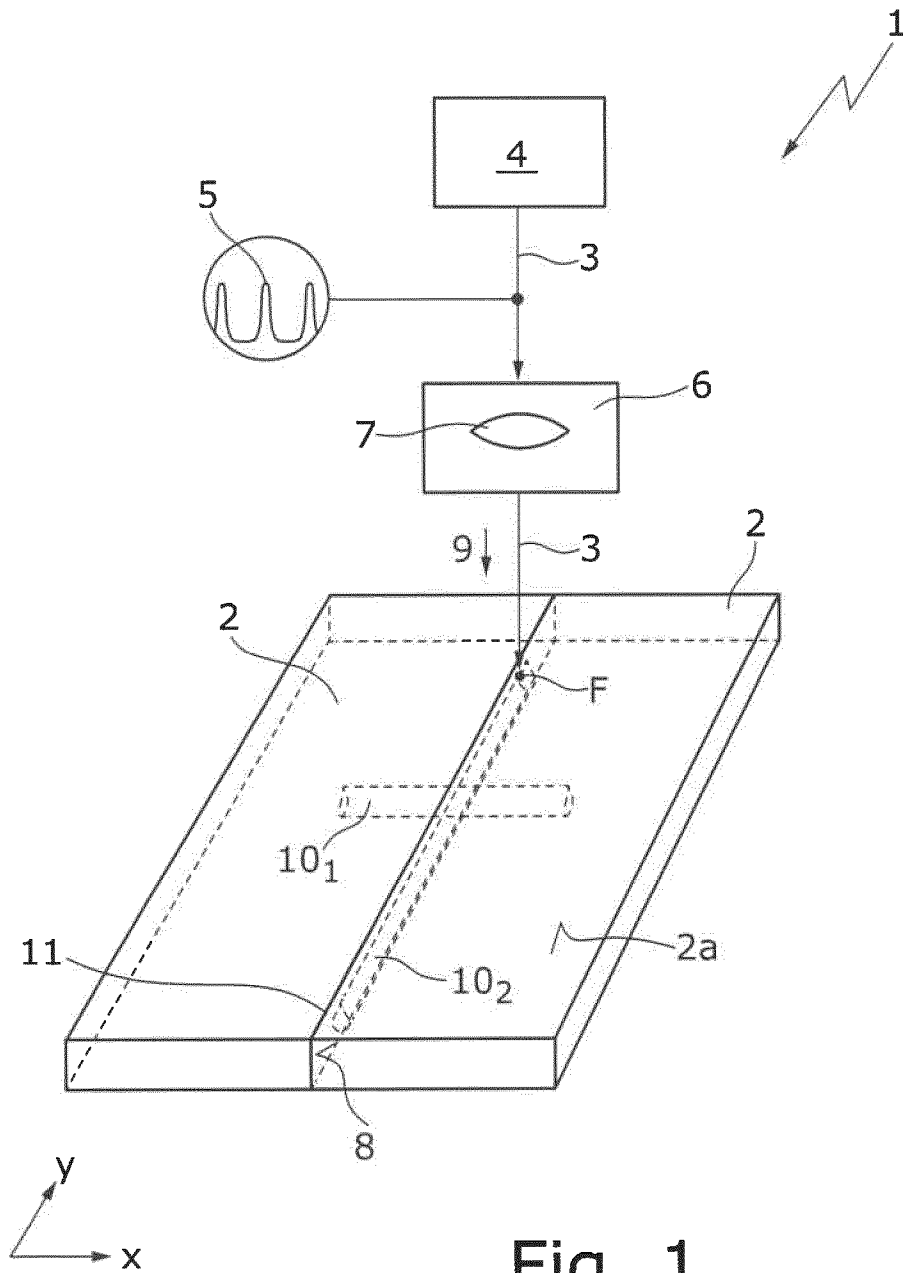
30

1. Verfahren zum Stumpfstoßschweißen zweier, insbesondere plattenförmiger Werkstücke (2), mittels mindestens eines gepulsten Laserstrahls (3), insbesondere UKP-Laserstrahls, der in das Werkstückmaterial fokussiert wird, um die beiden Werkstücke (2) im Bereich ihrer Fügefläche (8) lokal aufzuschmelzen, wobei der Laserfokus (F) des in das Werkstückmaterial fokussierten Laserstrahls (3) quer, insbesondere rechtwinklig, zur Fügefläche (8) bewegt wird, um im Bereich der Fügefläche (8) eine sich quer zur Strahlrichtung (9) des Laserstrahls (3) erstreckende Schweißnaht (10₁, 10₂, 10₃) zu erzeugen.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der gepulste Laserstrahl (3) parallel zur Fügefläche (8) und/oder rechtwinklig zur Werkstückoberseite (2a) eingestrahlt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Laserfokus (F) des in das Werkstückmaterial fokussierten Laserstrahls (3) längs und quer, insbesondere rechtwinklig, zur Fügefläche (8) bewegt wird, um im Bereich der Fügefläche (8) eine Schweißnaht (10₁, 10₂, 10₃) zu erzeugen.
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Laserstrahl (3) ein gaußförmiges Strahlprofil oder ein auf einer ringförmigen Winkelverteilung basierendes Strahlprofil, insbesondere eine Bessel-Form, aufweist.
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Laserstrahl (3) schräg zur Werkstückoberseite (2a) und/oder zur Fügefläche (8) eingestrahlt wird.

