

(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
8. August 2013 (08.08.2013)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2013/113479 A1

- (51) Internationale Patentklassifikation:
B23K 26/04 (2006.01) **B23K 26/38** (2006.01)
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2013/000193
- (22) Internationales Anmeldedatum:
23. Januar 2013 (23.01.2013)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:
10 2012 100 721.7
30. Januar 2012 (30.01.2012) DE
- (71) Anmelder: **TRUMPF WERKZEUGMASCHINEN
GMBH + CO. KG** [DE/DE]; Johann-Maus-Str. 2, 71254
Ditzingen (DE).
- (72) Erfinder: **HESSE, Tim**; Haldenstraße 54, 71254
Ditzingen (DE). **SCHINDHELM, David**; Forststraße 59,
70176 Stuttgart (DE).
- (74) Anwalt: **TREINZEN, Ute**; Trumpf GmbH + Co. KG,
Johann-Maus-Str. 2, 71254 Ditzingen (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, DK, DM,
DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,
HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP,
KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, 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, 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, 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, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

- mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz
3)
- vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden
Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen
eingehen (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe h)

(54) Title: METHOD FOR REGULATING A LASER CUTTING PROCESS AND LASER CUTTING MACHINE

(54) Bezeichnung : VERFAHREN ZUM REGELN EINES LASERSCHNEIDPROZESSES UND LASERSCHNEIDMASCHINE

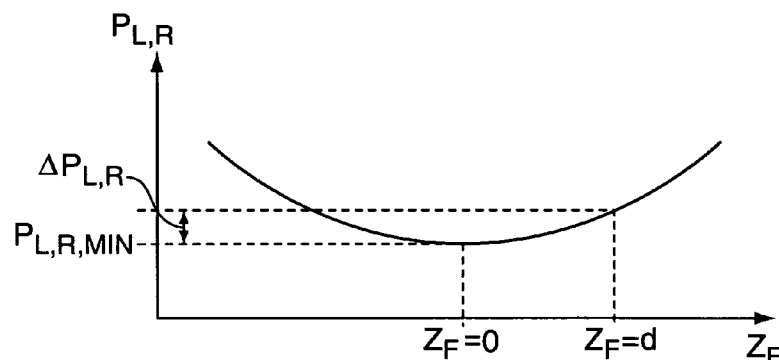


Fig. 4

(57) **Abstract:** The invention relates to a method for regulating a laser cutting process, comprising the steps: laser cutting a workpiece by means of a focused laser beam, forming a cutting gap on the workpiece; detecting the laser power of laser radiation reflected back during the laser cutting of the surface of the workpiece adjacent to the cutting gap; and regulating the detected laser power ($P_{L,R}$) to a target value ($P_{L,R,SOLL}$) at which the laser power ($P_{L,R}$) takes on a minimum value ($P_{L,R,MIN}$) or has a predetermined difference ($\Delta P_{L,R}$) from the minimum value ($P_{L,R,MIN}$). The invention also relates to a laser cutting machine that is designed to perform said method.

(57) **Zusammenfassung:** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Regeln eines Laserschneidprozesses, umfassend die Schritte: Laserschneiden eines Werkstücks mittels eines fokussierten Laserstrahls unter Ausbildung eines Schnittpalts an dem Werkstück, Detektieren der Laserleistung von beim Laserschneiden von der Oberfläche des Werkstücks benachbart zum Schnittpalt zurück reflektierter Laserstrahlung, sowie Regeln der detektierten

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



WO 2013/113479 A1



Laserleistung ($P_{L,R}$) auf einen Sollwert ($P_{L,R,SOLL}$), bei dem die Laserleistung ($P_{L,R}$) einen minimalen Wert ($P_{L,R,MIN}$) annimmt oder eine vorgegebene Differenz ($\Delta P_{L,R}$) ZU dem minimalen Wert ($P_{L,R,MIN}$) aufweist. Die Erfindung betrifft auch eine Laserschneidmaschine, die zur Durchführung des Verfahrens ausgebildet ist.

5

10

15

20

Verfahren zum Regeln eines Laserschneidprozesses und Laserschneidmaschine

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Regeln eines
25 Laserschneidprozesses sowie eine Laserschneidmaschine zum Laserschneiden von
Werkstücken, insbesondere von Blechen.

BESTÄTIGUNGSKOPIE

Bei einem Laserstrahlschneidprozess hat neben anderen Schneidparametern die Fokusslage des Laserstrahls großen Einfluss auf die Bearbeitungsqualität des Werkstücks. Bisher wird die Position der Fokusslage des Laserstrahls, insbesondere
5 die Position der Strahltaile auf dem zu bearbeitenden Werkstück, in der Regel offline ermittelt. Zu diesem Zweck können vor der eigentlichen Laserschneidaufgabe beispielsweise Linien in ein Testwerkstück geschnitten werden. Dabei wird die Fokusslage in diskreten Schritten variiert, so dass ein Kamm mit unterschiedlichen Schnittspaltbreiten entsteht. Anschließend wird die kleinste Schnittspaltbreite
10 entweder manuell durch den Maschinenbediener oder mit Hilfe eines optischen Sensors ermittelt. Die kleinste Schnittspaltbreite bildet sich dort aus, wo die Fokusslage auf der Werkstückoberseite oder ggf. in der Werkstückmitte liegt.

Aus der EP1750891B1 ist ein Verfahren zur Fokusslageregelung bekannt, bei dem
15 offline für unterschiedliche Fokusslagen des Laserstrahls bestimmt wird, ob der Randbereich des Laserstrahls in Kontakt mit dem Werkstück kommt. Dazu wird zunächst ein Schnittspalt in ein Werkstück geschnitten, wobei ggf. die Fokusslage durchgestimmt wird. Dann wird die Fokuseinstellung geändert und der Strahl erneut (an derselben Stelle) in den Schnittspalt gelenkt, wobei die Fokusslage ebenfalls
20 durchgestimmt werden kann. Zur Detektion, ob der Laserstrahl hierbei in Kontakt mit dem Werkstück kommt, kann von dem Werkstück oder einem Plasma abgestrahlte Strahlung oder Prozesslicht detektiert werden.

Aus der DE102009059245B4 ist es bekannt, beim Laserbearbeiten die Fokusslage
25 durch die Detektion von am Werkstück um einen Bearbeitungspunkt herum reflektierter und/oder gestreuter Laserstrahlung sowie anhand von Strahlung zu bestimmen, die von mindestens zwei Justierlichtquellen emittiert und an dem zu bearbeitenden Werkstück zurück reflektiert wird. In der DE102009059245B4 wird unter anderem auf die DE10248458B4 verwiesen, welche ein Verfahren offenbart,
30 bei dem eine in einem Bearbeitungskopf angeordnete Fokussieroptik so verschoben wird, dass ein Anteil von aus dem Bereich der Wechselwirkungszone zwischen Laserstrahl und Werkstück kommender Strahlung einen Maximalwert annimmt. Dieser Maximalwert wird erreicht, wenn die Fokusslage des Laserstrahls relativ zum Werkstück für die Bearbeitung optimal ist.

Aufgabe der Erfindung

- Der vorliegenden Erfindung stellt sich die Aufgabe, ein Verfahren zur Regelung eines Laserschneidprozesses und eine Laserschneidmaschine bereitzustellen, bei denen während eines Laserschneidprozesses die Schneidqualität optimiert werden kann.

Gegenstand der Erfindung

- 10 Diese Aufgabe wird gemäß einem ersten Aspekt durch ein Verfahren gelöst, welches die folgenden Schritte umfasst: Laserschneiden eines Werkstücks mittels eines fokussierten Laserstrahls unter Ausbildung eines Schnittpalts an dem Werkstück, Detektieren der Leistung von beim Laserschneiden von der Oberfläche des Werkstücks benachbart zum Schnittpalt zurück reflektierter Laserstrahlung, sowie
- 15 Regeln der detektierten Laserleistung auf einen Sollwert, bei dem die Laserleistung einen minimalen Wert annimmt oder eine vorgegebene Differenz zu dem minimalen Wert aufweist.

