



(10) **DE 10 2009 047 995 B3** 2011.06.09

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2009 047 995.3**

(22) Anmeldetag: **28.09.2009**

(43) Offenlegungstag: –

(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **09.06.2011**

(51) Int Cl.: **B23K 26/38 (2006.01)**

Innerhalb von drei Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:

**Technische Universität Dresden, 01069 Dresden,
DE; Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der
angewandten Forschung e.V., 80686 München, DE**

(74) Vertreter:

**PFENNING MEINIG & PARTNER GbR, 01067
Dresden**

(72) Erfinder:

**Lütke, Matthias, 01309 Dresden, DE; Stelzer,
Sebastian, 01217 Dresden, DE; Himmer, Thomas,
Dr., 01307 Dresden, DE**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:

**DE 10 2008 027130 A1
DE 10 2007 000355 A1
DE 10 2006 052824 A1**

**HIMMER, T., LÜTKE, M.: Exzellente Schnitte.
Laser + Produktion Spezial. Publikation des
Fraunhofer IWS, Dresden und des Fraunhofer IOF,
Jena. München: Carl Hanser Verlag, 2008, S.18-19
JP 08 108 287 A (abstract)**

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur gratfreien trennenden Bearbeitung von Werkstücken**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur gratfreien trennenden Bearbeitung von Werkstücken mit einem zweidimensional auslenkbaren, fokussierten Laserstrahl. Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren wird ein von einem single-mode Faserlaser oder einem Scheibenlaser emittierter Laserstrahl auf eine Werkstückoberfläche zur Ausbildung einer Schnittfuge so gerichtet, dass ein Werkstoffabtrag ausschließlich durch Ablation erreicht wird und dabei der Brennfleck des Laserstrahls mehrfach über gleiche Positionen der Werkstückoberfläche entlang einer auszubildenden Schneidkontur in einer ersten Phase der Bearbeitung bewegt wird. Dabei werden die Bearbeitungsparameter des Verfahrens in mindestens einer nachfolgenden weiteren Phase der Bearbeitung vor dem vollständigen Durchtrennen des Werkstücks verändert und der Brennfleck des Laserstrahls mindestens einmal mit veränderten Parametern entlang der auszubildenden Schneidkontur bewegt und dadurch ein Umschmelzen und/oder ein Werkstoffabtrag an den Rändern der Schnittfuge erreicht werden kann.

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur gratfreien trennenden Bearbeitung von Werkstücken mit einem zweidimensional auslenkbaren, fokussierten Laserstrahl.

[0002] Bei vielen Anwendungsfällen sind neben hoher Arbeitsproduktivität auch hohe Anforderungen an die Qualität gestellt. Dies betrifft bei den in Rede stehenden Laserschneidverfahren insbesondere die ausgebildeten Schneidkanten. Es ist auch eine schmale Schnittfuge gewünscht. Unter diesen Aspekten sind die Verfahren mit einer Schneidgaszuführung nachteilig, bei denen ein Schmelzen von Werkstoff mit der Energie der Laserstrahlung erreicht und die Schmelze dann mit unter erhöhten Druck in die Schnittfuge zugeführtem Schneidgas ausgetrieben wird, obwohl sie hochproduktiv mit kleinen Bearbeitungszeiten durchgeführt werden können.

[0003] Daneben sind auch Verfahren bekannt, bei denen ein Werkstoffabtrag durch Ablation erfolgt und dabei Werkstoff durch Sublimation vom zu bearbeitenden Werkstück entfernt wird. Diese bekannten auf Ablation basierenden Techniken erreichen aber geringe Abtragsraten und können mit kleinen Vorschubgeschwindigkeiten arbeiten.

[0004] Dementsprechend wurde in der nicht vorveröffentlichten DE 10 2008 027 130 vorgeschlagen, einen fokussierten Laserstrahl auf eine zu bearbeitende Oberfläche eines Werkstücks zu richten, mit dem der Werkstoffabtrag ausschließlich durch Ablation erreicht werden soll. Für die Ausbildung gewünschter Schneidkonturen kann mit an sich bekannten technischen Mitteln eine Relativbewegung von Laserstrahl und Werkstück vorgenommen werden. Bevorzugt wird dabei auch der Laserstrahl zweidimensional ausgelenkt, um die Vorschubgeschwindigkeit zu erhöhen und flexibler auf gewünschte geometrische Konturen eingehen zu können.

