PCT WELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM
Internationales Büro
INTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)

(51) **Internationale Patentklassifikation** 6 : **B23K 26/02**

A1

(11) **Internationale Veröffentlichungsnummer:** **WO 95/09713**

(43) **Internationales Veröffentlichungsdatum:** 13. April 1995 (13.04.95)

(21) **Internationales Aktenzeichen:** PCT/EP94/03190

(22) **Internationales Anmeldedatum:** 24. September 1994 (24.09.94)

(30) **Prioritätsdaten:**
P 43 33 501.2 1. Oktober 1993 (01.10.93) DE

(71) **Anmelder** *(für alle Bestimmungsstaaten ausser US)*: UNIVERSITÄT STUTTGART INSTITUT FÜR STRAHLWERKZEUGE [DE/DE]; Pfaffenwaldring 43, D-70569 Stuttgart (DE).

(72) **Erfinder; und**
(75) **Erfinder/Anmelder** *(nur für US)*: DAUSINGER, Friedrich [DE/DE]; Steinenhauserstrasse 18, D-70193 Stuttgart (DE). GRIEBSCH, Jürgen [DE/DE]; Jakobstrasse 25, D-71144 Steinenbronn (DE). HACK, Rüdiger [DE/DE]; Nikolausstrasse 2, D-73265 Dettingen (DE).

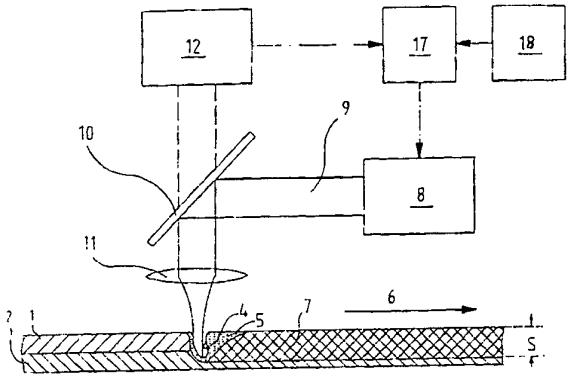
(74) **Anwälte:** OSTERTAG, Ulrich usw.; U. und R. Ostertag, Eibenweg 10, D-70597 Stuttgart (DE).

(81) **Bestimmungsstaaten:** CA, US, europäisches Patent (AT, BE, CH, DE, DK, ES, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).

Veröffentlicht
Mit internationalem Recherchenbericht.

(54) **Title:** PROCESS AND DEVICE FOR DETERMINING THE MOMENTARY AND MAINTAINING THE DESIRED DEPTH OF PENETRATION OF A MACHINING LASER BEAM INTO A WORKPIECE

(54) **Bezeichnung:** VERFAHREN ZUR BESTIMMUNG DER MOMENTANEN UND HERBEIFÜHRUNG EINER GEWÜNSCHTEN EINDRINGTIEFE EINES BEARBEITUNGSLASERSTRAHLES IN EIN WERKSTÜCK SOWIE VORRICHTUNG ZUR DURCHFÜHRUNG DIESES VERFAHRENS



(57) **Abstract**

The depth of penetration of a machining laser beam (9) into a workpiece (1, 2) is continuously monitored in that a measuring laser beam (9) is directed on the vapour capillary (4) generated in the workpiece by the machining laser beam. The reflected proportion of the measuring beam (9) is monitored by a sensor (12), the output signal of which is used to maintain (drilling) or adjust (welding or surface melting of a workpiece) the desired depth of penetration defined by a preset reference signal (18).

(57) **Zusammenfassung**

Die Eindringtiefe eines Bearbeitungslaserstrahles (9) in ein Werkstück (1, 2) wird dadurch kontinuierlich überwacht, daß ein Meßlaserstrahl (9) auf die Dampfkapillare (4) gerichtet wird, die vom Bearbeitungsslaserstrahl (9) im Werkstück erzeugt wird. Der reflektierte Anteil des Meßlaserstrahles (9) wird durch einen Sensor (12) überwacht, dessen Ausgangssignal dann zur Herbeiführung (Bohren) oder zum Einregeln (Schweißen oder oberflächliches Umschmelzen eines Werkstücks) der gewünschten, durch ein vorgewähltes Referenzsignal (18) definierten Eindringtiefe benutzt wird.

