

(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  
23. Mai 2019 (23.05.2019)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2019/096345 A1**

(51) Internationale Patentklassifikation:

B23K 26/00 (2014.01) B23K 26/354 (2014.01)  
B23K 26/352 (2014.01) B23K 26/70 (2014.01)  
B23K 26/03 (2006.01) C21D 1/09 (2006.01)  
B23K 37/00 (2006.01) C21D 1/34 (2006.01)  
B23K 26/06 (2014.01)

11. Januar 2018 (11.01.2018) DE

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE2018/100891

(22) Internationales Anmeldedatum:  
02. November 2018 (02.11.2018)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:  
10 2017 126 740.9  
14. November 2017 (14.11.2017) DE  
10 2018 100 549.0

(71) Anmelder: SCANSONIC MI GMBH [DE/DE]; Schwarze-Pumpe-Weg 16, 12681 Berlin (DE).

(72) Erfinder: WALTER, Steffen; Lindenberger Weg 46, 13129 Berlin (DE).

(74) Anwalt: KAUFMANN, Sigfrid; Loschwitzer Str. 42, 01309 Dresden (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, 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, 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,

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR LASER HARDENING OF WORKPIECES BY MEANS OF A PLURALITY OF SPACED-APART INDIVIDUAL LASER BEAMS

(54) Bezeichnung: VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUM LASERHÄRTEN VON WERKSTÜCKEN MITTELS EINER MEHRZAHL VON RÄUMLICH GETRENNTEN EINZELLASERSTRAHLEN

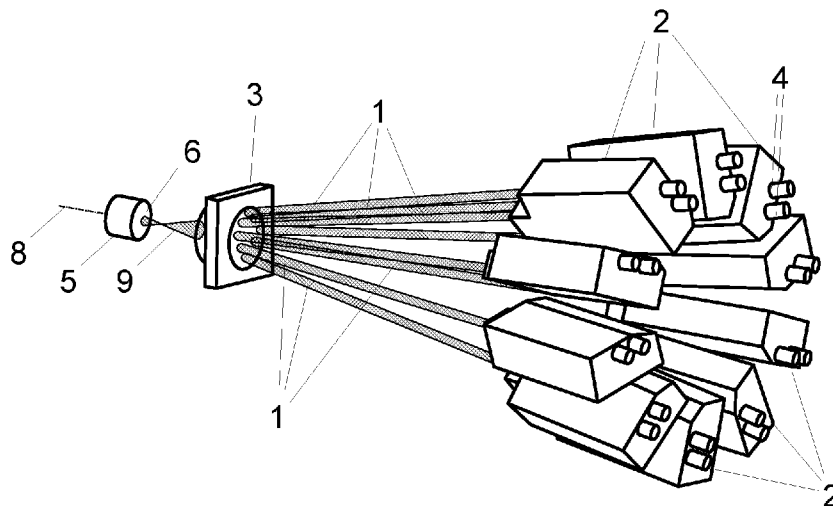


Fig. 1

(57) Abstract: The invention relates to a method and a device for laser hardening of at least part of a recess wall (6) in a workpiece (5). According to the method a plurality of collimated, p-polarised individual laser beams (1), the individual focal points of which are superposed on the recess wall (6) to form an overall focal point, are used for direct irradiation and thus heating of the wall (6). In order to increase the efficiency, each individual laser beam (1) impinges at its Brewster angle on the workpiece (5). The collimated, p-polarised individual laser beams (1) are generated by structurally identical laser beam individual modules (2), which each have a contactlessly operating temperature sensor for detecting the temperature of the surface (6) of the workpiece (5) at the point of impingement of their respective individual laser beams (1).

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Laserhärten zumindest eines Teilbereichs einer Ausnehmungswandung (6) in einem Werkstück (5). Gemäß des Verfahrens wird eine Mehrzahl kollimierter, p-polarisierter



WO 2019/096345 A1

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)
- mit geänderten Ansprüchen und Erklärung gemäss Artikel 19 Absatz 1

---

Einzellaserstrahlen (1), deren Einzelbrennflecke zu einem Gesamtbrennfleck auf der Ausnehmungswandung (6) überlagert werden, zur direkten Bestrahlung und somit Erhitzung der Wandung (6) verwendet. Zur Erhöhung der Effizienz trifft jeder Einzellaserstrahl (1) jeweils unter seinem Brewster-Winkel auf das Werkstück (5). Die kollimierten, p-polarisierten Einzellaserstrahlen (1) werden von baugleichen Laserstrahl-Einzelmodulen (2) erzeugt, die jeweils einen berührungslos arbeitenden Temperatursensor zur Erfassung einer Temperatur der Oberfläche (6) des Werkstückes (5) am Auftreffpunkt ihres jeweiligen Einzellaserstrahls (1) aufweisen.

## VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUM LASERHÄRTEN VON WERKSTÜCKEN MITTELS EINER MEHRZAHL VON RÄUMLICH GETRENNTEN EINZELLASERSTRAHLEN

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und ein Gerät zur effizienten und prozesssicheren partiellen Härtung einer z. B. Innenwandung eines Bohrloches oder einer Nut in einem  
5 Werkstück, dessen Material durch Wärmebehandlung härtbar ist, mittels Laserstrahlung.

Es ist bekannt, dass zum Härten die Werkstücke entweder ganz oder teilweise, z. B. die Wandungen von Bohrungen, einer Wärmebehandlung unterzogen werden. Dazu kann  
10 neben z. B. dem Ofenhärten und induktivem Härten das Laserhärten angewendet werden. Das Laserhärten besitzt dabei den Vorteil höherer Ortsauflösung bzgl. der Wärme- einbringung. Soll der Verzug oder die Prozesszeit verringert werden, werden Werkstücke funktionsangepasst nur lokal gehärtet. Dazu werden die zu härtenden Oberflächen der Laserstrahlung ausgesetzt, sodass diese über eine Umwandlungstemperatur erhitzt  
15 werden. Da der Laserstrahl das Werkstück nur lokal erhitzt, wirkt der Rest des Werkstücks als Kühlkörper, sodass eine schnelle Kühlung durch Wärmeabfluss in das Werkstück - auch als Selbstabschreckung bekannt - erfolgt.

Innerhalb von Bohrungen ist es möglich, mittels Umlenkspiegeln die Wandung zu be-  
20 strahlen. Die DE 295 06 005 U1 zeigt das Bearbeiten von Bohrungen mittels eines in der Bohrung angeordneten, rotierenden Spiegels.

Auch die DE 10 2010 048 645 A1 beschreibt das Härten von Bohrungen mittels über einen rotierenden Spiegel auf die Innenwandung eines Bohrloches gelenkter Laser-  
25 strahlung, wobei der Spiegel direkt wassergekühlt ist.

Nachteilig an diesen Lösungen zur Bearbeitung bzw. Härtung von Bohrlöchern mittels Spiegeln ist, dass es zu einer hohen Belastung des Spiegels, insbesondere dessen Oberfläche, auf welche der Laserstrahl auftrifft, kommt, sodass die auf die Spiegel ein-  
30 gestrahlte Laserleistung, z. B. durch zum Teil aufwendige Kühlung, abgeführt werden muss.

Ein in dieser Hinsicht verbessertes Verfahren zum Härten zumindest eines Teilbereichs einer Wandung einer Bohrung ist bereits der DE 10 2014 017 632 A1 zu entnehmen.

Bei diesem Verfahren wird polarisierte Laserstrahlung verwendet, um die Belastung des Umlenkspiegels in der Bohrung gering zu halten, wobei auch die hierdurch verbesserten Reflexionseigenschaften der Spiegeloberfläche ausgenutzt werden.