[0005] Als wichtige Parameter sollen bei der Bearbeitung eine Mindestleistungsdichte im Brennpunkt des Laserstrahls von $1 \cdot 10^7$ W/cm², bevorzugt mindestens $1 \cdot 10^8$ W/cm² und eine Mindestvorschubgeschwindigkeit von 150 m/min, bevorzugt 200 m/min, ganz besonders bevorzugt von mindestens 700 m/min eingehalten werden.

[0006] Bei der Bearbeitung kann es auch wegen der hohen Vorschubgeschwindigkeiten dazu kommen, dass der Werkstoffabtrag in der Schnittfuge in einem Zug nicht ausreicht, um ein vollständiges Schneiden/Trennen zu erreichen. Dem kann aber mit einem zyklischen Durchfahren der jeweiligen Bearbeitungskontur entgegengewirkt werden. So kann beispielsweise für kreisförmige Konturen, der gesamte Umfang mehrfach überfahren werden, so dass gleiche

Positionen der Werkstückoberfläche mehrfach dem Einfluss der Laserstrahlung sukzessive ausgesetzt werden können. Ein gepulster Betrieb des eingesetzten Lasers ist, bis auf kritische Bereiche (Ecken, kleine Radien) in denen größere Änderungen der Vorschubachsrichtung durchzuführen sind, nicht erforderlich und ist in vielen Fällen bei der Ausbildung einer Schneidkontur bzw. eines Ausschnitts sogar nachteilig. Ein Ausschalten des Laserstrahls ist lediglich bei einem Wechsel vom Schneiden einer Kontur zu einer nachfolgend auszubildenden Kontur und eine Verringerung der Vorschubgeschwindigkeit ggf. in den genannten kritischen Bereichen erforderlich.

[0007] Nun hat es sich heraus gestellt, dass obwohl die Qualität der so ausgebildeten Schnittfugen verbessert werden konnte, eine Gratbildung an den Rändern der Schnittfuge nicht vermeidbar war.

[0008] Nunmehr sind die verschiedensten Möglichkeiten zur Beseitigung oder Reduzierung der gebildeten Grate bekannt. Es werden unterschiedlichste Technologien eingesetzt. Dies können beispielsweise Elektronenstrahlen, Wasserstrahlen, thermisch chemisches oder elektrochemisches Entgraten sein.

[0009] Generell haftet den bekannten Verfahren, die bisher für das Entgraten eingesetzt werden, der Nachteil an, dass sie in einem zusätzlichen Verfahrensschritt, der mit gesonderter Anlagentechnik durchgeführt werden muss, verbunden sind, was wiederum zu einer erheblichen Reduzierung der Produktivität und Kostenerhöhung bei der Bearbeitung führt.

[0010] Von T. Himmer und M. Lütke ist in „Exzellente Schnitte“; Laser + Produktion Spezial; Publikation des Fraunhofer IWS Dresden und des Fraunhofer IOF Jena; Carl Hanser Verlag; 2008; S. 18. und 19 eine Möglichkeit zur trennenden Bearbeitung mittels eines von einem single-mode Faserlaser emittierten und hochdynamisch auslenkbaren Laserstrahls ohne Schneidgasunterstützung beschrieben.

[0011] Die DE 10 2006 052 824 A1 betrifft ein Laserstrahlschneidverfahren, bei ein Laserstrahl mehrfach entlang einer Schneidkontur bewegt wird.

[0012] Aus DE 10 2007 000 355 A1 ist es bekannt, nach dem Laserstrahlschneiden mit einem fokussierten Laserstrahl eine Schneidkante mit einem zweiten defokussierten Laserstrahl umzuschmelzen.

[0013] Es ist daher Aufgabe der Erfindung ein Verfahren vorzuschlagen, mit dem Grat an Schnittfugen einfach und kostengünstig bei der trennenden Bearbeitung von Werkstücken mit Laserstrahlung vermieden werden kann.

[0014] Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe mit einem Verfahren, bei dem die Merkmale des An-

spruchs 1 realisiert werden, gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen der Erfindung können mit in untergeordneten Ansprüchen bezeichneten Merkmalen erreicht werden.

[0015] Bei der Erfindung wird ausgehend von dem aus DE 10 2008 027 130 bekannten Verfahren so vorgegangen, dass die Bearbeitung in mindestens zwei nacheinander durchzuführenden Phasen erfolgt.