- Während eines Laserschneidprozesses wird immer ein gewisser Anteil an
- 20 Laserstrahlung von der Werkstückoberseite in den Strahlengang des Laserstrahls zurückreflektiert, da die geometrische Ausbreitung des Laserstrahls auf der Werkstückoberseite in der Regel größer ist als die entstehende Schnittpaltbreite. Die Erfinder haben erkannt, dass bei einer (insbesondere koaxialen) Detektion der von der Werkstückoberseite benachbart zum Schnittpalt, d.h. im Bereich der
- 25 Flanken des Laserstrahls, rückreflektierter Laserstrahlung genau dann ein Minimum an Laserleistung gemessen wird, wenn der Laserstrahl das Werkstück mit minimaler Schnittpaltbreite schneidet. Je defokussierter der Laserstrahl die Werkstückoberseite ausleuchtet, desto mehr Laserstrahlung wird im Randbereich des Laserstrahls von der Werkstückoberseite zurück zum Detektor reflektiert, desto
- 30 größer ist also die gemessene Strahlungsleistung.

Die Regelung der detektierten Laserleistung kann auf einen Sollwert erfolgen, bei dem die Schnittpaltbreite minimal ist. Dies ist typischer Weise gleichbedeutend damit, dass sich die Fokusslage (in Strahlausbreitungsrichtung) an der Oberseite des

Werkstücks befindet. Je nach Anwendung kann ggf. aber auch defokussiert geschnitten werden, um ein optimales Schneidergebnis zu erhalten, d.h. es kann günstig sein, wenn der Sollwert der Laserleistung nicht mit dem minimalen Wert übereinstimmt, so dass sich die Fokusslage des Laserstrahls nicht an der
5 Werkstückoberseite befindet. Dies ist beispielsweise beim Brenn- oder Schmelzschneiden dicker Werkstücke der Fall.

Bei einer Variante des Verfahrens wird in einem vorausgehenden Schritt eine Beziehung zwischen der detektierten Laserleistung und dem Abstand der Fokusslage
10 des Laserstrahls zur Oberseite des Werkstücks bestimmt und anhand der Beziehung wird der Sollwert so festgelegt, dass die Fokusslage des Laserstrahls einen gewünschten Abstand zur Oberseite des Werkstücks aufweist. Bei dieser Variante wird anhand von Testmessungen, die z.B. an einem Testwerkstück durchgeführt werden können, eine Beziehung (Kennlinie) zwischen der gemessenen Laserleistung
15 und der Fokusslage des Laserschneidstrahls ermittelt. Zu diesem Zweck können beispielsweise der Abstand zwischen einer Fokussieroptik zur Fokussierung des Laserstrahls und dem Werkstück und/oder der Krümmungsradius eines ggf. vorhandenen Fokussierspiegels verändert und die dieser Abstandsänderung zugeordnete Änderung der detektierten Strahlungsleistung erfasst werden, um die
20 gewünschte Kennlinie zu erhalten.

Bei einer Weiterbildung dieser Variante wird die Beziehung für unterschiedliche Vorschubgeschwindigkeiten einer Relativbewegung zwischen dem Laserstrahl und dem Werkstück bei der Ausbildung des Schnittspalts an dem Werkstück bestimmt. In
25 der Regel hängt die Intensität der am Werkstück zurück reflektierten Laserleistung von der Vorschubgeschwindigkeit beim Laserschneiden ab. Diese Vorschubabhängigkeit kann bei einer Kalibration der Laserschneidmaschine bestimmt und bei der Prozessregelung berücksichtigt werden. Zu diesem Zweck können beispielsweise an einem Testwerkstück mehrere Kennlinien gemessen
30 werden, die bei jeweils unterschiedlicher Vorschubgeschwindigkeit den Zusammenhang zwischen der zurück reflektierten Laserleistung und der Fokusslage des Laserstrahls abbilden.

In einer weiteren Variante erfolgt in einem vorausgehenden Schritt ein

Laserschneiden eines Werkstücks (Testschnitt) unter Ausbildung eines Schnittpalts, wobei der Abstand der Fokusslage des Laserstrahls zur Oberseite des Werkstücks variiert sowie die Intensität der reflektierten Laserleistung kontinuierlich gemessen bzw. detektiert wird. Anschließend wird die Gratbildung am Schnittpalt bzw. entlang
5 der geschnitten Kanten untersucht, um einen Wertebereich der detektierten Laserleistung zu ermitteln, an dem die geschnittene Kante bzw. der Schnittpalt gratfrei ist. Die Schnittqualität bzw. die Gratbildung kann automatisiert mittels einer geeigneten Optik und Auswertung oder ggf. manuell durch einen Maschinenbediener beurteilt werden. Als Sollwert für die reflektierte Laserleistung wird ein Wert
10 festgelegt, der innerhalb eines Wertebereichs liegt, bei dem der Schnittpalt bei dem Testschnitt eine gratfreie Schnittkante (genauer gesagt gratfreie Schnittkanten) aufweist. Der Testschnitt (z.B. in Form einer Linie als Schnittkontur) kann an demjenigen Werkstück vorgenommen werden, an dem auch der nachfolgende Laserschneidprozess erfolgt. Alternativ kann der Testschnitt an einem anderen
15 Werkstück (Testwerkstück) vorgenommen werden, welches die gleichen Materialeigenschaften (sowie typischer Weise dieselbe Dicke) wie das zu schneidende Werkstück aufweist.

Bevorzugt wird als Sollwert der Mittelwert des Wertebereichs der reflektierten
20 Laserleistung festgelegt, bei dem der Schnittpalt eine gratfreie Kante aufweist. Typischer Weise ist die Schnittqualität in einem bestimmten Wertebereich der Laserleistung (entsprechend einem Wertebereich des Abstands zwischen Fokusslage und Werkstückoberseite) gut, d.h. der Schnitt ist (im Wesentlichen) gratfrei. Ein Sollwert der Laserleistung, welcher den Mittelwert dieses Leistungsbereichs bildet,
25 ermöglicht eine prozesssichere Regelung des Laserschneidprozesses, bei der ein ggf. auftretendes Überspringen nicht zu negativen Schneidergebnissen führt.

In einer weiteren Variante wird zur Regelung der detektierten Laserleistung auf den Sollwert mindestens ein Parameter des Laserschneidprozesses verändert, welcher
30 die Fokusslage des Laserstrahls beeinflusst. Beispielsweise kann der Abstand zwischen einer Fokussieroptik und dem Werkstück oder es können die optischen Eigenschaften (z.B. die Brennweite) einer adaptiven Fokussieroptik geeignet angepasst werden. Zusätzlich oder alternativ können auch weitere Prozessparameter des Laserschneidprozesses, z.B. die Vorschubgeschwindigkeit

oder die Strahlquellen-Leistung der Laserquelle, als Stellgrößen verwendet und geeignet angepasst werden.

Bei einer weiteren Variante wird die vom Werkstück zurück reflektierte

- 5 Laserstrahlung zum Zweck der Detektion mittels eines Auskoppellements aus dem Strahlengang des Laserstrahls ausgekoppelt. Bei dieser auch als koaxial bezeichneten Art der Detektion wird der vom Werkstück in den Strahlengang des Laserstrahls zurück reflektierte Anteil der Laserstrahlungsleistung detektiert, indem dieser aus dem Strahlengang ausgekoppelt wird. Als Auskoppellement kann ggf.
- 10 ein teiltransmissiver Spiegel dienen, der nur in einem Bereich am Rand des Strahlengangs einen Anteil der auftreffenden Laserstrahlung transmittiert. Alternativ kann auch ein Umlenkspiegel so klein dimensioniert werden, dass die zurück reflektierte Laserstrahlung von diesem nicht umgelenkt wird und auf eine hinter dem Umlenkspiegel angeordnete Detektorfläche trifft.

15

- Bei einer besonders günstigen Ausführungsform dient als Auskoppellement ein unter einem Winkel zur Laserstrahlachse ausgerichteter Scraper-Spiegel. Bei dem Scraper-Spiegel handelt es sich um einen Lochspiegel, dessen zentrische Durchtritts-Öffnung typischer Weise mittig auf der optischen Achse des Laserstrahls
- 20 angeordnet wird. Sofern der Durchmesser der Durchtritts-Öffnung größer ist als der maximale Durchmesser des Bearbeitungsstrahls (bei einer Anordnung unter ca. 45° zur Strahlachse beträgt der Durchmesser typischer Weise mehr als das 1,5-fache des maximalen Durchmessers des Bearbeitungsstrahls) kann der Laserstrahl ungehindert durch das Loch im Scraper-Spiegel hindurch propagieren. Die zurück
- 25 reflektierte Laserstrahlung trifft auf die reflektierende Oberfläche des Scraper-Spiegels außerhalb der Durchtritts-Öffnung und wird von dieser zum Detektor reflektiert. Der Winkel, unter dem der Scraper-Spiegel zur Laserstrahlachse ausgerichtet ist, kann beispielsweise bei 45° liegen, so dass die zurück reflektierte Laserstrahlung unter einem Winkel von 90° aus dem Strahlengang ausgekoppelt
- 30 wird.