Ein prinzipieller Nachteil an diesen Lösungen zur Bearbeitung bzw. Härtung von Bohrlöchern mittels Spiegeln ist jedoch, dass die Spiegel zumeist innerhalb des Bohrloches bzw. in unmittelbarer Nähe zu dem Prozessort zu platzieren sind, sodass sie schnell verschmutzen.

Weiter hat sich gezeigt, dass sich insbesondere kleine Bohrungen oder Sacklochbohrungen kaum durch in die Bohrung eingebrachte umlenkende Elemente härten lassen, da diese geometrisch nicht mehr in die Bohrung hineinpassen oder nicht ausreichend robust gegenüber der Einflüsse aus Laserstrahlung und Prozessbedingungen sind.

DE 11 2013 004 368 B4 zeigt ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Laserhärten einer Kurbelwelle, wobei ein Laserstrahl in zwei Teilstrahlen aufgespalten wird, die jeweils unterschiedliche Oberflächenbereiche der Kurbelwelle erhitzen. Durch Verwendung unterschiedlicher Polarisation in beiden Teilstrahlen ist hierbei eine optimale Absorption erzielbar. Zum Härten einer Bohrungswandung ist dieses Verfahren jedoch weniger geeignet, da verfahrensimmanent nur plane Oberflächen bearbeitbar sind. Bei komplexer Topologie der Bauteiloberfläche ist eine prozesssichere Erwärmung der Bauteiloberfläche auf Grund der variierenden Einstrahlwinkel mit der resultierenden unterschiedlichen Leistungseinkopplung und damit ein Härten kaum möglich. Außerdem bringt das Aufteilen des Laserstrahls und Polarisieren der beiden Teilstrahlen Leistungsverluste. Zusätzlich ist die Variation der Leistungsanteile in den Teilstrahlen für die nötige Prozessadaptation aufwendig.

Aus EP 2 925 481 B1 sind ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Lasermaterialbearbeitung bekannt, bei denen mehrere Laserstrahlen mit jeweils unterschiedlichen Wel-

lenlängen auf eine Werkstückoberfläche gerichtet werden, wobei mittels Strahlabbildungsmitteln die Laserstrahlen in einer vorbestimmten Anordnung abgebildet werden.

Durch die DE 10 2012 014 920 A1 ist außerdem ein Verfahren zum Laserhärten bekannt, bei dem die Wärmeemission auf der Oberfläche des Werkstücks erfasst wird, um die Intensität des Laserstrahls einzustellen.

DE 41 39 841 A1 zeigt ein Verfahren zum Laserhärten, bei dem der Einfallswinkel des Laserstrahls auf das Werkstück dem Brewster-Winkel entspricht, wodurch der Wirkungsgrad des Erwärmens mittels des polarisierten Laserstrahls verbessert ist.

Ein großer Nachteil der o.g. Verfahren speziell für eine Anwendung zum Härten von Bohrungen ist die Notwendigkeit von Rotationsachsen, d. h., das Werkstück oder die Bearbeitungsvorrichtung muss um die Bohrungsachse rotiert werden, um den Laserstrahl entlang des Umfangs der Wandung zu führen. Hierbei ist es unrealistisch, z. B. große Bauteile rotieren zu lassen. Bei einer rotierenden Bearbeitungsvorrichtung hingegen muss sichergestellt sein, dass die Zufuhr der Kühlmedien stets zuverlässig möglich ist.

Bei bahnenweise Erwärmung von Oberflächen kommt es zudem im Stoßbereich der Einzelbahnen zum Anlassen der vorher gehärteten Bahn. Homogene Härteverläufe von größeren Flächen, insbesondere bei komplexer Topologie sind schwer zu erreichen.

Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren und eine Vorrichtung bereitzustellen, mittels derer eine gleichmäßige Laserleistungseinkopplung auf einem zu härtenden Bauteiloberflächenbereich, z. B. der Innenwandung einer Ausnehmung oder einer Bohrung, unter Verzicht auf rotierende Bewegungen und innerhalb der Ausnehmung angeordnete optische Elemente sowie eine Vermeidung von Anlassspuren im Stoßbereich von Einzelbahnen ermöglicht ist, wobei eine für das Laserhärten ausreichende und insbesondere gleichmäßige Erwärmung durch Absorption am gesamten Bauteiloberflächenbereich erzielbar sein soll.

Die Aufgabe wird durch das Verfahren zum Laserhärten mit den kennzeichnenden Merkmalen nach Patentanspruch 1 sowie die Vorrichtung zum Laserhärten mit den kennzeichnenden Merkmalen nach Patentanspruch 6 gelöst; zweckmäßige Ausgestaltungen der Erfindung finden sich jeweils in den Unteransprüchen.

5

Erfindungsgemäß wird hierzu eine Mehrzahl von – vorzugsweise kollimierten - räumlich getrennten Einzellaserstrahlen auf eine Bearbeitungsposition auf der Oberfläche des Werkstücks gerichtet, die direkt, d. h. unter Verzicht auf zusätzliche Elemente in der vorhandenen Ausnehmung, auf die Oberfläche auftreffen, sodass durch Absorption der Laserstrahlung eine wirksame Erwärmung erzielt wird. Zur Erhöhung des Wirkungsgrades werden p-polarisierte Einzellaserstrahlen verwendet, wobei die Polarisation der Einzellaserstrahlen im Wesentlichen parallel in Bezug zu ihrer jeweiligen Einfallsebene auf die Oberfläche des Werkstücks ausgerichtet ist.

10

Um Leistungsverluste durch das Polarisieren und Ausrichten der Polarisationssebene zu vermeiden, werden Laserstrahl-Einzelmodule eingesetzt, die bereits einen im Wesentlichen linear polarisierten Laserstrahl generieren. Zusätzlich wird durch die Anordnung und Ausrichtung der Lasermodule sichergestellt, dass die jeweilige Polarisationssebene der emittierten Einzellaserstrahlen im Wesentlichen parallel in Bezug zu ihrer jeweiligen Einfallsebene auf die Oberfläche des Werkstücks ausgerichtet ist.

15  
20

Es hat sich gezeigt, dass die Absorption des Laserlichtes eine starke Abhängigkeit vom Einfallswinkel auf die Innenwandung, d. h. dem Winkel des auf die Oberfläche einfallenden Lichtstrahles gemessen zur Flächennormale, zeigt. Beispielsweise steigt für Eisen bei einer Lichtwellenlänge von 1030 nm die Absorption für unpolarisierte Laserstrahlung mit zunehmendem Einfallswinkel von anfänglich 38% auf einen Maximalwert von ca. 42% bei einem Einfallswinkel von etwa 75°. Für größer werdende Einfallswinkel oberhalb 85° nimmt die Absorption rapide ab. Hingegen zeigt p-polarisierte Laserstrahlung eine Absorption von etwa 75% bei einem Einfallswinkel von etwa 78°.

25  
30

Allgemein ist in der Optik der Brewster-Winkel (auch Polarisationswinkel genannt) bekannt. Er gibt den Winkel an, bei dem von auf die Grenzfläche zweier dielektrischer

Medien einfallendem, unpolarisiertem Licht nur die senkrecht zur Einfallsebene polarisierten Anteile reflektiert werden. Die parallel zur Einfallsebene polarisierten Anteile treten in des Medium ein. Für Metalle werden die senkrecht zur Einfallsebene polarisierten Anteile nur teilweise reflektiert. Die parallel zur Einfallsebene polarisierten Anteile haben  
5 somit beim Einstrahlen unter dem Brewsterwinkel ein Absorptionsmaximum.