[0016] Dabei wird ein mindestens zweidimensional auslenkbarer, fokussierter Laserstrahl, der von einem single-mode Faserlaser oder einem Scheibenlaser emittiert wird auf eine Werkstückoberfläche zur Ausbildung einer Schnittfuge so gerichtet, dass ein Werkstoffabtrag ausschließlich durch Ablation erreicht wird. Hierfür wird der Brennfleck des Laserstrahls mehrfach über gleiche Positionen der Werkstückoberfläche entlang einer auszubildenden Schneidkontur in einer ersten Phase der Bearbeitung bewegt. Die Bearbeitungsparameter des Verfahrens werden in dieser ersten Phase der Bearbeitung nicht und dann in einer nachfolgenden weiteren Phase der Bearbeitung vor dem vollständigen Durchtrennen des Werkstücks aber verändert. Der Brennfleck des Laserstrahls wird während der weiteren (zweiten) zweiten Phase der Bearbeitung mindestens einmal mit veränderten Parametern entlang der auszubildenden Schneidkontur bewegt, so dass dadurch ein Umschmelzen und/oder ein Werkstoffabtrag an den Rändern der Schnittfuge erreicht werden kann. Ein so bearbeitetes Werkstück ist dann an den Rändern von Schnittfugen, wenn nicht vollständig, zumindest weitestgehend gratfrei. In der Regel kann der Brennfleck während der weiteren Phase der Bearbeitung aber mehr als einmal über jede Position entlang einer auszubildenden Schneidkontur bewegt werden.

[0017] Während der gesamten Zeit der Bearbeitung in der ersten Phase sollten eine Vorschubgeschwindigkeit von mindestens 150 m/min, eine Leistungsdichte im Brennpunkt von mindestens $1 \cdot 10^7$ W/cm² eingehalten werden und der Laserstrahl so fokussiert sein, dass der Brennpunkt einen Durchmesser kleiner 100 µm aufweist.

[0018] Der Brennfleck des Laserstrahls kann dabei n-fach über die auszubildende Schneidkontur bewegt werden, so dass jede Position dem Einfluss der Laserstrahlung n-mal ausgesetzt wird. Bis dahin ist das Werkstück jedoch noch nicht vollständig durchtrennt, d. h. die Schnittfuge reicht noch nicht durch die gesamte Dicke des Werkstücks.

[0019] Die vollständige Durchtrennung erfolgt ausschließlich bei einer weiteren Phase der Bearbeitung und dabei veränderten Verfahrensparametern, auf die nachfolgend näher eingegangen werden soll. Dem soll aber vorangestellt werden, dass die einzel-

nen möglichen Parameterveränderungen auch unterschiedlichst miteinander kombiniert beim erfindungsgemäßen Verfahren in dessen zweiter Phase vorgenommen werden können. Es besteht auch die Möglichkeit das Verfahren in mehr als zwei Phasen der Bearbeitung durchzuführen und dabei die Bearbeitungsparameter mehrfach zu verändern, wodurch die Qualität, also die Gratfreiheit weiter verbessert werden kann.

[0020] Erfindungsgemäß kann die Leistungsdichte im Brennfleck des Laserstrahls während der Bearbeitung in einer weiteren zweiten und ggf. einer zusätzlichen weiteren sich die zweite Phase anschließenden Phase reduziert werden. Dies kann durch eine Reduzierung der Laserleistung und/oder eine Defokussierung des Laserstrahls erreicht werden.

[0021] Bei einer durchgeführten Defokussierung kann der Brennfleck so vergrößert werden, dass sein Durchmesser mindestens dreimal so groß, wie die Breite der ausgebildeten Schnittfuge ist. Er kann dabei einen Durchmesser von 325 µm bei einem Abstand des Brennpunkts von 5 mm zur Werkstückoberfläche, bevorzugt einen Durchmesser von 650 µm bei einem Abstand des Brennpunkts von 10 mm aufweisen.

[0022] Das erfindungsgemäße Verfahren kann gesteuert und/oder geregelt betrieben werden. Bei einer Regelung kann beispielsweise ein Abstandssignal oder ein Tiefenmesssignal genutzt werden, um beispielsweise die Position des Brennpunkts zu verändern.

[0023] Allein oder zusätzlich kann während einer nach der ersten Phase durchzuführenden weiteren Phase der Bearbeitung auch die Vorschubgeschwindigkeit reduziert werden.

[0024] Als eine Alternative hat es sich herausgestellt, dass eine während der ersten Phase der Bearbeitung nicht vollständig durch das Werkstück reichende Schnittfuge ausgebildet werden kann und eine Gratbildung vermieden werden kann, indem bei mindestens einem letztendlichen Trennschnitt, der entlang der auszubildenden Schneidkontur bei der weiteren Phase der Bearbeitung durchgeführt wird, die Laserleistung erhöht wird. Dabei kann mit einer Leistung, die mindestens dem 1,5-fachen der Leistung während der ersten Phase entspricht, bearbeitet werden.