LEDIGLICH ZUR INFORMATION

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AT	Österreich	**GA**	Gabon	**MR**	Mauretanien
AU	Australien	**GB**	Vereinigtes Königreich	**MW**	Malawi
BB	Barbados	**GE**	Georgien	**NE**	Niger
BE	Belgien	**GN**	Guinea	**NL**	Niederlande
BF	Burkina Faso	**GR**	Griechenland	**NO**	Norwegen
BG	Bulgarien	**HU**	Ungarn	**NZ**	Neuseeland
BJ	Benin	**IE**	Irland	**PL**	Polen
BR	Brasilien	**IT**	Italien	**PT**	Portugal
BY	Belarus	**JP**	Japan	**RO**	Rumänien
CA	Kanada	**KE**	Kenya	**RU**	Russische Föderation
CF	Zentrale Afrikanische Republik	**KG**	Kirgisistan	**SD**	Sudan
CG	Kongo	**KP**	Demokratische Volksrepublik Korea	**SE**	Schweden
CH	Schweiz	**KR**	Republik Korea	**SI**	Slowenien
CI	Côte d'Ivoire	**KZ**	Kasachstan	**SK**	Slowakei
CM	Kamerun	**LI**	Liechtenstein	**SN**	Senegal
CN	China	**LK**	Sri Lanka	**TD**	Tschad
CS	Tschechoslowakei	**LU**	Luxemburg	**TG**	Togo
CZ	Tschechische Republik	**LV**	Lettland	**TJ**	Tadschikistan
DE	Deutschland	**MC**	Monaco	**TT**	Trinidad und Tobago
DK	Dänemark	**MD**	Republik Moldau	**UA**	Ukraine
ES	Spanien	**MG**	Madagaskar	**US**	Vereinigte Staaten von Amerika
FI	Finnland	**ML**	Mali	**UZ**	Usbekistan
FR	Frankreich	**MN**	Mongolei	**VN**	Vietnam

Verfahren zur Bestimmung der momentanen und Herbeiführung einer gewünschten Eindringtiefe eines Bearbeitungslaserstrahles in ein Werkstück sowie Vorrichtung zur Durchführung dieses Verfahrens

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bestimmung der momentanen und Herbeiführung einer gewünschten Eindringtiefe eines Bearbeitungslaserstrahles in ein Werkstück sowie eine Vorrichtung zur Durchführung dieses Verfahrens.

Laserstrahlen werden in unterschiedlichster Weise zur Bearbeitung von Werkstücken eingesetzt, so z.B. zum oberflächlichen Umschmelzen, zur Herstellung von Verbindungsschweißungen oder zum Einbringen von Bohrungen. In all diesen Fällen ist es von großer Bedeutung, die Eindringtiefe des Laserstrahles in das Werkstück zu erfasssen und sicherzustellen, daß diese den gewünschten Wert erreicht und ggf. konstant beibehält. Bei Verbindungsschweißungen ist dies beispielsweise deshalb wichtig, weil einerseits die Schweißschmelze tief genug in die miteinander zu verbindenden Teile hineinreichen muß, damit eine zuverlässige Vereinigung der Teile erzielt wird, weil aber andererseits die Schweißung auch nicht aus dem untenliegenden Teil austreten soll, was zur Beschädigung von Sichtoberflächen führen könnte. Dies gilt beispielsweise bei der Schweißverbindung von Blechen, die als Karosserieteile beim Automobilbau Verwendung finden.

Bisher wurde die richtige Eindringtiefe beim Laserschweißen

im wesentlichen stichprobenartig durch Herstellung von Schliffbildern an fertiggestellten Werkstücken kontrolliert. Dieses Verfahren ist jedoch verhältnismäßig aufwendig, da eine nicht ausreichende oder zu große Eindringtiefe erst festgestellt wird, wenn bereits Ausschuß erzeugt wurde.

Aus der DE-OS 37 10 816 ist ein Verfahren bekannt, bei welchem die Qualität eines Laser-Bearbeitungsvorganges an einem Werkstück durch Beobachtung des am Werkstück reflektierten Laserlichtes überwacht wird. Zwischen der Eindringtiefe des Laserstrahles und dem reflektierten Laserstrahlanteil wird hier jedoch keine Beziehung hergestellt; unregelmäßige Veränderungen in der Intensität des reflektierten Laserlichtes werden einfach als Abweichungen von den gewünschten Betriebsbedingungen des Bearbeitungslaserstrahles interpretiert.