Die Regelung des Laserschneidprozesses kann mit einer hohen Zeitauflösung erfolgen kann, da es für die Leistungsmessung ausreichend ist, einen einzigen integralen Messwert für die auf die Detektorfläche auftreffende Laserleistung zu

erfassen, d.h. es ist in der Regel keine orts aufgelöste Erfassung der Laserleistung notwendig. Eine hohe Zeitauflösung kann in diesem Fall mit einem schnellen Leistungs-Detektor bzw. Leistungs-Messkopf erreicht werden, dessen Messprinzip auf dem thermoelektrischen Effekt (Seebeck-Effekt) beruht. Ein geeigneter

- 5 Leistungs-Messkopf, der als Atomlagendetektor ausgebildet ist, wird beispielsweise für die Laser-Wellenlänge eines CO₂-Lasers von der Fa. HTS ForTech GmbH angeboten (vgl. www.fortech-hts.com).

- Ein weiterer Aspekt der Erfindung ist realisiert in einer Laserschneidmaschine zum
- 10 Laserschneiden von Werkstücken, umfassend: einen Laserschneidkopf zum Ausrichten eines Laserstrahls auf das Werkstück, eine Fokussiereinrichtung zur Fokussierung des Laserstrahls an einer Fokusposition in einem Abstand zur Oberseite des Werkstücks, mindestens eine Antriebseinrichtung zur Erzeugung einer Relativbewegung zwischen dem Laserschneidkopf und dem Werkstück zur
- 15 Ausbildung eines Schnittspalts an dem Werkstück, einen Detektor zur Detektion der Leistung von beim Laserschneiden von der Oberfläche des Werkstücks benachbart zum Schnittspalt zurück reflektierter Laserstrahlung, sowie eine Regeleinrichtung, die zur Regelung der detektierten Laserleistung auf einen Sollwert ausgebildet bzw. programmiert ist, wobei bei dem Sollwert die Laserleistung einen minimalen Wert
- 20 annimmt oder eine vorgegebene Differenz zu dem minimalen Wert aufweist.

- Mit Hilfe der Regeleinrichtung kann die Schneidqualität des Laserschneidprozesses optimiert werden. So kann der Sollwert der detektierten Laserleistung (und damit die Fokuslage) so eingestellt bzw. geregelt werden, dass ein (im Wesentlichen) gratfreier
- 25 Schnitt erfolgt.

- Bei einer Ausführungsform ist die Regeleinrichtung ausgebildet bzw. programmiert, anhand einer vorgegebenen Beziehung zwischen der detektierten Laserleistung und dem Abstand der Fokuslage des Laserstrahls zur Oberseite des Werkstücks den
- 30 Sollwert so festzulegen, dass die Fokuslage des Laserstrahls einen gewünschten, vorgegebenen Abstand zur Oberseite des Werkstücks aufweist. Je nach Anwendung kann die optimale Fokuslage, d.h. der optimale Abstand der Fokusposition von der Werkstückoberseite variieren. Anhand der vorgegebenen Beziehung (Kennlinie), die z.B. in vorausgehenden Test-Schneidprozessen ermittelt werden kann, kann die

Regelung auf eine definierte, von der Oberseite des Werkstücks abweichende Fokusslage erfolgen. Die vorgegebene Beziehung (Kennlinie) ist hierbei typischer Weise in einer der Regeleinrichtung zugeordneten Speichereinrichtung (z.B. in Form einer Tabelle oder dergleichen) hinterlegt. Es versteht sich, dass ggf. mehrere

5 Kennlinien in der Speichereinrichtung hinterlegt werden können, die bei jeweils unterschiedlichen Schneidparametern aufgenommen wurden. Die Regeleinrichtung kann in diesem Fall anhand der einem jeweiligen Laserschneidprozess zugeordneten Schneidparameter eine geeignete Kennlinie für die Beziehung zwischen detektierter Laserleistung und Fokusslage auswählen.

10

Bei einer Weiterbildung ist die Regeleinrichtung ausgebildet bzw. programmiert, den Sollwert in Abhängigkeit von einer Geschwindigkeit der mittels der Antriebseinrichtung erzeugten Relativbewegung zwischen dem Laserschneidkopf und dem Werkstück festzulegen. Der Anteil der zurück reflektierten Laserleistung

15 hängt von der Vorschubgeschwindigkeit beim Laserschneiden ab, so dass es günstig ist, wenn für die Beziehung zwischen der detektierten Laserleistung und der Fokusslage mehrere Kennlinien bei jeweils unterschiedlichen Vorschubgeschwindigkeiten ermittelt und in der Regeleinrichtung oder an einer anderen Stelle hinterlegt werden, an der ein Zugriff durch die Regeleinrichtung

20 erfolgen kann.

Bei einer weiteren Ausführungsform ist die Regeleinrichtung ausgebildet bzw. programmiert, zur Regelung der detektierten Laserleistung auf den Sollwert mindestens einen Parameter des Laserschneidprozesses zu verändern, welcher die

25 Fokusslage des Laserstrahls relativ zum Werkstück beeinflusst. Da der Laserstrahl aus dem Laserschneidkopf fokussiert austritt, kann die Fokusslage beispielsweise dadurch verändert werden, dass der Abstand zwischen dem Laserschneidkopf oder der Fokussieroptik im Schneidkopf und dem Werkstück verändert wird. Aber auch andere Parameter des Laserschneidprozesses können als Stellgrößen verwendet

30 werden, beispielsweise die Vorschubgeschwindigkeit oder die Strahlquellen-Leistung.

Bei einer weiteren Ausführungsform umfasst die Laserschneidmaschine zusätzlich eine Auskoppeleinrichtung zur Auskopplung der zurück reflektierten Laserstrahlung

aus dem Strahlengang des Laserstrahls. Auf diese Weise kann eine so genannte koaxiale Detektion erfolgen, d.h. es kann die in den Strahlengang des Laserstrahls zurück reflektierte Laserstrahlung ausgekoppelt und detektiert werden. Es versteht sich aber, dass die zurück reflektierte Strahlungsleistung auch auf andere Weise
5 detektiert werden kann, beispielsweise indem die momentane Bearbeitungsstelle, an welcher der Laserstrahl auf das Werkstück trifft, mittels koaxial ringförmig um den Bearbeitungskopf angeordneten Detektors beobachtet wird.

Bei einer vorteilhaften Weiterbildung ist die Auskoppereinrichtung als ein unter einem
10 Winkel zur Laserstrahlachse ausgerichteter Scraper-Spiegel ausgebildet. Der Scraper-Spiegel ermöglicht auf besonders vorteilhafte Weise eine Auskopplung der vom Werkstück benachbart zum Schnittpalt zurück reflektierten Laserstrahlung, da die zurück reflektierte Laserstrahlung von den Flanken bzw. vom Rand der Intensitätsverteilung des Laserstrahls auf dem Werkstück stammt, von der
15 Strahlachse beabstandet ist und mittels eines geeignet positionierten Scraper-Spiegels auf einfache Weise aus dem Strahlengang ausgekoppelt werden kann.

Bei einer weiteren Ausführungsform ist der (Leistungs-)Detektor ein thermoelektrischer Detektor, d.h. ein Detektor, welcher zur Leistungsmessung den
20 thermoelektrischen Effekt (Seebeck-Effekt) nutzt. Schnelle Leistungsdetektoren können insbesondere durch die Verwendung dünner Schichten realisiert werden, z.B. in Form von Atomlagendetektoren. Derartige Detektoren ermöglichen eine Erfassung der detektierten Laserleistung mit einer hohen Zeitauflösung und somit eine besonders schnelle Regelung des Laserschneidprozesses.