Erfindungsgemäß wird unter Ausnutzung des Brewster-Winkels die Absorption der Einzellaserstrahlen, die jeweils eine im Wesentlichen parallel in Bezug zu ihrer jeweiligen Einfallsebene ausgerichteten Polarisation aufweisen, maximiert. D. h., die Einzellaserstrahlen werden derart auf die Oberfläche des zu härtenden Werkstückes ausgerichtet,  
10 dass der Einfallswinkel jedes auf die Oberfläche auftreffenden Einzellaserstrahls im Wesentlichen dem Brewster-Winkel entspricht.

Zur Bearbeitung, d. h. Härtung, eines ausgedehnten Bereichs auf der Oberfläche werden die Einzellaserstrahlen derart auf die Oberfläche gerichtet, dass sich auf derselben  
15 ein ausgedehnter, zusammenhängender Gesamtbrennfleck ausbildet. D. h., die Einzelbrennflecken werden zu einem Gesamtbrennfleck überlagert. Hierbei ist vorgesehen, dass mittels separater Regelung der Leistung jedes Einzellaserstrahls eine vorgegebene räumliche Temperaturverteilung im Gesamtbrennfleck eingestellt wird. Dies erlaubt,  
20 auf der Oberfläche des Werkstückes eine beliebige Verteilung des Energieeintrags vorzugeben, sodass eine homogene Härtung durchgeführt werden kann. Beispielsweise kann die Verteilung des Energieeintrags annähernd gleichmäßig über die gesamte Ausdehnung des Gesamtbrennflecks sein, eine Überhöhung am Rand des Gesamtbrennflecks oder eine Reduzierung an wärmestaugefährdeten Bereichen aufweisen.

25 Zur exakten Regelung der Temperaturverteilung im Gesamtbrennfleck während des Laserhärtens wird die auf der Oberfläche des Werkstückes im Bereich des Gesamtbrennflecks herrschende Temperatur (kontinuierlich oder zu periodisch wiederkehrenden Zeitpunkten) orts aufgelöst gemessen. Vorzugsweise ist hierzu jedem Laserstrahl-  
30 Einzelmodul ein berührungslos arbeitender Temperatursensor, z. B. ein Wärmestrahlungsdetektor, zugeordnet, der die Temperatur auf der Oberfläche am Ort des Auftreffpunktes des Einzellaserstrahls erfasst.

Ein Vorteil des Verfahrens ist der hohe Gesamtwirkungsgrad der Energieeinkopplung aufgrund der Verwendung von auf der Werkstückoberfläche überlappenden, p-polarisierten Einzellaserstrahlen unter Nutzung des Brewsterwinkels, da die an der Bauteiloberfläche höherer Reflektivität unterliegenden s-Anteile nicht erzeugt werden und demzufolge auch keine „Fehlreflexion“ erfolgen kann, die z.B. am Sacklochgrund zu einer stärkeren Einkopplung führt.

Indem die Laserstrahlung direkt auf das Werkstück, dessen Oberfläche zu härten ist, eingestrahlt wird, kann auf optische Elemente, z. B. innerhalb einer Ausnehmung, verzichtet werden. Somit werden die aus dem Stand der Technik bekannten Probleme von z. B. verschmutzten, zerstörten oder aufwendig zu schützenden bzw. zu kühlenden Spiegeln bei dem erfindungsgemäßen Verfahren grundsätzlich vermieden. Dennoch sind durch die Überlagerung der Einzellaserstrahlen beliebige geometrische Formen für den Gesamtbrennfleck realisierbar.

Auch das Härten von schwer zugänglichen Oberflächenbereichen, z. B. kleineren Sacklöchern, ist möglich, da keine Vorrichtungsteile durch die Ausnehmungsöffnung eingeführt werden müssen.

Durch die Verwendung der p-polarisierten Einzellaserstrahlen ist eine simultane Bearbeitung des gesamten zu härtenden Teilbereichs der Werkstückoberfläche, insbesondere der Innenwandung einer Ausnehmung, möglich, sodass keine durch Rotation zu erzeugende Relativbewegung des Laserflecks entlang der Ausnehmungswandung und damit keine Rotationsachse bzw. Rotationseinrichtung erforderlich ist. In Verbindung mit verfügbaren Lasern hoher Leistung mit p-Polarisation wird dadurch auch der Durchsatz der Bearbeitungseinrichtung erhöht. Ebenso entfällt die Gefahr des Anlassens der bereits gehärteten Spur am Rand einer Spiralbahn bei für ein quasisimultanes Erwärmen nicht ausreichender Vorschubgeschwindigkeit des Laserbrennflecks.

Ein weiterer Vorteil ist die sehr gute Skalierbarkeit durch geometrisches Stapeln und geringfügig variierenden Winkeln. Die Skalierbarkeit durch Erhöhung der Anzahl ver-

wendeter Einzelmodule von ca. 250 bis 1000W und die Überlagerung durch geringfügige Veränderung der Einzeleinstrahlwinkel (Winkelstapelung) oder Hintereinanderanordnung in Prozessrichtung (Positionsstapelung) kann zur Erhöhung der Prozessgeschwindigkeit genutzt werden. Die Vermeidung von Anlassspuren im Stoßbereich von Einzelbahnen kann durch geometrische Parallelanordnung von Einzellaserstrahlen senkrecht zur Bearbeitungsrichtung, wodurch ein entsprechend großer Gesamtbrennfleck gebildet wird, erfolgen.

Die Erfindung kann weiter derart ausgebildet sein, dass eine oder mehrere Optikeinheiten, z. B. Zylinderlinsen, im Strahlengang der Einzellaserstrahlen oder gemeinsame Linsen für alle Einzelstrahlen vorgesehen werden, um die auf der Oberfläche des Werkstücks ausgebildete geometrische Form des Gesamtbrennflecks vorzugeben bzw. durch entsprechende Einstellung der Optikeinheiten zu variieren.

Die Erfindung kann weiter vorteilhaft wie folgt ausgebildet sein, dass ein optisches Umlenkelement, z. B. ein Spiegel, vorgesehen wird, um an der Oberfläche reflektierte Laserstrahlung auf dieselbe zurückzuwerfen. Dadurch wird vorteilhaft die Prozesseffizienz erhöht. Das Umlenkelement kann ein Planspiegel, ein sphärischer oder asphärischer Spiegel, z. B. rotationssymmetrische Trichter- oder Kegelspiegel, sein. Das Umlenkelement kann, z. B. durch die Spiegelkontur, derart gestaltet und eingerichtet sein, um eine Verbesserung der Intensitätsverteilung auf der Oberfläche des Werkstücks zu erreichen.

Alternativ kann vorgesehen sein, die an der Oberfläche reflektierte Laserstrahlung mittels eines geeigneten Absorbers zu absorbieren, sodass eine Gefährdung von z. B. Bedienern und eine Beschädigung der Vorrichtung ausgeschlossen ist.

Weiterhin kann vorgesehen sein, das Werkstück, z. B. in Richtung zu oder in Richtung weg von den Laserstrahl-Einzelmodulen, translatorisch zu bewegen, wodurch die Erwärmungszone über einen gegenüber der Fläche des Gesamtbrennflecks ausgedehnten Bereich auf der Oberfläche „verfahrbar“ ist.

Alternativ oder zusätzlich kann das Werkstück rotatorisch um eine Achse bewegt werden, d. h., das Bauteil rotiert um z. B. die Längsachse der zu härtenden, zylinderförmigen Ausnehmung. Hierdurch kann eine weitere Homogenisierung und Erhöhung der Prozessstabilität erreicht werden.