In der EP-A-0 299 702 ist ein Verfahren beschrieben, bei welchem die Tiefe einer durch einen Laserstrahl erzeugten Bohrung in einer Laminatstruktur durch die in der Bohrung reflektierte Laserstrahlung überwacht wird. Hierbei wird aber ausschließlich das unterschiedliche Reflexionsvermögen der verschiedenen in der Laminatstruktur enthaltenen Materialien ausgenutzt; die plötzliche Veränderung des reflektierten Laserlichtanteiles wird mit dem Erreichen einer neuen Grenzschicht innerhalb des Laminates identifiziert. Dieses bekannte Verfahren eignet sich nicht zur Überwachung der Eindringtiefe eines Laserstrahles in einem homogenen Werkstoff.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, ein Verfahren der eingangs genannten Art so auszugestalten, daß auch in homogenen Materialien die Eindringtiefe kontinuierlich während des Bearbeitungsprozesses überwacht und an den

gewünschten Wert herangeführt werden kann.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß

a) ein Meßlaserstrahl auf die vom Bearbeitungslaserstrahl im Werkstück erzeugte Dampfkapillare gerichtet wird;

b) der prozentuale Anteil des am Werkstück reflektierten Meßlaserstrahles ermittelt wird;

c) die pro Zeiteinheit in das Werkstück durch den Bearbeitungslaserstrahl eingekoppelte Energie in Abhängigkeit von dem im Schritt b ermittelten prozentualen Anteil des am Werkstück reflektierten Meßlaserstrahles beeinflußt wird.

Das erfindungsgemäße Verfahren beruht auf der Erkenntnis, daß es eine eindeutige funktionale Beziehung zwischen dem prozentualen Anteil eines auf die Dampfkapillare gerichteten Laserstrahles, der reflektiert wird, und der Eindringtiefe des Laserstrahles, also der Tiefe der Dampfkapillare, gibt. Diese funktionale Beziehung beruht höchstwahrscheinlich auf dem Mechanismus der Mehrfachreflexionen innerhalb der Dampfkapillare; nach diesem Modell lassen sich Kurven errechnen, welche die Beziehung zwischen dem prozentualen reflektierten Anteil des Laserstrahles und dem Aspekt, also dem Verhältnis zwischen Tiefe und Fläche der Bohrung, widerspiegeln. Derartige Kurven lassen sich auch experimentell durch entsprechende Versuche ermitteln, bei denen jeweils punktweise bei einem bestimmten Aspekt der reflektierte Laserstrahlanteil ermittelt wird.

Im einfachsten Falle wird zur Erzeugung des Bearbeitungslaserstrahles und des Meßlaserstrahles derselbe Laser verwendet. Es versteht sich ohne weiteres, daß hier der

apparative Aufbau am wenigsten aufwendig und die Kosten am kleinsten sind. Allerdings hat diese Variante des erfindungsgemäßen Verfahrens folgenden Nachteil: Aus Ökonomiegründen sollte die vom Bearbeitungslaser bereitgestellte Energie zu einem möglichst hohen Prozentsatz (über 90%) in das Werkstück eingekoppelt werden. Bei dieser für die Effizienz des Verfahrens wichtigen hohen Einkopplung des Bearbeitungslaserstrahles ist allerdings die charakteristische Kurve, welche den Zusammenhang zwischen Tiefe der Dampfkapillare und reflektiertem Anteil des Laserstrahles herstellt, verhältnismäßig flach; die Bestimmung der Eindringtiefe ist somit verhältnismäßig unempfindlich.

Genügt daher in bestimmten Anwendungsfällen die Empfindlichkeit des Meßverfahrens bei Verwendung eines einzigen Lasers nicht, so kann von dem physikalischen Phänomen Gebrauch gemacht werden, daß die charakteristischen Kurven umso langsamer in einen flachen Bereich übergehen, umso größer die Wellenlänge des zur Messung verwendeten Laserstrahles ist. Dann empfiehlt sich somit eine Verfahrensvariante, bei welcher zur Erzeugung des Bearbeitungslaserstrahles und des Meßlaserstrahles zwei unterschiedliche Laser verwendet werden, wobei die Wellenlänge des Meßlaserstrahles größer als diejenige des Bearbeitungslaserstrahles ist. Der Meßlaserstrahl kann so unabhängig von dem auf höchstmöglichen Wirkungsgrad eingestellten Bearbeitungslaser in einer Weise betrieben werden, bei welcher die Meßempfindlichkeit hoch ist.