- 5 6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass mehrere quer zur Strahlrichtung (9) zueinander versetzte, insbesondere zueinander parallelversetzte Laserstrahlen (3) in das Werkstückmaterial fokussiert werden.
- 10 7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Laserfoki (F) der mehreren Laserstrahlen (3) in Strahlrichtung (9) hintereinander versetzt sind.
8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Repetitionsrate des gepulsten Laserstrahls (3) zwischen 1 kHz und 500 GHz, insbesondere zwischen 50kHz und 500 kHz, beträgt.
- 15 9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Pulsdauer des gepulsten Laserstrahls (3) zwischen 10 fs und 500 ps beträgt.
- 20 10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zur Erzeugung einer Querbewegung der Laserstrahl (3) pendelnd hin- und her verschwenkt oder um eine zur Einfallsrichtung parallele Achse rotiert wird.
- 25 11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Laserfokus (F) des Laserstrahls (3) in und/oder entgegen der Strahlrichtung bewegt wird.
- 30 12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der UKP-Laserstrahl (3) Laserstrahlung mit Pulsdauern kleiner als 50 ps, bevorzugt kleiner 1ps, insbesondere im Femtosekundenbereich, aufweist.
13. Element, das aus mindestens zwei miteinander laserverschweißten, insbesondere plattenförmigen Werkstücken (2) gebildet ist, die an mindestens

einer Fügefläche (8) zusammengefügt sind, gekennzeichnet durch mindestens eine Schweißnaht (10_1 , 10_2 , 10_3) im Bereich der Fügefläche (8), die in Längsrichtung und/oder in Querrichtung zur Fügefläche (8) verläuft.