5

Gemäß einer Ausführungsform wird das Werkstück intermittierend während des Laserhärtens und/oder nach dem Laserhärtens mittels eines Kältemittels abgeschreckt.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens umfasst einen Laserbearbeitungskopf mit einer Mehrzahl von jeweils einen im Wesentlichen linear polarisierten Laserstrahl generierenden, einzeln regelbaren Laserstrahl-Einzelmodulen, eine Optikeinheit, eine Positioniereinrichtung, wenigstens einen berührungslos arbeitenden Temperatursensor, z. B. ein Wärmestrahlungsmessgerät, zur orts aufgelösten Erfassung einer Temperatur der Oberfläche des Werkstückes, eine Werkstückaufnahme mit einer Spanneinheit zur Aufnahme und Fixierung des Werkstückes sowie eine mit den Laserstrahl-Einzelmodulen, dem wenigstens einen berührungslos arbeitenden Temperatursensor und der Positioniereinrichtung verbundene Steuereinheit zur Prozesssteuerung.

Die Optikeinheit umfasst zumindest ein Schutzglas zum Schutz der Laserstrahl-Einzelmodule vor Verschmutzungen, die durch die Einwirkung der Einzellaserstrahlen auf die Oberfläche in Richtung der Laserstrahl-Einzelmodule gelangen können. Weiterhin kann die Optikeinheit ein Fokussierelement, z. B. eine Fokuslinse, ein Strahlformungs- und Ablenkungselement, z. B. Zylinderlinsen, zur Formgebung des aus den Einzellaserstrahlen auf der Oberfläche gebildeten Gesamtbrennflecks und/oder einen Kollimator, z. B. eine Linse, zum Kollimieren der aus den Laserstrahl-Einzelmodulen austretenden Einzellaserstrahlen aufweisen.

Die Laserstrahl-Einzelmodule können entlang eines Kreises im Laserbearbeitungskopf angeordnet sein, wobei jedes Einzelmodul um einen Winkel zu seinen benachbart angeordneten Einzelmodulen gedreht ist. Die Laserstrahl-Einzelmodule können auch in einzelnen Gruppen über- bzw. nebeneinander gestapelt sein, wobei die Gruppen jeweils um einen Winkel, z. B. 90°, zueinander gedreht sind.

Vorzugweise sind die Laserstrahl-Einzelmodule linear polarisiertes Laserlicht emittierende, flüssigkeitskühlbare Direktiodenlasereinzulmodule.

- 5 Die Positioniereinrichtung ist mit der Werkstückaufnahme (und somit indirekt mit der Spanneinheit) verbunden, sodass z. B. ein Abstand zwischen dem Laserbearbeitungskopf und dem zu bearbeitenden Werkstück durch eine translatorische Bewegung der Werkstückaufnahme vorgebar ist.
- 10 Mittels der Steuereinheit sind Vorgaben für die Prozessregelung, z. B. Sollwerte einer von der Laserstrahl-Einzelmodulen auszugebenden Laserleistung basierend auf der im Auftreffpunkt der von den jeweiligen Laserstrahl-Einzelmodulen emittierten Einzellaserstrahlen erfassten Oberflächentemperatur und/oder eine von der Positioniereinrichtung anzufahrende Position, einstellbar. Hierdurch kann die einzustrahlende Laserleistung
- 15 und gegebenenfalls die mittels der Positioniereinrichtung ermöglichte Bewegung der Wärmeeinflusszone über die Oberfläche, d. h. die von der Positioniereinrichtung vorgebbare Position und/oder translatorische Bewegungsgeschwindigkeit der Wärmeeinflusszone, bei Bedarf zur Optimierung der Prozessführung verändert werden.
- 20 Der Vorteil der erfindungsgemäßen Vorrichtung zum Laserhärten ist der Verzicht auf optische Elemente für eine Polarisation und für eine Strahl-Umlenkung nahe der Bauteiloberfläche, die verschmutzen, zerstört oder beim Bauteilwechsel beschädigt werden können. Hierdurch werden Verluste vermieden und Kosten eingespart.
- 25 Zusätzlich ergibt sich eine Redundanz. Auch die Wartung ist vereinfacht, indem nur Einzelmodule statt einer gesamten Quelle getauscht werden müssen.

- Gemäß einer Ausgestaltung beinhaltet jedes der Laserstrahl-Einzelmodule einen berührungslos arbeitenden Temperatursensor in Form eines Pyrometers, um die Temperatur
- 30 an der Position des Einzelbrennflecks, der auf der Oberfläche des Werkstücks von dem Einzellaserstrahl des Laserstrahl-Einzelmoduls gebildet ist, zu erfassen und die Tempe-

raturwerte an die Steuereinheit zu übermitteln sowie die Einzellaserleistungen und/oder die Vorschubgeschwindigkeit zu regeln.

Weiter kann die Vorrichtung derart ausgestaltet sein, dass sie eine Abschreckeinrichtung für das Werkstück umfasst. Die Abschreckeinrichtung kann eine Wanne aufweisen, in welcher das Werkstück angeordnet ist oder in welche das Werkstück einbringbar ist. Zusätzlich oder alternativ kann die Abschreckeinrichtung Zuführleitungen für ein Kältefluid aufweisen.

10 Gemäß einer Ausführungsform beinhaltet der Laserbearbeitungskopf Aktoren, mittels derer die Laserstrahl-Einzelmodule relativ zueinander bewegbar sind. Beispielsweise ist jedes der Laserstrahl-Einzelmodule mit einem ihm zugeordneten Aktor verbunden. Die Aktoren sind mit der Steuereinheit verbunden, sodass von der Steuereinheit eine relative Anordnung der Laserstrahl-Einzelmodule zueinander innerhalb des Laserbearbeitungskopfs einstellbar ist.

Weiter kann die Vorrichtung eine Schutzeinrichtung zum Schutz vor Laserstrahlung aufweisen. Die Schutzeinrichtung kann einen oder mehrere Absorber, laserstrahlungsundurchlässige Vorhänge oder Wände und/oder reflektierende Elemente zur Lenkung von nicht-absorbierter Laserstrahlung zurück auf die Werkstückoberfläche umfassen.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand von Ausführungsbeispielen näher erläutert, wobei gleiche oder ähnliche Merkmale mit gleichen Bezugszeichen versehen sind. Dazu zeigen in schematischer Darstellung die

25 Fig. 1: eine Vorrichtung zum Laserhärten gemäß einer ersten Ausführungsform, Fig. 2: eine Vorrichtung zum Laserhärten gemäß einer weiteren Ausführungsform und Fig. 3: eine Vorrichtung zum Laserhärten gemäß einer dritten Ausführungsform.

Eine Vorrichtung zum Laserhärten einer Wandung 6 einer Ausnehmung in dem Werkstück 5 zeigt Fig. 1 schematisch. Die entlang eines Kreises angeordneten, baugleichen Laserstrahl-Einzelmodule 2, in diesem Beispiel P2-Direktdiodenlasereinzelmodule, emittieren jeweils den kollimierten Einzellaserstrahl 1. Das Optikelement 3 umfasst Zy-

linderlinsen zur Strahlformung. Der durch eine Überlagerung der Einzellaserstrahlen 1 gebildete Laserstrahl 9 wird in die Ausnehmung des Werkstücks 5 geleitet, wobei die Strahlachse 8 koaxial zur Längsachse der Ausnehmung ist. Die divergente Laserstrahlung 9 trifft auf die Wandung 6 und wird dort absorbiert.

5

Die Laserstrahl-Einzelmodule 2 umfassen die Anschlüsse 4 für eine direkte Wasserkühlung. Sie emittieren jeweils einen p-polarisierten, kollimierten Einzellaserstrahl 1.