Das erfindungsgemäße Verfahren kann beispielsweise dazu eingesetzt werden, in einem Werkstück eine Bohrung mit einer bestimmten Tiefe zu erzielen. Dann sieht seine Ausgestaltung so aus, daß

a) in einem Vorversuch ermittelt wird, welcher prozentuale

Anteil des Meßlaserstrahles bei der gewünschten Tiefe der Bohrung am Werkstück reflektiert wird;

b) während der Herstellung der Bohrung durch den Bearbeitungslaserstrahl bei stillstehendem Werkstück kontinuierlich der reflektierte Anteil des Meßlaserstrahles überwacht wird und der Bearbeitungslaserstrahl unterbrochen wird, wenn der reflektierte Anteil des Meßlaserstrahles den im Vorversuch ermittelten Wert erreicht hat.

Mit wachsender Tiefe der Bohrung sinkt der reflektierte Anteil des Meßlaserstrahles, bis er dann bei Erreichen der Solltiefe dem vorher bestimmten Sollwert entspricht.

Das erfindungsgemäße Verfahren läßt sich auch dazu verwenden, ein Werkstück bis zu einer bestimmten Tiefe aufzuschmelzen oder eine Schweißung in einem Werkstück bis zu einer bestimmten Tiefe einzubringen. Dann zeichnet sich das erfindungsgemäße Verfahren dadurch aus, daß

a) in einem Vorversuch ermittelt wird, welcher prozentuale Anteil des Meßlaserstrahles bei der gewünschten Tiefe der Schmelze am Werkstück reflektiert wird;

b) während der Herstellung der Schmelze durch den Bearbeitungslaserstrahl bei einer Relativbewegung zwischen Bearbeitungslaserstrahl und Werkstück kontinuierlich der reflektierte Anteil des Meßlaserstrahles überwacht wird und Abweichungen zwischen dem momentanen reflektierten Anteil des Meßlaserstrahles und dem im Vorversuch ermittelten Wert durch Nachführen der in das Werkstück durch den Bearbeitungslaserstrahl pro Zeiteinheit eingekoppelten Energie ausgeregelt werden.

Bei dieser Verfahrensvariante ist also eine echte Regelschleife vorgesehen, welche kontinuierlich dafür sorgt, daß die Schmelztiefe während der Bewegung des Werkstückes immer dem gewünschten Sollwert entspricht.

Bei einer Ausgestaltung dieses Verfahrens erfolgt die Regelung durch Veränderung der mittleren Leistung des Bearbeitungslaserstrahles.

Alternativ ist es auch möglich, diese Regelung durch Veränderung der Relativgeschwindigkeit zwischen Bearbeitungslaserstrahl und Werkstück vorzunehmen. Soll die pro Zeiteinheit eingekoppelte Energie des Bearbeitungslaserstrahles reduziert werden, so wird die Relativgeschwindigkeit zwischen Werkstück und Laserstrahl erhöht; zur Vergrößerung der pro Zeiteinheit in das Werkstück eingekoppelten Energie des Bearbeitungslaserstrahles wird umgekehrt die Relativgeschwindigkeit zwischen Bearbeitungslaserstrahl und Werkstück erniedrigt.

Schließlich ist es auch möglich, daß die Regelung durch Defokussierung des Bearbeitungslaserstrahles erfolgt.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es außerdem, eine Vorrichtung zur Durchführung der oben geschilderten Verfahren zu schaffen, mit welcher kontinuierlich die Eindringtiefe des Laserstrahles erfaßt und an einen gewünschten Wert herangeführt werden kann.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß bei einer Vorrichtung mit

a) mindestens einem Laser, der einen Bearbeitungslaserstrahl erzeugt, welcher in dem bearbeiten Werkstück eine Dampfkapillare erzeugt;