25 Weitere Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der Beschreibung 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 gezeigten und beschriebenen Ausführungsformen sind nicht als abschließende Aufzählung zu verstehen, sondern haben vielmehr beispielhaften Charakter
30 für die Schilderung der Erfindung.

Es zeigen:

Fig. 1 eine schematische Darstellung einer Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Laserschneidmaschine beim schneidenden Bearbeiten eines Werkstücks,

5 Fig. 2a,b schematische Darstellungen eines Strahlprofils sowie einer Intensitätsverteilung des Laserstrahls an der Oberfläche des Werkstücks bei zwei unterschiedlichen Fokuslagen,

10 Fig. 3 eine schematische Darstellung eines Laserschneidkopfs, der einen Detektor für von dem Werkstück zurück reflektierte Laserstrahlung aufweist,

Fig. 4 ein Schaubild der mittels des Detektors gemessenen Laserleistung in Abhängigkeit von der Fokusposition des Laserstrahls, sowie

15

Fig. 5 eine schematische Darstellung eines Regelkreises zur Regelung der Fokuslage des Laserstrahls auf einen Sollwert.

Fig. 1 zeigt eine Werkzeugmaschine in Form einer Laserschneidmaschine 1 zum Laserschneiden mit einem CO₂-Laser oder einem Festkörperlaser als Strahlerzeuger 2, einem Laserbearbeitungskopf 4 und einer Werkstückauflage 5. Ein Strahlengang 3 des Laserschneidstrahls 6 wird über eine Strahlführung mit Hilfe von (nicht gezeigten) Umlenkspiegeln von dem CO₂-Laser oder mit Hilfe eines Lichtleitkabels von dem Festkörperlaser zu dem Laserbearbeitungskopf 4 geführt. Der Schneidstrahl 6 wird mittels einer im Bearbeitungskopf 4 angeordneten Fokussieroptik fokussiert und im vorliegenden Beispiel senkrecht zur Oberfläche 8a eines Werkstücks 8 in Form eines Blechs ausgerichtet, d.h. die Strahlachse (optische Achse) des aus dem Laserbearbeitungskopf 4 austretenden Laserstrahls 6 verläuft in Z-Richtung senkrecht zum Werkstück 8, das für die schneidende Bearbeitung an der Werkstückauflage 5 gelagert ist, welche eine Bearbeitungsebene (XY-Ebene) bildet.

30

Zum Laserschneiden des Werkstücks 8 wird mit dem Laserstrahl 6 zunächst eingestochen, d.h. das Werkstück 8 wird an einer Stelle punktförmig aufgeschmolzen oder oxidiert und die hierbei entstehende Schmelze wird ausgeblasen. Nachfolgend

werden der Laserstrahl 6 und das Werkstück 8 relativ zueinander bewegt, so dass eine zweidimensionale Bearbeitungsbahn in Form eines durchgängigen Schnittpalts 9 gebildet wird, entlang derer der Laserstrahl 6 das Werkstück 8 durchtrennt.

- 5 Sowohl das Einstechen als auch das Laserschneiden können durch Hinzufügen eines Gases unterstützt werden. Als Schneidgase 10 können Sauerstoff, Stickstoff, Druckluft und/oder anwendungsspezifische Gase eingesetzt werden. Welches Gas letztendlich verwendet wird, ist davon abhängig, welche Materialien geschnitten und welche Qualitätsansprüche an das Werkstück 8 gestellt werden. Entstehende
- 10 Partikel und Gase können mit Hilfe einer Absaugeinrichtung 11 abgesaugt werden, welche mit einer Absaugkammer verbunden ist, die sich unter der Werkstückauflage 5 befindet.

- Um eine Bearbeitung des Werkstücks 8 entlang einer zweidimensionalen
- 15 Bearbeitungsbahn (entsprechend einem Schnittpalt 9) in der XY-Ebene durchzuführen, ist der Bearbeitungskopf 4 an einem sich in Y-Richtung erstreckenden Portal 12 mittels einer herkömmlichen Antriebseinheit 7b linear verschiebbar geführt, wobei der Bearbeitungskopf 4 typischer Weise über die gesamte Breite der Werkstückauflage 5 bzw. des Werkstücks 8 bewegt werden
- 20 kann. Das Portal 12 ist mittels einer herkömmlichen Antriebseinheit 7a (z.B. einem Linearantrieb) in X-Richtung verschiebbar, so dass der Laserbearbeitungskopf 4 auch über die gesamte Länge der Werkstückauflage 5 bewegbar ist. Der Bearbeitungskopf 4 ist im vorliegenden Beispiel zusätzlich mittels einer weiteren Antriebseinheit 7c in Z-Richtung, d.h. senkrecht zum Werkstück 8 beweglich, um die
- 25 Fokusslage des fokussierten Laserstrahls 6 beim Laserschneiden verändern zu können.

- Fig. 2a,b zeigen ein Detail des Laserbearbeitungskopfs 4 und des Werkstücks 8 bei zwei unterschiedlichen Fokusslagen des Laserstrahls 6. Die Fokusslage ist hierbei
- 30 durch die minimale Ausdehnung (Strahltaile) des Laserstrahls in einer Ebene senkrecht zur Strahlausbreitungsrichtung definiert. In Fig. 2a befindet sich der Fokus des Laserstrahls 6 in Laserstrahlrichtung genau an der Oberseite 8a des Werkstücks 8, was nachfolgend (willkürlich) als Null-Lage definiert wird, d.h. bei der in Fig. 2a gezeigten Fokusslage gilt $Z_F = 0$.

In Fig. 2b befindet sich die Strahltaile und damit die Fokuslage in einem Abstand d vom Werkstück 8, d.h. es gilt $Z_F = d$. Stimmt die Fokuslage nicht mit der in Fig. 2a gezeigten Null-Lage überein, trifft der Laserstrahl 6 nicht im Bereich seiner
5 geringsten Ausdehnung auf das Werkstück 8, sondern mit einem entsprechend vergrößerten Durchmesser (vgl. Fig. 2b). Entsprechend ist die Breite des Schnittspalts a_1 in Fig. 2a minimal und somit geringer als die Schnittspaltbreite a_2 bei dem in Fig. 2b gezeigten Fall ($a_1 < a_2$).

10 Wie in Fig. 2a,b ebenfalls zu erkennen ist, weist der Laserstrahl 6 eine (zum Beispiel Gauss-förmige) Intensitätsverteilung I_1, I_2 an der Oberseite 8a des Werkstücks 8 auf, deren geometrische Ausdehnung größer ist als die jeweilige Schnittspaltbreite a_1, a_2 . Die Laserstrahlung bzw. Laserleistung am Rand der Intensitätsverteilung I_1, I_2 (aus den schraffiert dargestellten Bereichen) trägt somit nicht zur Ausbildung des
15 Schnittspalts 9 bei wird zumindest teilweise in den Strahlengang des Laserstrahls 6 zurück reflektiert und kann zur Bestimmung der Fokuslage des Laserstrahls 6 dienen.

Nachfolgend wird anhand von Fig. 3 eine Möglichkeit zur Detektion der von der
20 Oberseite 8a des Werkstücks 8 (aus den in Fig. 2a,b schraffierten Bereichen) zurück reflektierten Laserstrahlung 13a, 13b beschrieben, die innerhalb des Laserschneidkopfs 4 erfolgt. Der Laserschneidkopf 4 weist einen Umlenkspiegel 15 zur Umlenkung des von der Strahlquelle 2 entlang einer Strahlachse 20 zugeführten Laserstrahls 6 in Richtung auf das Werkstück 8 auf. Eine dem Umlenkspiegel 15
25 nachgeordnete Fokussierlinse 16 dient der Fokussierung des Laserstrahls 6 auf das Werkstück 8. Die Fokussierung ist in Fig. 3 nicht zu erkennen, da nur die Strahlachse 20 gezeigt ist. Eine herkömmliche Antriebseinrichtung 17 (z.B. ein Linearmotor oder dergleichen) ermöglicht eine Verschiebung der Fokussierlinse 16 und somit eine Veränderung der Fokuslage Z_F des Laserstrahls 6 in Z-Richtung.