10

In Fig. 2 sind die Laserstrahl-Einzelmodule 2 zu Gruppen gestapelt, die jeweils um  $90^\circ$  um die Strahlachse 8 zueinander gedreht sind, sodass immer p-polarisierte Strahlung auf die jeweiligen Bereiche der Wandung der Nut auftrifft. Im Beispiel besitzt jedes der Laserstrahl-Einzelmodule 2 ein Pyrometer, sodass eine Temperaturerfassung in dem jeweiligen Einkopplungsbereich des Einzelmoduls 2 und eine Temperaturregelung mittels Leistungsanpassung der jeweiligen Laserstrahl-Einzelmodule 2 erfolgen kann.

15

Zur Randüberhöhung des Energieeintrags für eine Homogenisierung der Temperatur an der Erwärmungszone, d. h., um bei gleicher Laserleistung der zehn baugleichen Laserstrahl-Einzelmodule 2 am Rand der Einwirkzone eine gegenüber dem Zentrum der Erwärmungszone höheren Energieeintrag zu erhalten - und damit der Verbesserung der Wechselwirkung - wird die Anordnung der Laserstrahl-Einzelmodule 2 gemäß Fig. 3 verwendet. Die Laserstrahl-Einzelmodule 2 sind hierbei derart angeordnet, dass im Zentrum der Erwärmungszone die Einzelbrennflecken nur weniger Einzellaserstrahlen 1 auftreten, während im Randbereich der Erwärmungszone quer zur Vorschubrichtung die Einzelbrennflecken der Einzellaserstrahlen 1 stärker überlappen. Die Leistungs-

20  
25

dichtevertelung der Erwärmungszone ist somit gegenüber den in Fig. 1 oder 2 gezeigten Beispielen inhomogen ausgeprägt.

30

Durch Verschieben des Werkstückes 5 entlang der Vorschubrichtung kann die Erwärmungszone über die Bauteiloberfläche 6 geführt werden. Indem in diesem Beispiel die äußeren Paare der Laserstrahl-Einzelmodule 2 leicht gegenüber den anderen Laserstrahl-Einzelmodulen 2 verkippt sind, treffen deren Einzellaserstrahlen 1 in Bewegungsrichtung des Gesamtbrennflecks hinter den zweiten Paaren von außen auf die Bauteil-

oberfläche 6. Durch diese im Nachlauf auftreffenden Laserspots wird die Einwirkzeit verdoppelt, die erhöhte Wärmeabfuhr am Rand kompensiert und die Einhärtetiefe homogenisiert.

**Liste der Bezugszeichen**

- |    |   |   |
|----|---|---|
|    | 1 | Einzellaserstrahl, kollimiert                       |
| 5  | 2 | Laserstrahl-Einzelmodul                             |
|    | 3 | Optikeinheit  |
|    | 4 | Kühlung   |
|    | 5 | Werkstück   |
|    | 6 | Teilbereich der Oberfläche / Wandung der Ausnehmung |
| 10 | 7 | Ausnehmung / Nut                                    |
|    | 8 | Strahlachse   |
|    | 9 | kumulativer Laserstrahl                             |

## Patentansprüche

1. Verfahren zum Laserhärten von Werkstücken, wobei zumindest ein Teilbereich der Oberfläche (6) des Werkstücks (5) mittels Laserstrahlung gehärtet wird, wobei eine  
5 Mehrzahl von räumlich getrennten Einzellaserstrahlen (1) auf eine Bearbeitungsposition auf der Oberfläche (6) des Werkstücks (5) gerichtet werden, wobei die von den Einzellaserstrahlen (1) auf der Oberfläche (6) gebildeten Einzelbrennflecke zu einem zusammenhängenden Gesamtbrennfleck zusammengeführt werden, dadurch gekennzeichnet, dass
- 10 – die Einzellaserstrahlen (1) jeweils mittels eines linear polarisiertes Laserlicht emittierenden, flüssigkeitskühlbaren Direktiodenlasereinzelsmoduls erzeugt werden;
- die Temperatur im Bereich des Gesamtbrennflecks auf der Oberfläche (6) des Werkstückes (5) orts aufgelöst erfasst wird, wobei mittels separater Regelung der  
15 Leistung jedes Einzellaserstrahls (1) eine vorgegebene räumliche Temperaturverteilung im Gesamtbrennfleck eingestellt wird; und
- die kollimierten Einzellaserstrahlen (1) eine im Wesentlichen parallel ausgerichtete Polarisation in Bezug zu ihrer jeweiligen Einfallsebene auf die Oberfläche (6) des Werkstücks (5) aufweisen, wobei der Einfallswinkel jedes auf die Oberfläche  
20 (6) auftreffenden Einzellaserstrahls (1) im Wesentlichen dem Brewster-Winkel entspricht.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die auf der Oberfläche (6) des Werkstücks (5) ausgebildete geometrische Form des Gesamtbrennflecks  
25 mittels einer von den Einzellaserstrahlen (1) durchlaufenen Optikeinheit (3) geformt wird.
3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 2, dadurch gekennzeichnet, dass von der Oberfläche (6) reflektierte Laserstrahlung mittels mindestens eines Umlenkelements  
30 auf das Werkstück (5) zurückgelenkt oder mittels eines Absorbers absorbiert wird.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass das Werkstück (5) während des Laserhärtens translatorisch entlang einer Richtungsachse und/oder rotatorisch um die Richtungsachse bewegt wird.
- 5 5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass das Werkstück (5) intermittierend während des Laserhärtens und/oder nach dem Laserhärten mittels eines Kältemittels abgeschreckt wird.
6. Vorrichtung zum Laserhärten von Werkstücken, dadurch gekennzeichnet, dass  
10 sie aufweist:  
- einen Laserbearbeitungskopf mit einer Mehrzahl von jeweils einen im Wesentlichen linear polarisierten Laserstrahl (1) generierenden, einzeln regelbaren Laserstrahl-Einzelmodulen (2),  
- wenigstens einen berührungslos arbeitenden Temperatursensor zur orts aufgelösten  
15 Erfassung einer Temperatur der Oberfläche (6) des Werkstückes (5),  
- eine Optikeinheit (3), die zumindest ein Schutzglas umfasst,  
- eine Verschiebe- und Positioniereinrichtung,  
- eine Werkstückaufnahme mit einer Spanneinheit für die Werkstücke (5), sowie  
- eine mit den Laserstrahl-Einzelmodulen (2) und der Verschiebe- und Positionierein-  
20 richtung verbundene Steuer- und Regeleinheit.
7. Vorrichtung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Laserstrahl-Einzelmodule (2) linear polarisiertes Laserlicht emittierende, flüssigkeitskühlbare Direkt-  
diodenlasereinzelmodule sind.  
25
8. Vorrichtung nach Anspruch 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, dass jedes der Laserstrahl-Einzelmodule (2) einen berührungslos arbeitenden Temperatursensor in Form eines Pyrometers zur Erfassung der Temperatur an der Position des Einzelbrennflecks, der auf der Oberfläche (6) des Werkstücks (5) von dem Einzellaserstrahl (1) des  
30 Laserstrahl-Einzelmoduls (2) gebildet ist, umfasst.

9. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 6 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Optikeinheit (3) eine optische Einrichtung zur Variation der geometrischen Form des von allen Einzellaserstrahlen (1) auf der Oberfläche (6) des Werkstücks (5) gebildeten Gesamtbrennflecks aufweist.

5

10. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 6 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass sie eine Abschreckeinrichtung für das Werkstück (5) umfasst.

10 11. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 6 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Laserstrahl-Einzelmodule (2) innerhalb des Laserbearbeitungskopfs mittels einzelner Aktoren, die mit der Steuereinheit verbunden sind, relativ zueinander bewegbar angeordnet sind.