b) einer Steuereinheit, mit welcher die pro Zeiteinheit durch den Bearbeitungslaserstrahl in das Werkstück eingekoppelten Energie veränderbar ist,

dadurch gelöst, daß sie umfaßt:

c) einen Sensor, welcher den am Werkstück im Bereich der Dampfkapillare reflektierten Anteil eines Meßlaserstrahles umfaßt und ein entsprechendes Ausgangssignal erzeugt;

d) eine Referenzsignalquelle, welche ein Referenzsignal erzeugt, das dem bei einer gewünschten Eindringtiefe des Bearbeitungslaserstrahles reflektierten Anteil des Meßlaserstrahles entspricht;

e) einen Komparator, welcher das Ausgangssignal des Sensors mit dem Referenzsignal vergleicht und ein die Steuereinheit beaufschlagendes Ausgangssignal abgibt.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung beruht auf denselben physikalischen Prinzipien, die oben bereits für das erfindungsgemäße Verfahren erläutert wurden. Auch die Vorteile der erfindungsgemäßen Vorrichtung stimmen sinngemäß mit den oben beschriebenen Vorteilen des erfindungsgemäßen Verfahrens überein.

Die apparativ einfachste und kostengünstigste Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Vorrichtung ist die, bei welcher ein einziger Laser vorgesehen ist, dessen Strahl sowohl als Bearbeitungs- als auch als Meßlaserstrahl dient.

Die Meßgenauigkeit kann aus den oben schon erläuterten Gründen durch eine Vorrichtung verbessert werden, bei

welcher zwei unterschiedliche Laser vorgesehen sind, von denen der erste den Bearbeitungslaserstrahl und der zweite den Meßlaserstrahl erzeugt, wobei die Wellenlänge des Meßlaserstrahles größer als diejenige des Bearbeitungslaserstrahles ist.

Grundsätzlich ist es gleichgültig, woher das Referenzsignal stammt, sofern es nur in der Lage ist, einen Sollwert für die Eindringtiefe zu repräsentieren. Im einfachsten Falle könnte es sich bei der Referenzsignalquelle um eine Spannungsquelle handeln, deren abgegebene Spannung empirisch auf den gewünschten Wert eingestellt wird.

Bei einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung umfaßt die Referenzsignalquelle einen Speicher, in welchem ein in einem Vorversuch ermittelter Wert ablegbar ist, welcher dem reflektierten Anteil des Meßlaserstrahles bei einer gewünschten Eindringtiefe des Bearbeitungslaserstrahles entspricht.

Dieses Konstruktionsprinzip kann so weit geführt werden, daß in dem Speicher eine Kurve abgelegt ist, welche die funktionale Beziehung zwischen der Eindringtiefe des Bearbeitungslaserstrahles und dem reflektierten Anteil des Meßlaserstrahles wiedergibt. Es ist dann nach entsprechender Eichung durch Vorversuche möglich, aus dem Speicher jeweils denjenigen Punkt der Kurve abzurufen, der einer im Einzelfall gewünschten Eindringtiefe des Lasers entspricht.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung kann zur Herstellung von Bohrungen eingesetzt werden. Sie wird dann so gestaltet, daß

a) das Werkstück gegenüber dem Bearbeitungslaserstrahl

fest positioniert ist;

b) der Komparator ein Ausgangssignal abgibt, wenn das Ausgangssignal des Sensors dem Referenzsignal entspricht;

c) die Steuereinheit den Bearbeitungslaser bei Empfang des Ausgangssignales des Komparators unterbricht.

Großen Einsatzbereich finden auch solche Vorrichtungen, mit welchen das Werkstück bis zu einer bestimmten Tiefe aufschmelzbar ist oder eine Schweißung in ein Werkstück bis zu einer gewissen Tiefe einbringbar ist. Derartige Vorrichtungen zeichnen sich dadurch aus, daß

a) eine Einrichtung vorgesehen ist, welche eine Relativbewegung zwischen dem Werkstück und dem Bearbeitungslaserstrahl erzeugt;

b) der Komparator ein Ausgangssignal abgibt, welches für die Abweichung zwischen dem Ausgangssignal des Sensors und dem Referenzsignal repräsentativ ist;

c) die Steuereinheit eine Regeleinrichtung umfaßt, welche durch Veränderung der in das Werkstück pro Zeiteinheit durch den Bearbeitungslaserstrahl eingekoppelten Energie das Ausgangssignal des Komparators auf Null zurückführt.