30

Die von den beiden Rändern des Schnittspalts 9 zurück reflektierte Laserstrahlung 13a, 13b durchläuft die Fokussierlinse 16 sowie den Umlenkspiegel 15 und trifft auf einen im Strahlengang 3 angeordneten planen Scraper-Spiegel 19, der unter einem Winkel α von 45° zur Laserstrahlachse 20 ausgerichtet (verkippt) ist. Der Scraper-

Spiegel 19 weist eine zentrische Durchtritts-Öffnung auf, deren Durchmesser im vorliegenden Beispiel so bemessen ist, dass dieser mindestens das ca. 1,5-fache des maximalen Durchmessers des Laserstrahls 6 beträgt. Auf diese Weise ist sichergestellt, dass der Laserstrahl 6 ungehindert durch die Durchtritts-Öffnung des
5 Scraper-Spiegels 19 hindurch propagieren kann. Die vom Werkstück 8 zurück reflektierte Laserstrahlung 13a, 13b wird hingegen aus dem Strahlengang des Laserstrahls 6 unter einem Winkel von 90° ausgekoppelt und trifft auf einen Detektor 18. Bei dem Detektor 18 handelt es sich im vorliegenden Beispiel um einen schnellen Leistungs-Detektor (Leistungs-Messkopf, z.B. in Form eines Atomlagen-Detektors),
10 welcher die Laserleistung $P_{L,R}$ mit hoher zeitlicher Auflösung erfasst. Das Messprinzip des Leistungs-Detektors 18 beruht in diesem Beispiel auf dem thermoelektrischen Effekt.

Fig. 4 zeigt die Abhängigkeit der (integral) mittels des Detektors 18 gemessenen
15 Laserleistung $P_{L,R}$ in Abhängigkeit von der Fokusslage Z_F . Wie in Fig. 4 deutlich zu erkennen ist, weist die detektierte Laserleistung $P_{L,R}$ ein Minimum $P_{L,R,MIN}$ bei einer Fokusslage $Z_F = 0$ auf, bei welcher sich der Laserstrahlfokus an der Oberseite 8a des Werkstücks 8 befindet (vgl. Fig. 2a). In diesem Fall ist sowohl die Schnittspaltbreite a_1 als auch die von der Oberseite 8a des Werkstücks 8 zurück reflektierte
20 Laserstrahlung 13a, 13b minimal. Bei dem in Fig. 2b dargestellten Fall, bei dem die Fokusslage Z_F sich in einem von Null verschiedenen Abstand d von der Oberseite 8a des Werkstücks 8 befindet, ist die zurück reflektierte Laserleistung $P_{L,R}$ hingegen größer, und zwar um einen Betrag $\Delta P_{L,R}$. Ebenso ist die zurück reflektierte Laserleistung $P_{L,R}$ größer, wenn sich die Fokusslage Z_F unterhalb der Oberseite 8a
25 des Werkstücks 8 befindet.

Die in Fig. 4 gezeigte Beziehung zwischen der zurück reflektierten Laserleistung $P_{L,R}$ und der Fokusslage Z_F kann vor der Durchführung des Laserschneidprozesses anhand von Testmessungen ermittelt werden, bei denen die Fokusslage Z_F durch
30 Verschiebung der Fokussierlinse 16 in Z-Richtung mittels der dieser zugeordneten Antriebseinrichtung 17 und/oder durch Verschiebung des Laserschneidkopfs 4 in Z-Richtung mittels des diesem zugeordneten Antriebs 7c variiert wird. Das Minimum der detektierten Laserleistung wird hierbei derjenigen Fokusslage $Z_F = 0$ zugeordnet, bei welcher der Laserstrahl 6 auf die Oberseite 8a des Werkstücks 8 fokussiert ist.

Da die in Fig. 4 gezeigte Beziehung von der (instantanen) Vorschubgeschwindigkeit v (vgl. Fig. 1) abhängt, mit welcher der Laserstrahl 6 über das Werkstück 8 bewegt wird, können an einem Testwerkstück mehrere Kennlinien bei jeweils

- 5 unterschiedlichen Vorschubgeschwindigkeiten v gemessen werden, um den jeweiligen Zusammenhang zwischen der zurück reflektierten Laserleistung $P_{L,R}$ und der Fokusslage Z_F abzubilden. Es versteht sich, dass eine entsprechende Aufnahme von mehreren Kennlinien auch für weitere Schneidparameter erfolgen kann, welche einen (signifikanten) Einfluss auf die Beziehung zwischen reflektierter Laserleistung
- 10 $P_{L,R}$ und Fokusslage Z_F haben.

Die jeweiligen Kennlinien können in einer Speichereinrichtung hinterlegt werden, die Teil einer in Fig. 1 dargestellten Regeleinrichtung 14 ist, welche Regelungs- sowie Steuerungsaufgaben für die Laserschneidmaschine 1 übernimmt. Die

- 15 Regeleinrichtung 14 kann als Hardware-Komponente (Computer) mit geeignet angepasster Software oder auf andere Weise (z.B. als programmierbare Hardware-Komponente in Form eines „Field Programmable Gate Arrays“, FPGA, etc.) ausgebildet sein. Die Regeleinrichtung 14 ist typischer Weise zur Ausführung eines Bearbeitungsprogramms ausgelegt, welches die Bewegung des
- 20 Laserbearbeitungskopfes 4 zur Ausbildung einer gewünschten Schnittkontur (eines Schnittpalts 9 mit gewünschter Geometrie) an dem Werkstück 8 steuert bzw. regelt.

Die Regeleinrichtung 14 kann auch für eine Regelung des Laserschneidprozesses zur Erzielung eines verbesserten Schneidergebnisses (z.B. zum Erhalt von möglichst

25 gratfreien Schnittkanten an dem Schnittpalt 9) dienen, wie nachfolgend anhand eines in Fig. 5 gezeigten Regelkreises beschrieben wird, dessen Komponenten Teile der Laserschneidmaschine 1 bilden. Als Regelgröße dient die zurück reflektierte Laserleistung $P_{L,R}$ (vgl. Fig. 4). Für diese Regelgröße wird zunächst ein Sollwert $P_{L,R,SOLL}$ festgelegt, welcher im vorliegenden Beispiel mit dem Minimum $P_{L,R,MIN}$ der

30 zurück reflektierten Laserleistung $P_{L,R}$ übereinstimmt, d.h. es soll eine Regelung auf eine minimale Schnittpaltbreite bzw. auf eine Fokusslage an der Oberseite ($Z_F = 0$) des Werkstücks 8 erfolgen. Mit Hilfe des Detektors 18 als Messglied wird die instantan zurück reflektierte Laserleistung $P_{L,R,IST}$ erfasst und einem Regler 21 zugeführt, welcher z.B. in der Regeleinrichtung 14 implementiert sein kann. Der

Regler 21 ist ausgelegt, die Regeldifferenz, d.h. die Abweichung $P_{L,R,IST} - P_{L,R,SOLL}$ zu minimieren.

Zu diesem Zweck können unterschiedliche Stellgrößen des Laserschneidprozesses verändert werden, insbesondere solche Stellgrößen, welche einen (direkten oder indirekten) Einfluss auf die Fokusslage Z_F des Laserstrahls 6 haben. Beispielsweise kann der Regler 21 die Antriebseinrichtung 17 der Fokussierlinse 16 oder die Antriebseinrichtung 7c zur Bewegung des Laserschneidkopfs 4 in Z-Richtung ansteuern, um den Laserschneidprozess P (als Regelstrecke) so zu beeinflussen, dass die Regelabweichung, d.h. die Differenz zwischen gemessener zurück reflektierter Laserleistung $P_{L,R,IST}$ und dem Sollwert $P_{L,R,SOLL}$ in Richtung auf eine Minimum geändert wird. Es versteht sich, dass auch Parameter des Laserschneidprozesses, welche die Fokusslage Z_F nur indirekt beeinflussen, z.B. die Vorschubgeschwindigkeit v sowie die Leistung $P_{L,Q}$ der Strahlungsquelle (vgl. Fig. 1) in die Regelung einbezogen werden können.