## GEÄNDERTE ANSPRÜCHE

beim Internationalen Büro eingegangen am 06. Mai 2019 (06.05.2019)

1. Verfahren zum Laserhärten von Werkstücken, wobei zumindest ein Teilbereich der Oberfläche (6) des Werkstücks (5) mittels Laserstrahlung gehärtet wird, wobei eine
- 5 Mehrzahl von räumlich getrennten Einzellaserstrahlen (1) auf eine Bearbeitungsposition auf der Oberfläche (6) des Werkstücks (5) gerichtet werden, wobei die von den Einzellaserstrahlen (1) auf der Oberfläche (6) gebildeten Einzelbrennflecke zu einem zusammenhängenden Gesamtbrennfleck zusammengeführt werden,
- wobei
- 10 – die Einzellaserstrahlen (1) jeweils mittels eines linear polarisiertes Laserlicht emittierenden, flüssigkeitskühlbaren Direktiodenlasereinzelsmoduls erzeugt werden; und
- die Temperatur im Bereich des Gesamtbrennflecks auf der Oberfläche (6) des Werkstückes (5) orts aufgelöst erfasst wird, wobei mittels separater Regelung der
- 15 Leistung jedes Einzellaserstrahls (1) eine vorgegebene räumliche Temperaturverteilung im Gesamtbrennfleck eingestellt wird;
- dadurch gekennzeichnet, dass
- die kollimierten Einzellaserstrahlen (1) eine im Wesentlichen parallel ausgerichtete Polarisation in Bezug zu ihrer jeweiligen Einfallsebene auf die Oberfläche (6)
- 20 des Werkstücks (5) aufweisen, wobei der Einfallswinkel jedes auf die Oberfläche (6) auftreffenden Einzellaserstrahls (1) im Wesentlichen dem Brewster-Winkel entspricht; und
- die Temperatur im Bereich des Gesamtbrennflecks auf der Oberfläche (6) des Werkstückes (5) berührungslos mittels Pyrometern orts aufgelöst erfasst wird,
- 25 wobei jedes der Laserstrahl-Einzelmodule (2) ein Pyrometer zur berührungslosen Erfassung der Temperatur an der Position des Einzelbrennflecks, der auf der Oberfläche (6) des Werkstücks (5) von dem Einzellaserstrahl (1) des jeweiligen Laserstrahl-Einzelmoduls (2) gebildet wird, aufweist.
- 30 2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die auf der Oberfläche (6) des Werkstücks (5) ausgebildete geometrische Form des Gesamtbrennflecks

mittels einer von den Einzellaserstrahlen (1) durchlaufenen Optikeinheit (3) geformt wird.

3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 2, dadurch gekennzeichnet, dass von  
5 der Oberfläche (6) reflektierte Laserstrahlung mittels mindestens eines Umlenkelements auf das Werkstück (5) zurückgelenkt oder mittels eines Absorbers absorbiert wird.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass das  
10 Werkstück (5) während des Laserhärtens translatorisch entlang einer Richtungsachse und/oder rotatorisch um die Richtungsachse bewegt wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass das  
Werkstück (5) intermittierend während des Laserhärtens und/oder nach dem Laserhär-  
ten mittels eines Kältemittels abgeschreckt wird.

15  
6. Vorrichtung zum Laserhärten von Werkstücken, umfassend:  
- einen Laserbearbeitungskopf mit einer Mehrzahl von jeweils einen im Wesentlichen  
linear polarisierten Laserstrahl (1) generierenden, einzeln regelbaren Laserstrahl-  
Einzelmodulen (2),  
20 - wenigstens einen berührungslos arbeitenden Temperatursensor zur orts aufgelösten  
Erfassung einer Temperatur der Oberfläche (6) des Werkstückes (5), und  
- eine Verschiebe- und Positioniereinrichtung,  
dadurch gekennzeichnet, dass sie ferner aufweist:  
- eine Optikeinheit (3), die zumindest ein Schutzglas umfasst,  
25 - eine Werkstückaufnahme mit einer Spanneinheit für die Werkstücke (5), sowie  
- eine mit den Laserstrahl-Einzelmodulen (2) und der Verschiebe- und Positionierein-  
richtung verbundene Steuer- und Regeleinheit,  
- wobei jedes der Laserstrahl-Einzelmodule (2) einen berührungslos arbeitenden Tem-  
peratursensor in Form eines Pyrometers zur Erfassung der Temperatur an der Position  
30 des Einzelbrennflecks, der auf der Oberfläche (6) des Werkstücks (5) von dem Einzel-  
laserstrahl (1) des Laserstrahl-Einzelmoduls (2) gebildet ist, umfasst.

7. Vorrichtung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Laserstrahl-Einzelmodule (2) linear polarisiertes Laserlicht emittierende, flüssigkeitskühlbare Direkt-diodenlasereinzelmodule sind.
- 5 8. Vorrichtung nach Anspruch 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Optikeinheit (3) eine optische Einrichtung zur Variation der geometrischen Form des von allen Einzellaserstrahlen (1) auf der Oberfläche (6) des Werkstücks (5) gebildeten Gesamtbrennflecks aufweist.
- 10 9. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 6 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass sie eine Abschreckeinrichtung für das Werkstück (5) umfasst.
10. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 6 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Laserstrahl-Einzelmodule (2) innerhalb des Laserbearbeitungskopfs mittels einzelner Aktoren, die mit der Steuereinheit verbunden sind, relativ zueinander bewegbar angeordnet sind.
- 15

**Erklärung nach Artikel 19(1) PCT die Änderungen der Ansprüche betreffend**

Anspruch 1 wurde dahingehend konkretisiert, dass für eine orts aufgelöste Messung der Temperatur eine Mehrzahl von Pyrometern verwendet wird, von denen jedes in einem Direktiodenlasereinzelformat integriert ist. Entsprechend umfasst die Vorrichtung zum Laserhärten von Werkstücken eine Mehrzahl von jeweils einen im Wesentlichen linear polarisierten Laserstrahl generierenden, einzeln regelbaren Laserstrahl-Einzelformaten, die jeweils ein Pyrometer aufweisen.