1 / 3



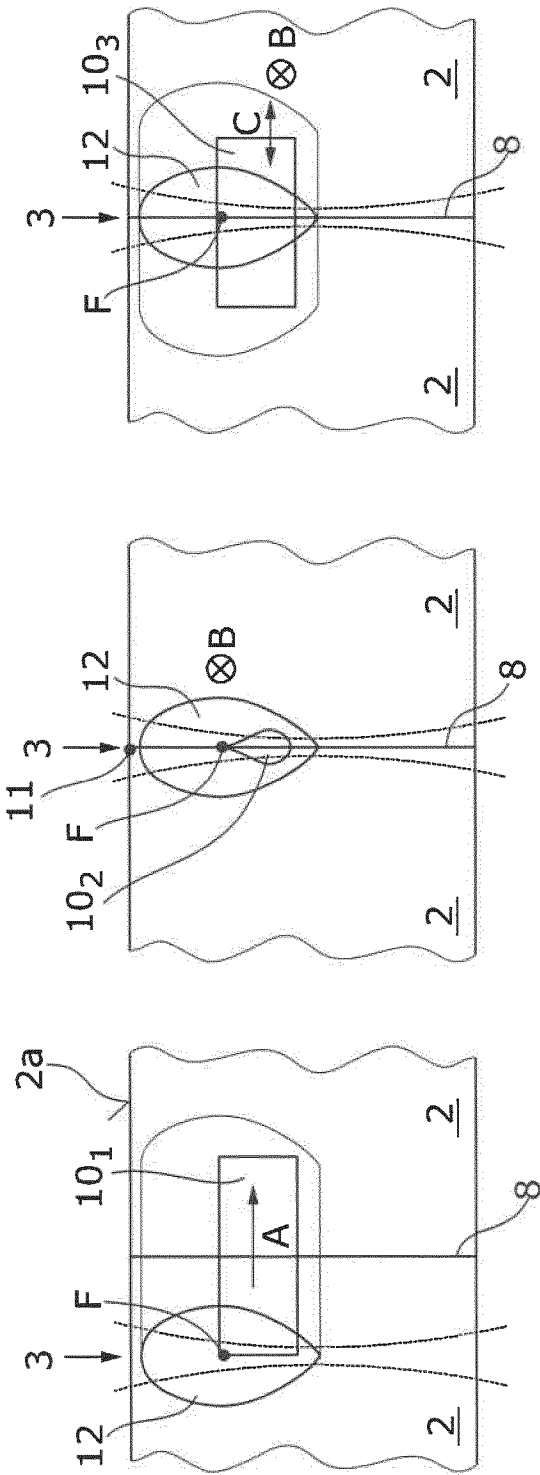


Fig. 2c

Fig. 2b

Fig. 2a

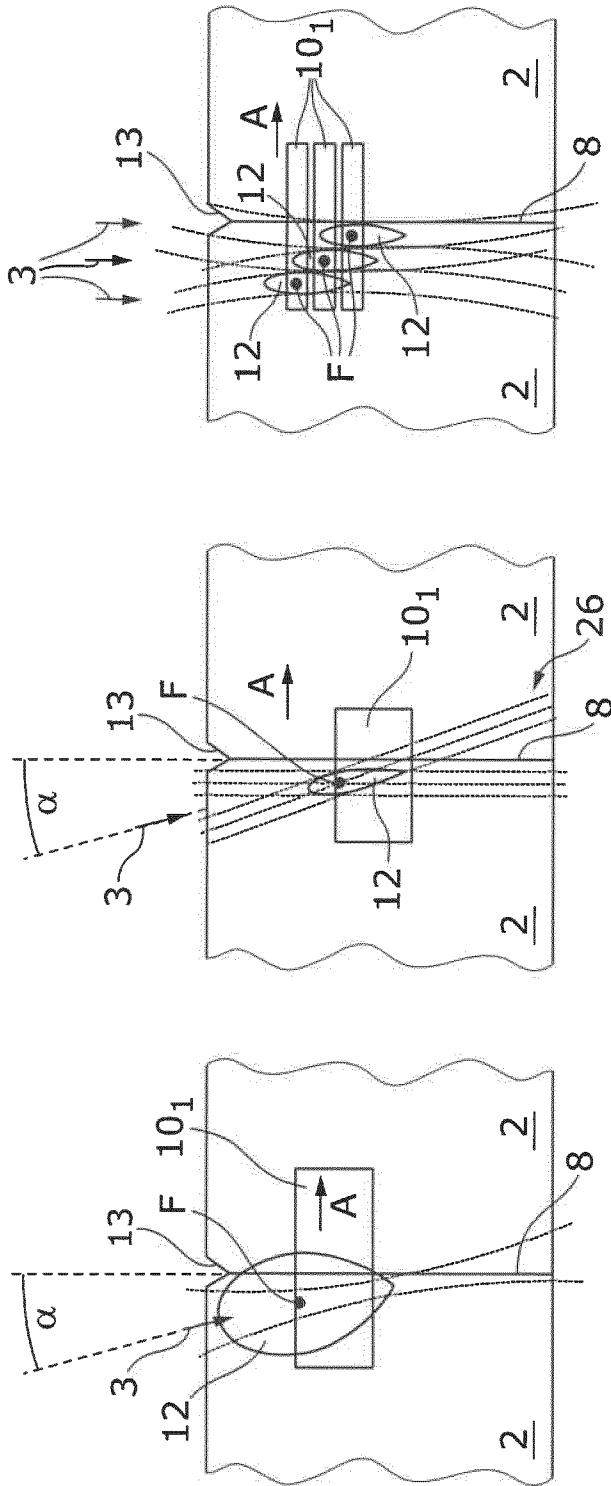


Fig. 3a

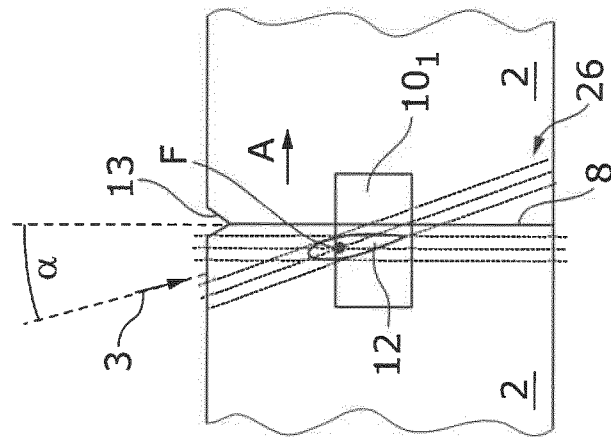


Fig. 3b

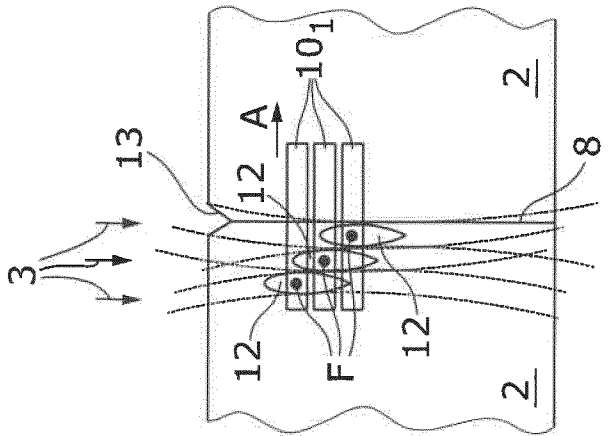


Fig. 3c

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2019/081787**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER****C03B 23/203**(2006.01)i; **B23K 26/0622**(2014.01)i; **B23K 26/082**(2014.01)i; **B23K 26/24**(2014.01)i; **B23K 26/26**(2014.01)i; **B23K 26/324**(2014.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

C03B; B23K

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2014291304 A1 (MUDD II RICHARD E [US]) 02 October 2014 (2014-10-02) figures 3,5,6	1-13
X	EP 0531139 A1 (TOYOTA MOTOR CO LTD [JP]) 10 March 1993 (1993-03-10) column 5, line 44 - column 6, line 33; figures 7,8	1-13
X	US 2016368089 A1 (GRAPOV YURI [US] ET AL) 22 December 2016 (2016-12-22) paragraph [0038]; figure 1	1-13
X	US 2016016261 A1 (MUDD II RICHARD E [US]) 21 January 2016 (2016-01-21) figures 3,5,6	1-13