Der Sollwert $P_{L,R,SOLL}$ kann in Abhängigkeit von der jeweiligen Anwendung (Blechdicke, Geometrie der zu schneidenden Konturen, Art des zu schneidenden Materials, etc.) so festgelegt werden, dass ein gratfreier Schnitt erfolgt. Es versteht sich, dass die Regelung nicht zwingend auf das Minimum an reflektierter Laserleistung $P_{L,R,MIN}$ erfolgen muss: Wenn definiert defokussiert geschnitten werden soll, kann eine Regelung auf einen definierten Sollwert der rückreflektierten Laserleistung $P_{L,R,SOLL}$ erfolgen, der um einen vorgegebenen Betrag $\Delta P_{L,R}$ größer als der minimale Wert $P_{L,R,MIN}$ ist. Ist die bei einer jeweiligen Anwendung für einen gratfreien Schnitt bzw. eine hohe Schnittqualität erforderliche Fokusslage Z_F bekannt, so kann die Festlegung des Sollwertes $P_{L,R,SOLL}$ hierbei anhand der in Fig. 4 gezeigten Beziehung erfolgen.

Es versteht sich, dass auf die in Fig. 4 gezeigte Beziehung nicht zwingend zurück gegriffen werden muss, wenn eine direkte Beziehung zwischen optimalem (gratfreiem) Schneidergebnis und Sollwert $P_{L,R,SOLL}$ der zurück reflektierten Laserleistung $P_{L,R}$ bekannt ist. Beispielsweise kann für den Fall, dass eine minimale Schnittspaltbreite bzw. eine Fokusslage an der Oberseite 8a des Werkstücks 8 ($Z_F = 0$) gewünscht ist, dem Regler 21 der Sollwert $P_{L,R,SOLL}$ nicht von außen vorgegeben

werden, sondern dem Regler 21 kann die Sollwert-Vorgabe gemacht werden, dass der Istwert der reflektierten Laserleistung $P_{L,R,IST}$ minimiert werden soll.

Auf die in Fig. 4 gezeigte Beziehung muss auch nicht zurück gegriffen werden, wenn
5 zunächst in einem Testschnitt der Wertebereich der zurück reflektierten Laserleistung $P_{L,R}$ ermittelt wird, in dem der Schneidprozess zu einer gratfreien Schnittkante führt. Zu diesem Zweck kann bei dem Testschnitt der Abstand zwischen der Fokusslage Z_L zur Oberseite 8a des (Test-)werkstücks 8 variiert sowie die Gratbildung am Schnittspalt beispielsweise durch einen Bediener oder einen (optischen) Sensor
10 ermittelt werden. Als Sollwert $P_{L,R,SOLL}$ für die reflektierte Laserleistung $P_{L,R}$ kann in diesem Fall beispielsweise der Mittelwert des bei dem Testschnitt ermittelten Wertebereichs festgelegt werden, bei dem keine Gratbildung auftritt.

Es versteht sich, dass eine Regelung des Laserschneidprozesses auf die oben
15 beschriebene Weise nicht nur bei einer Laserschneidmaschine durchgeführt werden kann, wie sie in Fig. 1 gezeigt ist. Vielmehr kann die oben beschriebene Regelung auch an einer Laserschneidmaschine durchgeführt werden, bei welcher das Werkstück nicht ruht, sondern in mindestens einer Raumrichtung bewegt wird. Auch ist der oben beschriebene Regelungsprozess nicht auf Laserschneidmaschinen zur
20 Bearbeitung von im Wesentlichen plattenförmigen Werkstücken beschränkt. Vielmehr kann auch eine Detektion der an der Oberseite eines im Wesentlichen rohrförmigen oder eines dreidimensional variabel geformten Werkstücks reflektierten Laserstrahlung durchgeführt werden.

5

Patentansprüche

1. Verfahren zum Regeln eines Laserschneidprozesses, umfassend die Schritte:
Laserschneiden eines Werkstücks (8) mittels eines fokussierten Laserstrahls (6)
10 unter Ausbildung eines Schnittpalts (9) an dem Werkstück (8),
Detektieren der Laserleistung ($P_{L,R}$) von beim Laserschneiden von der Oberfläche
(8a) des Werkstücks (8) benachbart zum Schnittpalt (9) zurück reflektierter
Laserstrahlung (13a, 13b), sowie
Regeln der detektierten Laserleistung ($P_{L,R,IST}$) auf einen Sollwert ($P_{L,R,SOLL}$), bei
15 dem die Laserleistung ($P_{L,R}$) einen minimalen Wert ($P_{L,R,SOLL} = P_{L,R,MIN}$) annimmt
oder eine vorgegebene Differenz ($\Delta P_{L,R}$) zu dem minimalen Wert ($P_{L,R,MIN}$)
aufweist.
2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem in einem vorausgehenden Schritt eine
20 Beziehung zwischen der detektierten Laserleistung ($P_{R,L}$) und dem Abstand (d)
der Fokuslage (Z_L) des Laserstrahls (6) zur Oberseite (8a) des Werkstücks (8)
bestimmt wird und anhand der Beziehung der Sollwert ($P_{L,R,SOLL}$) so festgelegt
wird, dass die Fokuslage (Z_L) des Laserstrahls (6) einen gewünschten Abstand (d)
zur Oberseite (8a) des Werkstücks (8) aufweist.
- 25 3. Verfahren nach Anspruch 2, bei dem die Beziehung für unterschiedliche
Vorschubgeschwindigkeiten (v) zwischen dem Laserstrahl (6) und dem Werkstück
(8) bei der Ausbildung des Schnittpalts (9) an dem Werkstück (8) bestimmt wird.
- 30 4. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem in einem vorausgehenden Schritt ein
Testschnitt an einem Werkstück (8) unter Ausbildung eines Schnittpalts (9)
durchgeführt wird, wobei der Abstand (d) der Fokuslage (Z_L) des Laserstrahls (6)
zur Oberseite (8a) des Werkstücks (8) variiert wird, und wobei als Sollwert
($P_{L,R,SOLL}$) ein Wert der reflektierten Laserleistung ($P_{L,R}$) festgelegt wird, bei dem

der Schnittpalt (9) eine gratfreie Kante aufweist.

5. Verfahren nach Anspruch 4, bei dem als Sollwert ($P_{L,R,SOLL}$) ein Mittelwert eines Wertebereichs der reflektierten Laserleistung ($P_{L,R}$) festgelegt wird, bei dem der bei dem Testschnitt gebildete Schnittpalt (9) eine gratfreie Kante aufweist.
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem zur Regelung der detektierten Laserleistung ($P_{L,R,IST}$) auf den Sollwert ($P_{L,R,SOLL}$) mindestens ein Parameter des Laserschneidprozesses verändert wird, welcher die Fokusslage (Z_F) des Laserstrahls (6) beeinflusst.
7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die vom Werkstück (8) zurück reflektierte Laserstrahlung (13a, 13b) zur Detektion mittels eines Auskoppellements (19) aus dem Strahlengang (3) des Laserstrahls (6) ausgekoppelt wird.
8. Verfahren nach Anspruch 7, bei dem als Auskoppellement ein unter einem Winkel (α) zur Laserstrahlachse (20) ausgerichteter Scraper-Spiegel (19) dient.
9. Laserschneidmaschine (1) zum Laserschneiden von Werkstücken (8), umfassend:
 - einen Laserschneidkopf (4) zum Ausrichten eines Laserstrahls (6) auf das Werkstück (8),
 - eine Fokussiereinrichtung (16) zur Fokussierung des Laserstrahls (6) an einer Fokusposition (Z_F) in einem Abstand (d) zur Oberseite (8a) des Werkstücks (8),
 - mindestens eine Antriebseinrichtung (7a, 7b) zur Erzeugung einer Relativbewegung zwischen dem Laserschneidkopf (4) und dem Werkstück (8) zur Ausbildung eines Schnittpalts (9) an dem Werkstück (8),
 - einen Detektor (18) zur Detektion der Laserleistung ($P_{L,R}$) von beim Laserschneiden von der Oberfläche (8a) des Werkstücks (8) benachbart zum Schnittpalt (9) zurück reflektierter Laserstrahlung (13a, 13b), sowie
 - eine Regeleinrichtung (14) zur Regelung der detektierten Laserleistung ($P_{L,R,IST}$) auf einen Sollwert ($P_{L,R,SOLL}$), bei dem die Laserleistung ($P_{L,R}$) einen minimalen Wert ($P_{L,R,MIN}$) annimmt oder eine vorgegebene Differenz ($\Delta P_{L,R}$) zu dem minimalen Wert ($P_{L,R,MIN}$) aufweist.