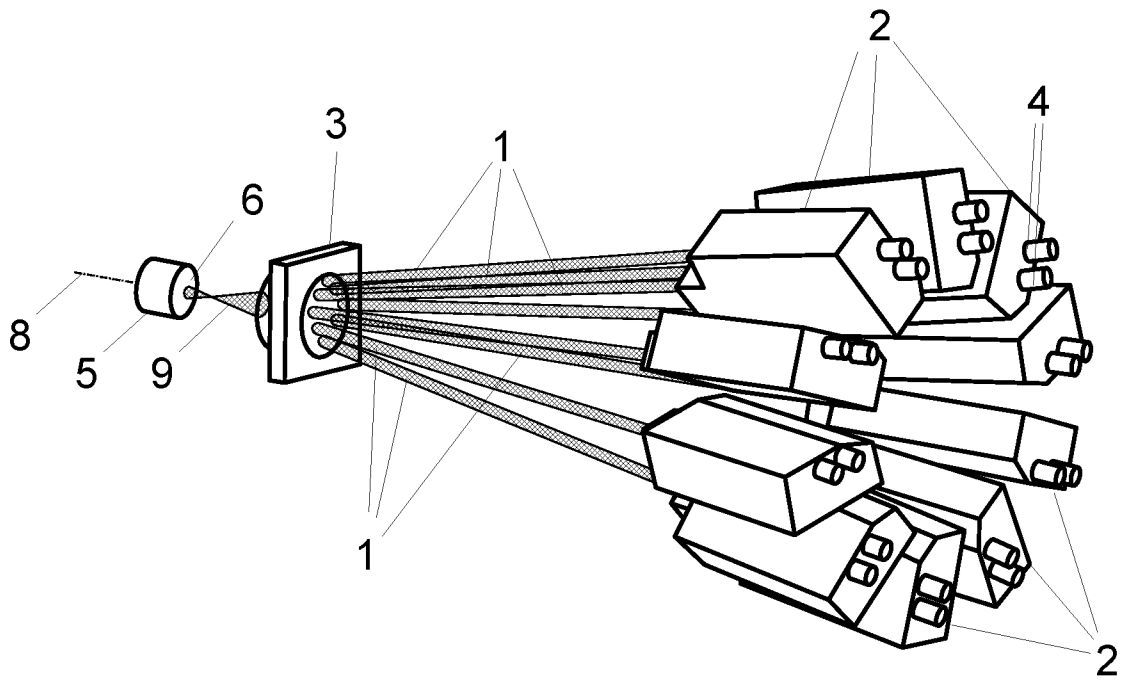


Fig. 1

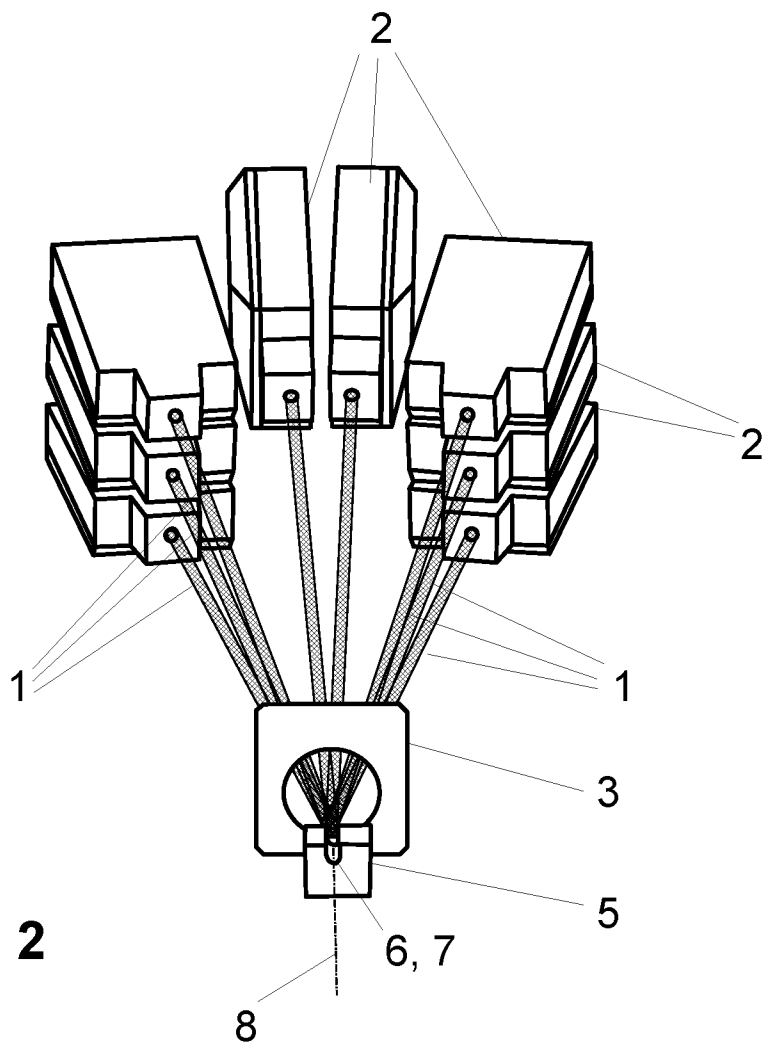
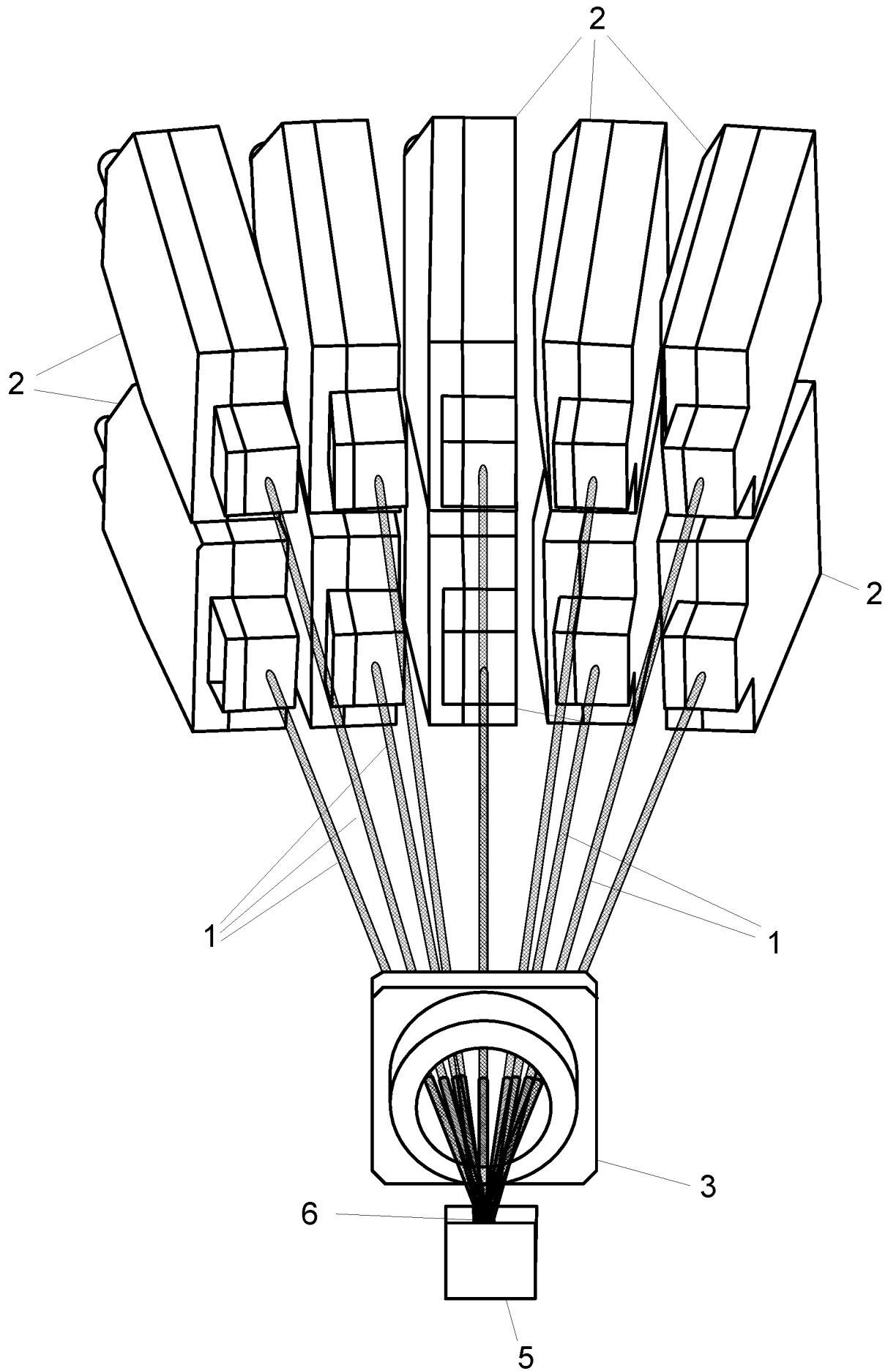