Die Veränderung der mittleren eingekoppelten Energie kann in drei unterschiedlichen Arten erfolgen:

Entweder beeinflußt die Steuereinheit die Geschwindigkeit der Relativbewegung zwischen Werkstück und Bearbeitungsstrahl oder die Steuereinheit beeinflußt die Leistung des

Bearbeitungslaserstrahles. Die dritte Möglichkeit besteht darin, daß die Steuereinheit die Fokussierung des Bearbeitungslaserstrahles beeinflußt.

Ausführungsbeispiele der Erfindung werden nachfolgend anhand der Zeichnung näher erläutert; es zeigen

Figur 1: einen Schnitt durch zwei übereinanderliegende Bleche während ihrer Verschweißung durch einen Bearbeitungslaserstrahl;

Figur 2: charakteristische Kurven, welche die Abhängigkeit des Einkopplungsgrades der Laserenergie (in Prozent) vom Aspekt der durch den Bearbeitungslaserstrahl erzeugten Dampfkapillare darstellen;

Figur 3: schematisch ein erstes Ausführungsbeispiel einer Vorrichtung zum Schweißen zweier Bleche;

Figur 4: ein zweites Ausführungsbeispiel einer Vorrichtung zum Schweißen zweier Bleche.

In Figur 1 sind zwei übereinanderliegende Bleche 1, 2 im Schnitt dargestellt. Durch einen im wesentlichen senkrecht auf das obere Blech 1 auffallenden Bearbeitungslaserstrahl 3 bildet sich im Material der Bleche 1, 2 eine Dampfkapillare 4 mit einem bestimmten Durchmesser df. Die Dampfkapillare 4 reicht durch das Blech 1 vollständig, durch das Blech 2 jedoch nur teilweise hindurch. Sie ist von einer Schmelze 5 umgeben.

Die übereinanderliegenden Bleche 1 und 2 werden im Sinne des Pfeiles 6 unter dem Bearbeitungslaserstrahl 3 hindurch-

bewegt. Die Tiefe s der Schmelze 5, gemessen von der Oberseite des oberen Bleches 1, ist nur geringfügig größer als die Tiefe der Dampfkapillare 4; sie kann dieser also annähernd gleichgesetzt werden.

In einer gewissen Entfernung vom Laserstrahl 3 beginnt die Schmelze 5 zu erstarren; das erstarrte Material ist in Figur 1 mit einer Kreuzschraffur gekennzeichnet und mit dem Bezugszeichen 7 versehen.

In der Praxis ist es wichtig, einerseits für eine ausreichende Schweißtiefe s zu sorgen, damit die beiden Bleche 1, 2 zuverlässig miteinander verbunden sind. Andererseits darf die Schweißung nicht an der unteren Fläche des unteren Bleches 2 austreten, da sonst die Oberflächenqualität des aus den beiden Blechen 1, 2 erzeugten Werkstückes leiden würde. Mit anderen Worten: es muß zuverlässig dafür gesorgt werden, daß die Schweißtiefe s sicher größer als die Dicke d_1 des Bleches 1 aber auch zuverlässig kleiner als die Summe der Dicken $d_1 + d_2$ der Bleche 1 und 2 ist.

Um dies in der Praxis zu gewährleisten, wird von folgenden physikalischen Überlegungen Gebrauch gemacht:

Die Energieeinkopplung des Bearbeitungslaserstrahles 3 in das Material der Bleche 1 und 2 ist eine Funktion des Aspektes, also des Verhältnisses s/df, der Dampfkapillare 4. Unter der Annahme, daß die Abhängigkeit der Energieeinkopplung vom Aspekt auf einer Mehrfachreflexion des Laserstrahles 3 in der Dampfkapillare 4 beruht, läßt sich die Energieeinkopplung als Funktion des Aspektes berechnen; es ergeben sich Kurven, wie sie in Figur 2 qualitativ für zwei unterschiedliche Wellenlängen $_1$ und $_2 > _1$ dargestellt sind. Diese Kurven zeichnen sich sämtliche dadurch aus, daß die in das Material des Werkstückes

eingekoppelte Energie mit wachsendem Aspekt zunächst stark ansteigt, dann aber umbiegt und sich im wesentlichen asymptotisch der 100-Prozent-Linie nähert. Die Steilheit dieses Anstieges ist (bei im übrigen unveränderten Parametern) von dem Absorptionsgrad, also u.a. von der Wellenlänge des Laserlichtes abhängig: Bei größeren Wellenlängen erfolgt der Anstieg der Kurve und die Annäherung an die horizontale Asymptote langsamer.