10. Laserschneidmaschine nach Anspruch 9, bei welcher die Regeleinrichtung (14) ausgebildet ist, anhand einer vorgegebenen Beziehung zwischen der detektierten Laserleistung ($P_{R,L}$) und dem Abstand (d) der Fokusslage (Z_L) des Laserstrahls (6) zur Oberseite (8a) des Werkstücks (8) den Sollwert ($P_{L,R,SOLL}$) so festzulegen,
5 dass die Fokusslage (Z_L) des Laserstrahls (6) einen gewünschten Abstand (d) von der Oberseite (8a) des Werkstücks (8) aufweist.

11. Laserschneidmaschine nach Anspruch 9 oder 10, bei welcher die Regeleinrichtung (14) ausgebildet ist, den Sollwert ($P_{L,R,SOLL}$) in Abhängigkeit von
10 einer Geschwindigkeit (v) der mittels der mindestens einen Antriebseinrichtung (7a, 7b) erzeugten Relativbewegung zwischen dem Laserschneidkopf (4) und dem Werkstück (8) festzulegen.

12. Laserschneidmaschine nach einem der Ansprüche 9 bis 11, bei welcher die Regeleinrichtung (14) ausgebildet ist, zur Regelung der detektierten Laserleistung ($P_{L,R,IST}$) auf den Sollwert ($P_{L,R,SOLL}$) mindestens einen Parameter des Laserschneidprozesses zu verändern, welcher die Fokusslage (Z_F) des Laserstrahls (6) beeinflusst.

13. Laserschneidmaschine nach einem der Ansprüche 9 bis 12, weiter umfassend: eine Auskoppelinrichtung (19) zur Auskopplung der zurück reflektierten Laserstrahlung (13a, 13b) aus dem Strahlengang (3) des Laserstrahls (6).

14. Laserschneidmaschine nach Anspruch 13, bei welcher die Auskoppelinrichtung als ein unter einem Winkel (α) zur Laserstrahlachse (20) ausgerichteter Scraper-Spiegel (19) ausgebildet ist.

15. Laserschneidmaschine nach einem der Ansprüche 9 bis 14, bei welcher der Detektor (18) ein thermoelektrischer Detektor ist.