Fig. 2



**Fig. 3**

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/DE2018/100891

<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b>		
<i>B23K 26/00</i> (2014.01)i; <i>B23K 26/352</i> (2014.01)i; <i>B23K 26/03</i> (2006.01)i; <i>B23K 37/00</i> (2006.01)i; <i>B23K 26/06</i> (2014.01)i; <i>B23K 26/354</i> (2014.01)i; <i>B23K 26/70</i> (2014.01)i; <i>C21D 1/09</i> (2006.01)i; <i>C21D 1/34</i> (2006.01)i		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
<b>B. FIELDS SEARCHED</b>		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) B23K; C21D		
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		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	WO 2017129795 A1 (KJELLBERG-STIFTUNG) 03 August 2017 (2017-08-03) page 12, line 35 - page 13, line 1 page 15, line 21 - page 16, line 24 page 21, line 16 - page 22, line 27 page 23, line 30 - page 24, line 8; figures	6,8-11 1-5,7
A	JP 2000317667 A (AMADA CO LTD) 21 November 2000 (2000-11-21) abstract; figure 1	6-11
Y	EP 1640105 A1 (TRUMPF WERKZEUGMASCHINEN GMBH) 29 March 2006 (2006-03-29) paragraphs [0005], [0010], [0014], [0016]; figures	1-5
Y A	US 2008053384 A1 (J. M. HAAKE ET AL) 06 March 2008 (2008-03-06) paragraphs [0050], [0070] - [0071]	4 5
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier 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 <b>21 March 2019</b>		Date of mailing of the international search report <b>01 April 2019</b>
Name and mailing address of the ISA/EP <b>European Patent Office p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk Netherlands</b> Telephone No. (+31-70)340-2040 Facsimile No. (+31-70)340-3016		Authorized officer <b>Jeggy, Thierry</b>  Telephone No.

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	M. BAUMANN ET AL. "Local heat treatment of high strength steels with zoom-optics and 10kW-diode laser" <i>HIGH POWER LASER MATERIALS PROCESSING: LASERS, BEAM DELIVERY, DIAGNOSTICS, AND APPLICATIONS, SPIE, 1000 20TH ST. BELLINGHAM WA 98225-6705 USA</i> , Vol. 8239, No. 1, 09 February 2012 (2012-02-09), pages 1-9 DOI: 10.1117/12.908384 XP060001584 page 2, last paragraph; figures 1-4	7
A	US 2017022584 A1 (J. DOMÍNGUEZ ET AL) 26 January 2017 (2017-01-26) abstract; claims; figures	1,6
A	DE 102009037979 A1 (G. MEYNDT) 24 February 2011 (2011-02-24) paragraphs [0003], [0005]; figure 1	7

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**  
**Information on patent family members**

International application No.

**PCT/DE2018/100891**

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
WO	2017129795	A1	03 August 2017	CA 3012899 A1	03 August 2017
				CN 108883497 A	23 November 2018
				DE 102016201418 A1	03 August 2017
				EP 3408050 A1	05 December 2018
				JP 2019504770 A	21 February 2019
				KR 20180104726 A	21 September 2018
				US 2019039175 A1	07 February 2019
				WO 2017129795 A1	03 August 2017
JP	2000317667	A	21 November 2000	JP 4395217 B2	06 January 2010
				JP 2000317667 A	21 November 2000
EP	1640105	A1	29 March 2006	NONE	
US	2008053384	A1	06 March 2008	NONE	
US	2017022584	A1	26 January 2017	CA 2941898 A1	17 September 2015
				CN 106133152 A	16 November 2016
				EP 3117014 A1	18 January 2017
				JP 2017514990 A	08 June 2017
				KR 20160132938 A	21 November 2016
				RU 2016136401 A	15 March 2018
				US 2017022584 A1	26 January 2017
				WO 2015135715 A1	17 September 2015
DE	102009037979	A1	24 February 2011	NONE	

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE2018/100891

<b>A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES</b> INV. B23K26/00 B23K26/352 B23K26/03 B23K37/00 B23K26/06 B23K26/354 B23K26/70 C21D1/09 C21D1/34 ADD. Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
<b>B. RECHERCHIERTE GEBIETE</b> Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole ) B23K C21D 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		
<b>C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN</b>		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	WO 2017/129795 A1 (KJELLBERG-STIFTUNG) 3. August 2017 (2017-08-03)	6,8-11
Y	Seite 12, Zeile 35 - Seite 13, Zeile 1 Seite 15, Zeile 21 - Seite 16, Zeile 24 Seite 21, Zeile 16 - Seite 22, Zeile 27 Seite 23, Zeile 30 - Seite 24, Zeile 8; Abbildungen	1-5,7
A	JP 2000 317667 A (AMADA CO LTD) 21. November 2000 (2000-11-21) Zusammenfassung; Abbildung 1	6-11
Y	EP 1 640 105 A1 (TRUMPF WERKZEUGMASCHINEN GMBH) 29. März 2006 (2006-03-29) Absätze [0005], [0010], [0014], [0016]; Abbildungen	1-5
	----- -/--	
<input checked="" type="checkbox"/> Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen <input checked="" type="checkbox"/> 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		Absenddatum des internationalen Recherchenberichts
21. März 2019		01/04/2019
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  Jeggy, Thierry

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	US 2008/053384 A1 (J. M. HAAKE ET AL) 6. März 2008 (2008-03-06)	4
A	Absätze [0050], [0070] - [0071] -----	5
Y	M. BAUMANN ET AL: "Local heat treatment of high strength steels with zoom-optics and 10kW-diode laser", HIGH POWER LASER MATERIALS PROCESSING: LASERS, BEAM DELIVERY, DIAGNOSTICS, AND APPLICATIONS, SPIE, 1000 20TH ST. BELLINGHAM WA 98225-6705 USA, Bd. 8239, Nr. 1, 9. Februar 2012 (2012-02-09), Seiten 1-9, XP060001584, DOI: 10.1117/12.908384 [gefunden am 1901-01-01] Seite 2, letzter Absatz; Abbildungen 1-4 -----	7
A	US 2017/022584 A1 (J. DOMÍNGUEZ ET AL) 26. Januar 2017 (2017-01-26) Zusammenfassung; Ansprüche; Abbildungen -----	1,6
A	DE 10 2009 037979 A1 (G. MEYNDT) 24. Februar 2011 (2011-02-24) Absätze [0003], [0005]; Abbildung 1 -----	7

**INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT**

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE2018/100891

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
WO 2017129795 A1	03-08-2017	CA 3012899 A1	03-08-2017
		CN 108883497 A	23-11-2018
		DE 102016201418 A1	03-08-2017
		EP 3408050 A1	05-12-2018
		JP 2019504770 A	21-02-2019
		KR 20180104726 A	21-09-2018
		US 2019039175 A1	07-02-2019
		WO 2017129795 A1	03-08-2017
-----			
JP 2000317667 A	21-11-2000	JP 4395217 B2	06-01-2010
		JP 2000317667 A	21-11-2000
-----			
EP 1640105 A1	29-03-2006	KEINE	
-----			
US 2008053384 A1	06-03-2008	KEINE	
-----			
US 2017022584 A1	26-01-2017	CA 2941898 A1	17-09-2015
		CN 106133152 A	16-11-2016
		EP 3117014 A1	18-01-2017
		JP 2017514990 A	08-06-2017
		KR 20160132938 A	21-11-2016
		RU 2016136401 A	15-03-2018
		US 2017022584 A1	26-01-2017
		WO 2015135715 A1	17-09-2015
-----			
DE 102009037979 A1	24-02-2011	KEINE	
-----			