Die in Figur 2 gezeigten Kurven für die Energieeinkopplung lassen sich auch als Kurven lesen, welche den jeweils reflektierten Anteil der Laserenergie zeigen: Eingekoppelte und reflektierte Energie ergänzen sich jeweils zu 100 %. Dies macht deutlich, daß sich durch Messung des prozentualen Anteils der am Werkstück reflektierten Laserenergie Aussagen über die Tiefe der Dampfkapillare 4 und damit im wesentlichen über die Tiefe s der Schmelze 5 gewinnen lassen.

Zur praktischen Verwertung der oben geschilderten Erkenntnisse können für das jeweils verwendete Material und den zum Einsatz kommenden Laser Kurven, wie sie in Figur 2 dargestellt sind, experimentell aufgenommen werden. Verschiedene Proben des zu schweißenden Materials werden unterschiedlich tief aufgeschmolzen und der reflektierte Anteil des Laserlichtes wird registriert. Die Schmelztiefe s wird quantitativ jeweils durch ein Schliffbild bestimmt. Auf diese Weise lassen sich für jeden konkreten Anwendungsfall quantitative Kurven, entsprechend der Figur 2, punktweise ermitteln.

In Figur 3 ist ein erstes Ausführungsbeispiel einer Vorrichtung dargestellt, mit welcher eine geregelte Schweißtiefe erzielt werden kann. Die Vorrichtung umfaßt einen Laser 8, dessen Laserstrahl 9 über einen Strahlteiler

10 (teildurchlässiger Spiegel) und eine Fokussieroptik 11 auf das die beiden Bleche 1 und 2 umfassende Werkstück gerichtet wird. Der fokussierte Laserstrahl 9 erzeugt in den Blechen 1, 2 eine von einer Schmelze 5 umgebene Dampfkapillare 4, wie dies in Figur 1 dargestellt ist und oben erläutert wurde. Beim Verfahren des aus den Blechen 1, 2 gebildeten Werkstückes in Richtung des Pfeiles 6 entsteht so eine durch das erstarrte Material 7 gebildete Verschweißung, deren Tiefe s ist.

Zum Einstellen und zum Konstanthalten dieser Schweißtiefe s wird ausgenutzt, daß die prozentuale Energieeinkopplung des Laserstrahles 9 in die Bleche 1 und 2 eine Funktion der Schweißtiefe s ist, wie sie zuvor experimentell ermittelt und als Kurve entsprechend der Figur 2 in einem Speicher 18 abgelegt wurde. Die der jeweiligen prozentualen Energieeinkopplung entsprechende reflektierte Intensität des Laserstrahles wird durch einen Sensor 12 ermittelt, der hinter dem teildurchlässigen Spiegel 10 in der rückwärtigen Verlängerung des auf das Werkstück auffallenden Laserstrahles 9 angeordnet ist. Das Ausgangssignal des Sensors 12, welches proportional der reflektierten Laserintensität ist, wird einem Komparator 17 zugeführt und dort mit demjenigen Wert der im Speicher 18 abgelegten Kurve verglichen, welcher der gewünschten Schweißtiefe s entspricht.

Das Ausgangssignal des Komparators 17 wird der Steuereinheit des Lasers 8 zugeführt, mit welcher sich die Laserausgangsleistung verändern läßt.