1 / 2

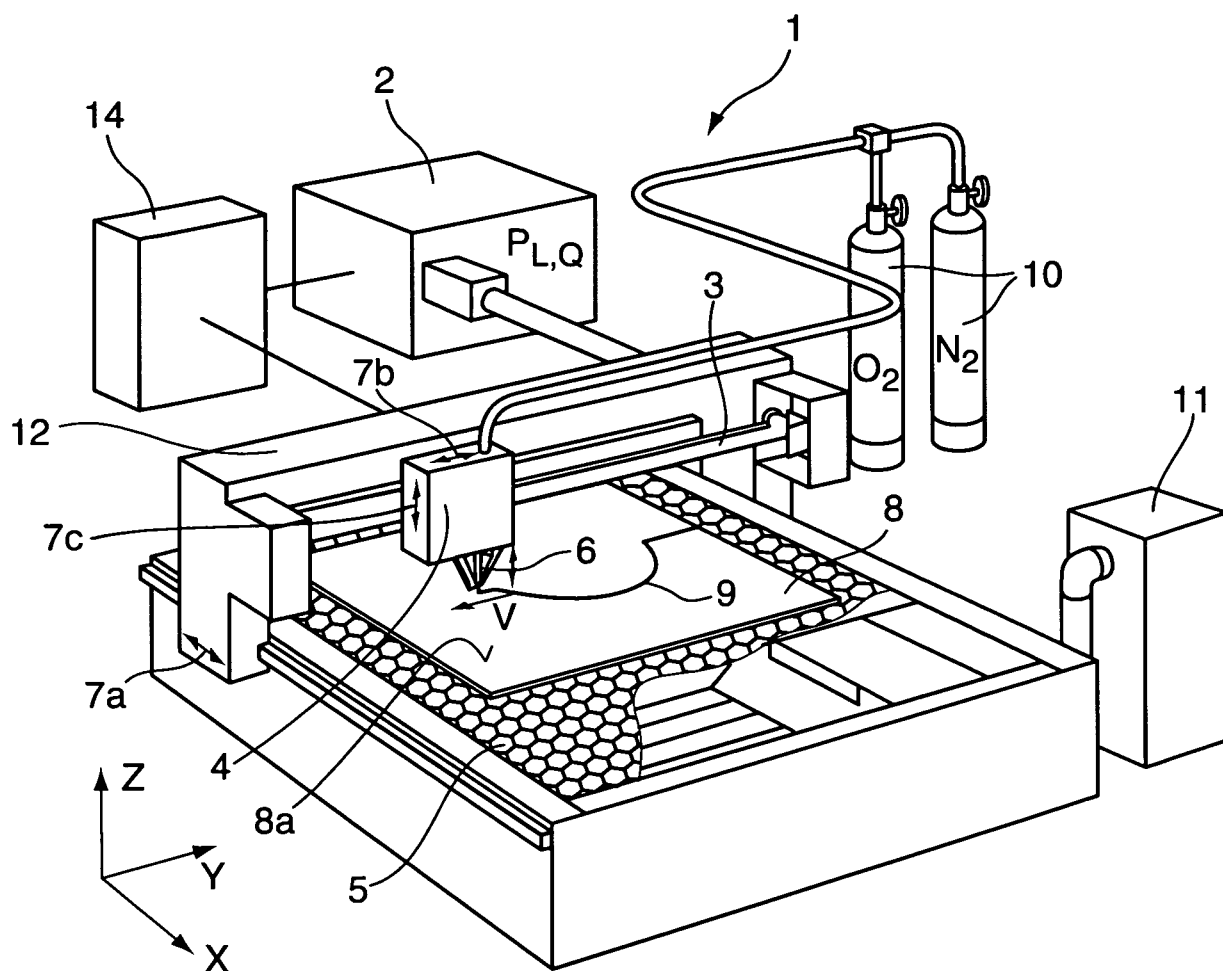


Fig. 1

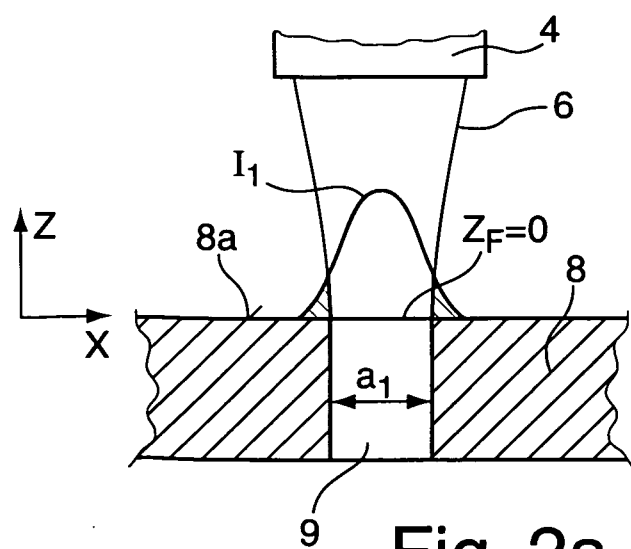


Fig. 2a

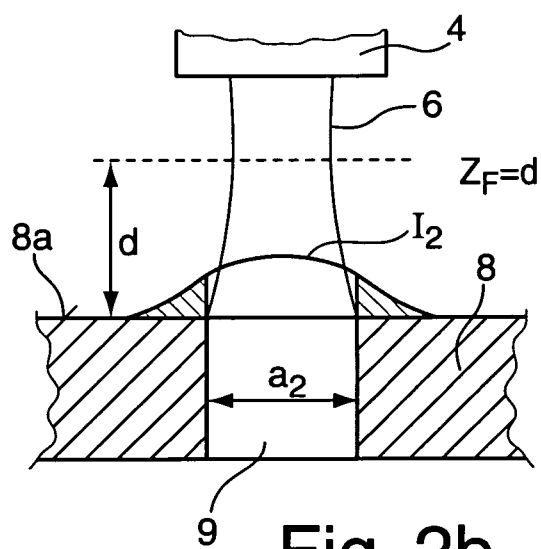


Fig. 2b

2 / 2

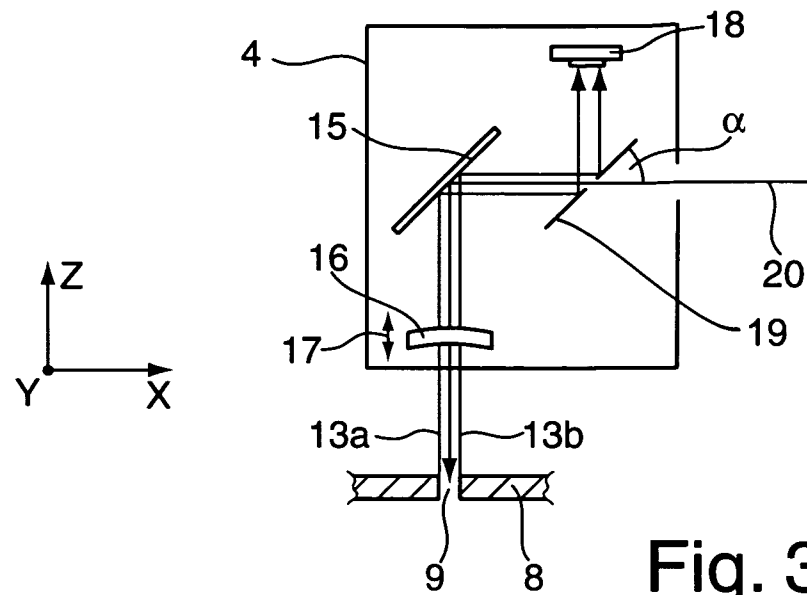


Fig. 3

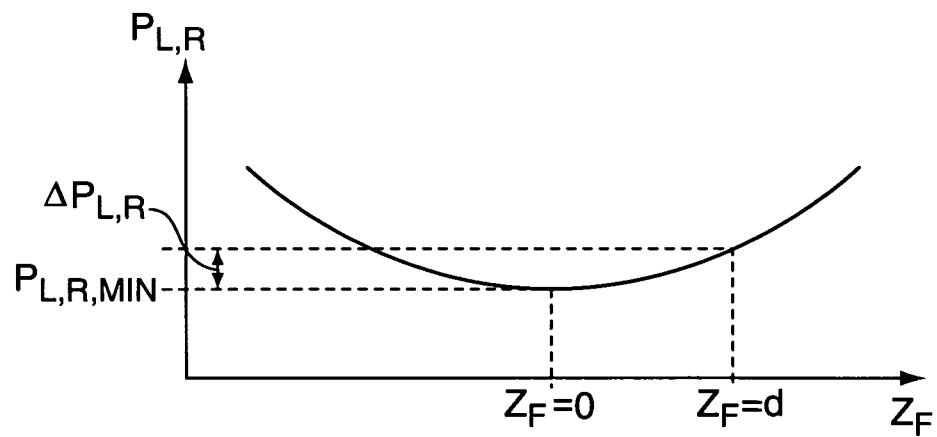


Fig. 4

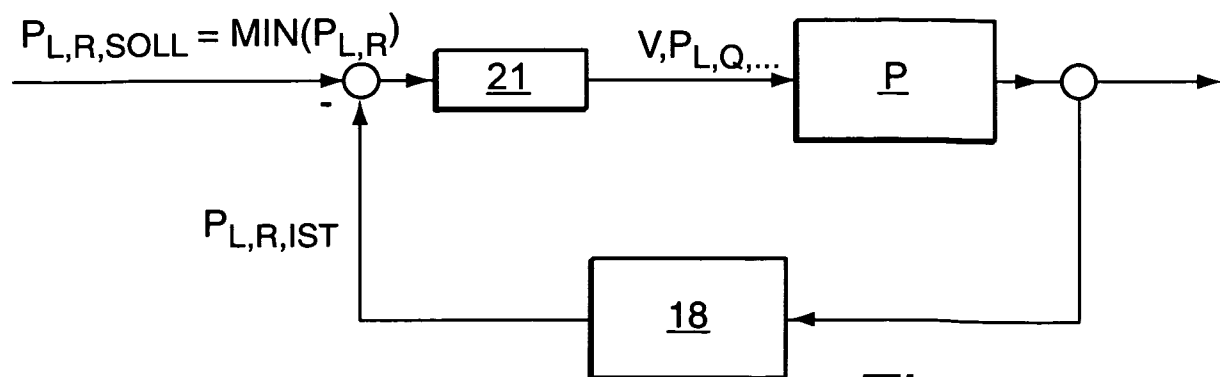


Fig. 5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2013/000193

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. B23K26/04 B23K26/38
ADD.

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)
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	JP H11 129084 A (SUMITOMO HEAVY INDUSTRIES) 18 May 1999 (1999-05-18)	1-6,9-12
Y	paragraph [0010] - paragraph [0021]; figures 1,3,4	7,8,13-15
Y	DE 10 2009 059245 B4 (LT ULTRA PREC TECHNOLOGY GMBH [DE]) 22 September 2011 (2011-09-22) cited in the application paragraph [0044]; claims 1,13; figures 1,2,4	7,8,13,14
Y	US 2009/200279 A1 (LI JIPING [US]) 13 August 2009 (2009-08-13) paragraph [0092]; figure 11	15
	-/--	



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

22 May 2013

Date of mailing of the international search report

31/05/2013

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Möller, Sebastian

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/EP2013/000193

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2002 346783 A (DENSO CORP) 4 December 2002 (2002-12-04) abstract; figure 1 -----	1,9
A	EP 0 811 453 A2 (LUMONICS LTD [GB]) 10 December 1997 (1997-12-10) column 7, line 5 - column 9, line 5; figures 5,8 -----	1,9

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2013/000193

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
JP H11129084 A	18-05-1999	JP 3154176 B2 JP H11129084 A	09-04-2001 18-05-1999
DE 102009059245 B4	22-09-2011	DE 102009059245 A1 EP 2516101 A1 US 2013001208 A1 WO 2011085904 A1	22-06-2011 31-10-2012 03-01-2013 21-07-2011
US 2009200279 A1	13-08-2009	NONE	
JP 2002346783 A	04-12-2002	NONE	
EP 0811453 A2	10-12-1997	DE 69721378 D1 DE 69721378 T2 EP 0811453 A2 JP H1052779 A US 5850068 A	05-06-2003 30-10-2003 10-12-1997 24-02-1998 15-12-1998

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. B23K26/04 B23K26/38
ADD.

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
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	JP H11 129084 A (SUMITOMO HEAVY INDUSTRIES) 18. Mai 1999 (1999-05-18)	1-6,9-12
Y	Absatz [0010] - Absatz [0021]; Abbildungen 1,3,4	7,8,13-15
Y	DE 10 2009 059245 B4 (LT ULTRA PREC TECHNOLOGY GMBH [DE]) 22. September 2011 (2011-09-22) in der Anmeldung erwähnt Absatz [0044]; Ansprüche 1,13; Abbildungen 1,2,4	7,8,13,14
Y	US 2009/200279 A1 (LI JIPING [US]) 13. August 2009 (2009-08-13) Absatz [0092]; Abbildung 11	15
	-/-	

☒ 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

22. Mai 2013

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

31/05/2013

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

Möller, Sebastian

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	JP 2002 346783 A (DENSO CORP) 4. Dezember 2002 (2002-12-04) Zusammenfassung; Abbildung 1 -----	1,9
A	EP 0 811 453 A2 (LUMONICS LTD [GB]) 10. Dezember 1997 (1997-12-10) Spalte 7, Zeile 5 - Spalte 9, Zeile 5; Abbildungen 5,8 -----	1,9

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2013/000193

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
JP H11129084 A	18-05-1999	JP 3154176 B2	09-04-2001
		JP H11129084 A	18-05-1999

DE 102009059245 B4	22-09-2011	DE 102009059245 A1	22-06-2011
		EP 2516101 A1	31-10-2012
		US 2013001208 A1	03-01-2013
		WO 2011085904 A1	21-07-2011

US 2009200279 A1	13-08-2009	KEINE	

JP 2002346783 A	04-12-2002	KEINE	

EP 0811453 A2	10-12-1997	DE 69721378 D1	05-06-2003
		DE 69721378 T2	30-10-2003
		EP 0811453 A2	10-12-1997
		JP H1052779 A	24-02-1998
		US 5850068 A	15-12-1998