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

06 February 2020

Date of mailing of the international search report

18 February 2020

Name and mailing address of the ISA/EP

European Patent Office
p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk
Netherlands

Telephone No. (+31-70)340-2040

Facsimile No. (+31-70)340-3016

Authorized officer

Marrec, Patrick

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/EP2019/081787

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
US	2014291304	A1	02 October 2014	CA	2908124	A1	02 October 2014
				CN	105246637	A	13 January 2016
				EP	2978559	A2	03 February 2016
				JP	6564360	B2	21 August 2019
				JP	2016521208	A	21 July 2016
				US	2014291304	A1	02 October 2014
				WO	2014160927	A2	02 October 2014
EP	0531139	A1	10 March 1993	DE	69203810	D1	07 September 1995
				DE	69203810	T2	07 December 1995
				EP	0531139	A1	10 March 1993
				JP	H0557467	A	09 March 1993
				US	5250783	A	05 October 1993
US	2016368089	A1	22 December 2016	CA	2989860	A1	22 December 2016
				CN	107708914	A	16 February 2018
				EP	3310518	A1	25 April 2018
				JP	2018520007	A	26 July 2018
				KR	20180018769	A	21 February 2018
				RU	2017144104	A	19 July 2019
				US	2016368089	A1	22 December 2016
US	2016016261	A1	21 January 2016	WO	2016205805	A1	22 December 2016
				NONE			

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES		
INV.	C03B23/203	B23K26/0622 B23K26/082 B23K26/24 B23K26/26
ADD.	B23K26/324	
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
B. RECHERCHIERTE GEBIETE		
Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)		
C03B B23K		
Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen		
Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)		
EPO-Internal, WPI Data		
C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 2014/291304 A1 (MUDD II RICHARD E [US]) 2. Oktober 2014 (2014-10-02) Abbildungen 3,5,6	1-13
X	EP 0 531 139 A1 (TOYOTA MOTOR CO LTD [JP]) 10. März 1993 (1993-03-10) Spalte 5, Zeile 44 - Spalte 6, Zeile 33; Abbildungen 7,8	1-13
X	US 2016/368089 A1 (GRAPOV YURI [US] ET AL) 22. Dezember 2016 (2016-12-22) Absatz [0038]; Abbildung 1	1-13
X	US 2016/016261 A1 (MUDD II RICHARD E [US]) 21. Januar 2016 (2016-01-21) Abbildungen 3,5,6	1-13
☐ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen ☒ Siehe Anhang Patentfamilie		
* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen : "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist "E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist "L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt) "O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht "P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist "T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist "X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden "Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist "&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist		
Datum des Abschlusses der internationalen Recherche		Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
6. Februar 2020		18/02/2020
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Bevollmächtigter Bediensteter Marrec, Patrick

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2019/081787

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
US 2014291304	A1	02-10-2014	CA	2908124 A1	02-10-2014
			CN	105246637 A	13-01-2016
			EP	2978559 A2	03-02-2016
			JP	6564360 B2	21-08-2019
			JP	2016521208 A	21-07-2016
			US	2014291304 A1	02-10-2014
			WO	2014160927 A2	02-10-2014

EP 0531139	A1	10-03-1993	DE	69203810 D1	07-09-1995
			DE	69203810 T2	07-12-1995
			EP	0531139 A1	10-03-1993
			JP	H0557467 A	09-03-1993
			US	5250783 A	05-10-1993

US 2016368089	A1	22-12-2016	CA	2989860 A1	22-12-2016
			CN	107708914 A	16-02-2018
			EP	3310518 A1	25-04-2018
			JP	2018520007 A	26-07-2018
			KR	20180018769 A	21-02-2018
			RU	2017144104 A	19-07-2019
			US	2016368089 A1	22-12-2016
			WO	2016205805 A1	22-12-2016

US 2016016261	A1	21-01-2016	KEINE		