[0025] Wird während einer weiteren Phase der Bearbeitung die Laserleistung erhöht, kann auch so vorgegangen werden, dass bei der Bearbeitung in einer davor durchgeführten Phase mit reduzierter Laserleistung eine kleine Schnittfuge ausgebildet wird. Der Brennfleck wird hierzu mindestens einmal entlang der gesamten auszubildenden Schneidkontur bewegt. Im

Anschluss an diese Phase kann dann die vollständige Trennung eines Werkstücks mit der deutlich höheren Laserleistung durchgeführt werden. Dabei kann der Brennfleck mit einer höheren Anzahl entlang der auszubildenden Schneidkontur geführt werden. Jede Position der Schneidkontur kann so entsprechend oft der Laserenergie ausgesetzt werden.

[0026] Beim erfindungsgemäßen Verfahren kann der Brennfleck mit unterschiedlichen Anzahlen in den verschiedenen Phasen der Bearbeitung entlang der auszubildenden Schneidkontur geführt werden.

[0027] Es besteht auch die Möglichkeit während einer sich an die erste Phase der Bearbeitung anschließenden Phase, die Bewegung des Brennflecks so zu beeinflussen, dass die Vorschubachse oszillierend verändert wird und dabei die eigentliche Vorschubbewegung von einer oszillierenden Bewegung überlagert wird. Dadurch können mit einer solchen Bewegung sowohl die Schnittfuge, wie auch deren Ränder bestrahlt werden. Dadurch kann eine Schnittfuge mit schräg geneigten Wänden erhalten werden, wodurch gebildete Dämpfe und ggf. gebildete Schmelze leichter aus der Schnittfuge abgeführt werden können.

[0028] Bei der Erfindung sollte zumindest während der ersten Phase der Bearbeitung die Vorschubgeschwindigkeit im Vergleich zu den herkömmlichen Verfahren sehr hoch eingehalten werden. Sie sollte dabei ständig oberhalb 200 m/min, bevorzugt oberhalb 500 m/min und besonders bevorzugt oberhalb 700 m/min gehalten werden. Nachfolgend soll die Erfindung beispielhaft näher erläutert werden.

Beispiel 1

[0029] Mit einer Laserquelle YLS-5000-SM mit einer Leistung $P_L = 5$ kW wurde ein fokussierter Laserstrahl dessen Brennpunkt einen Durchmesser von 25 μm aufwies, auf ein Werkstück gerichtet, um eine Kontur ausschneiden zu können.

[0030] Das Werkstück hatte eine Dicke von 1 mm und bestand aus Edelstahl 1.4301.

[0031] In der ersten Phase der Bearbeitung wurde der Brennfleck mittels zweier schwenkbarer reflektierender Elemente (Scannerspiegel) so ausgelenkt, dass die Schneidkontur mit einer Vorschubgeschwindigkeit von 800 m/min bei einer Leistung $P_L = 5$ kW insgesamt 18 mal abgefahren wurde. Das Werkstück wurde bis dahin nicht vollständig durchtrennt. Es war eine Restschichtdicke von 0,05 mm in der Schnittfuge verblieben, bis die Bearbeitungsparameter für eine zweite Phase der Bearbeitung verändert wurden, um das Werkstück vollständig zu trennen. In dieser Phase wurde die Schneidkontur zweimal mit dem Brennfleck abgefahren. Dabei wurde die Vorschub-

geschwindigkeit von 800 m/min beibehalten und lediglich die Leistung der Laserquelle in einen Bereich zwischen 500 und 750 W reduziert. Die Ränder der Schnittfuge wiesen noch einen Grat mit einer Breite von 100 μm und einer Höhe von 25 μm auf.

[0032] Bei diesem Beispiel wurde zusätzlich eine dritte Phase der Bearbeitung durchgeführt und dabei die Leistung der Laserquelle wieder auf $P_L = 5$ kW erhöht. Die Vorschubgeschwindigkeit ist konstant auf 800 m/min gehalten worden. Der Laserstrahl wurde aber defokussiert, so dass der Brennfleck an der Werkstückoberfläche einen Durchmesser von 650 μm bei einem Abstand des Brennpunktes von 10 mm aufwies. Dabei wurde die Schneidkontur mit dem defokussierten Brennfleck zweimal überstrichen.

[0033] Die Ränder der Schnittfuge wiesen nach dieser Phase der Bearbeitung noch einen Grat mit einer Breite von 100 μm auf. Die Höhe des Grates lag noch bei 20 μm .

[0034] Bei einem herkömmlichen Vorgehen sind dagegen lediglich Grate mit einer Breite von 200 μm und einer Höhe von 100 μm erreichbar.

Beispiel 2

[0035] Es wurde mit der gleichen Laserquelle ein Werkstück mit den gleichen Parametern, wie beim Beispiel 1 bearbeitet.

[0036] Im Gegensatz dazu wurde aber in einer ersten Phase der Bearbeitung der Brennfleck zweimal entlang der auszubildenden Schneidkontur geführt. Dabei wird der Brennfleck mit einer Vorschubgeschwindigkeit von 800 m/min und einem Brennpunktdurchmesser von 25 μm bewegt. Die Leistung der Laserstrahlung lag dabei im Bereich zwischen 500 W und 750 W. Mit dieser relativ geringen Leistung wurde eine Schnittfuge entlang der auszubildenden Schneidkontur ausgebildet, die eine Tiefe von 0,05 mm hatte.

[0037] In einer sich an die erste Phase anschließenden nachfolgend durchgeführten weiteren Phase wurde lediglich die Leistung P_L des Lasers auf 5 kW erhöht und der Brennfleck weitere 16-mal entlang der auszubildenden Schneidkontur bewegt und dabei das Werkstück im letzten Trennschnitt vollständig durchtrennt.

[0038] Der verbliebene Grat an den Rändern der Schnittfuge hatte wieder eine Breite von 100 μm und eine Höhe von 25 μm .

Patentansprüche

1. Verfahren zur gratfreien trennenden Bearbeitung von Werkstücken mit einem zweidimensional auslenkbaren, fokussierten Laserstrahl, bei dem der von einem single-mode Faserlaser oder einem Scheibenlaser emittierte Laserstrahl auf eine Werkstückoberfläche zur Ausbildung einer Schnittfuge so gerichtet wird, dass ein Werkstoffabtrag ausschließlich durch Ablation erreicht wird und dabei der Brennfleck des Laserstrahls mehrfach über gleiche Positionen der Werkstückoberfläche entlang einer auszubildenden Schneidkontur in einer ersten Phase der Bearbeitung bewegt wird; und Bearbeitungsparameter des Verfahrens in mindestens einer nachfolgenden weiteren Phase der Bearbeitung vor dem vollständigen Durchtrennen des Werkstücks verändert werden und der Brennfleck des Laserstrahls mindestens einmal mit veränderten Bearbeitungsparametern entlang der auszubildenden Schneidkontur bewegt und dadurch ein Umschmelzen und/oder ein Werkstoffabtrag an den Rändern der Schnittfuge erreicht wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass während der gesamten ersten Phase der Bearbeitung eine Vorschubgeschwindigkeit von mindestens 150 m/min, eine Leistungsdichte im Brennpunkt von mindestens $1 \cdot 10^7$ W/cm² eingehalten werden und der Laserstrahl so fokussiert wird, dass der Brennpunkt einen Durchmesser kleiner 100 µm aufweist.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass in der weiteren Phase der Bearbeitung die Leistungsdichte im Brennfleck reduziert wird.

4. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Vorschubgeschwindigkeit während der weiteren Phase der Bearbeitung reduziert wird.

5. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Leistung des Laserstrahls in der weiteren Phase der Bearbeitung erhöht wird.

6. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Laserstrahl während der weiteren Phase der Bearbeitung defokussiert auf das Werkstück gerichtet wird.

7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass der Brennfleck auf der Werkstückoberfläche einen Durchmesser aufweist, der mindestens dreifach größer als die Breite der Schnittfuge ist.

8. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Brennfleck während der weiteren Phase der Bearbeitung oszillierend mit wechselnder Vorschubachsrichtung entlang der auszubil-

denden Schneidkontur bewegt wird, so dass bei der Bewegung die Schnittfuge und deren Ränder bestrahlt werden.

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest in der ersten Phase der Bearbeitung eine Vorschubgeschwindigkeit von 500 m/min nicht unterschritten wird.

10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass bei reduzierter Leistung des Laserstrahls während der weiteren Phase der Bearbeitung in einer im Anschluss daran durchgeführten zusätzlichen weiteren Phase der Bearbeitung der Laserstrahl defokussiert oder mit oszillierend wechselnder Vorschubachsrichtung entlang der auszubildenden Schneidkontur bewegt und dabei die eigentliche Vorschubbewegung von einer oszillierenden Bewegung überlagert wird.

11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Anzahl der Bewegungen des Brennflecks entlang der auszubildenden Schneidkontur in einzelnen Phasen der Bearbeitung voneinander abweicht.

Es folgt kein Blatt Zeichnungen