Die Funktionsweise der in Figur 3 dargestellten Vorrichtung ist also wie folgt:

Die z.B. auf einen Koordinatentisch aufgespannten Bleche

1 und 2 werden unterhalb der Vorrichtung im Sinne des Pfeiles 6 vorwärtsbewegt, wobei der Laserstrahl 9 das Material der Bleche 1 und 2 aufschmilzt und eine Schweißnaht aus erstarrtem Material 7 zurückläßt. Während der Schweißung wird durch den Sensor 12 der prozentuale Anteil der reflektierten Laserenergie festgestellt. Ist dieser größer als der dem Sollwert der Schweißtiefe s entsprechende, in der Steuerung 8 abgelegte Wert der Kurve, so bedeutet dies, daß zu wenig Energie des Laserstrahles in das Werkstück eingekoppelt wird, die Dampfkapillare 4 und somit die Schweißtiefe 6 also zu gering ist. Durch Erhöhung der Leistung des Lasers 8 oder durch Verringerung der Vorschubgeschwindigkeit des Werkstückes wird nunmehr die Energieeinkopplung erhöht, bis die gewünschte Schweißtiefe s erreicht ist. Dann entspricht das Ausgangssignal des Sensors 12 dem in dem Speicher 18 abgespeicherten Sollwert. Veränderungen der mittleren Laserleistung oder der Vorschubgeschwindigkeit finden nun nicht mehr statt.

Wenn umgekehrt das Ausgangssignal des Sensors 12 kleiner als derjenige Wert der in dem Speicher 18 abgelegten Kurve ist, welcher der gewünschten Schweißtiefe s entspricht, so bedeutet dies, daß zu viel Energie des Laserstrahles 9 in das Werkstück eingekoppelt wird, daß also die Schweißtiefe s zu groß ist. Die Energieeinkopplung in der Zeiteinheit durch den Laserstrahl 9 wird nunmehr verringert, beispielsweise durch Erniedrigung der Laserleistung oder durch Erhöhung der Vorschubgeschwindigkeit des Werkstückes, bis durch die so bewirkte Reduktion der Energieeinkopplung das Ausgangssignal des Sensors 12 wieder dem Sollwert auf der in dem Speicher 14 abgespeicherten Kurve entspricht.

Selbstverständlich ist aus Gründen der Energieeinsparung eine möglichst vollständige Einkopplung der Laserenergie in das Werkstück wünschenswert. Betrachtet man in diesem

Zusammenhang die charakteristischen Kurven der Energieeinkopplung als Funktion des Aspektes, wie sie in Figur 2 dargestellt sind, so stellt man fest, daß in dem wünschenswerten Bereich hoher Energieeinkopplung der Kurvenverlauf verhältnismäßig flach ist. Mit anderen Worten: Unter ungünstigen Umständen kann der reflektierte Anteil des Laserstrahles eine verhältnismäßig unempfindliche Funktion der Schweißtiefe s sein. In diesem Falle empfiehlt sich eine Vorrichtung, wie sie in Figur 4 dargestellt ist. Diese Vorrichtung entspricht in vielerlei Hinsicht derjenigen, die oben anhand der Figur 3 schon erläutert wurde; entsprechende Teile sind daher mit demselben Bezugszeichen zuzüglich 100 gekennzeichnet,

Auch bei dem in Figur 4 dargestellten zu bearbeitenden Werkstück handelt es sich um zwei übereinanderliegende Bleche 101, 102, die im Sinne des Pfeiles 106 vorwärtsbewegt werden. Ein erster Laser 108, nachfolgend "Bearbeitungslaser" genannt, sendet einen ersten Laserstrahl 109, nachfolgend "Bearbeitungslaserstrahl" genannt, aus. Der Bearbeitungslaserstrahl 109 wird durch einen ersten Strahlteiler (teildurchlässigen Spiegel) 110 um 90° umgelenkt, so daß er etwa senkrecht auf das obere Blech 101 auftrifft. Zwischen dem ersten Strahlteiler 110 und der Werkstückoberfläche befindet sich wiederum eine Fokussieroptik 111.

Der Bearbeitungslaserstrahl 109 erzeugt in den Blechen 101 und 102 eine Dampfkapillare 104, die von einer Schmelze 105 umgeben ist, und hinterläßt beim Verfahren des Werkstückes eine aus erstarrtem Material 107 gebildete Schweißnaht, genauso, wie dies beim Ausführungsbeispiel von Figur 3 der Fall war.

Senkrecht oberhalb des aus den Blechen 101 und 102 gebil-

deten Werkstückes ist ein zweiter Laser 113 angeordnet, der nachfolgend "Meßlaser" genannt wird. Der Meßlaser 113 sendet einen zweiten Laserstrahl 114 aus, der nachfolgend "Meßlaserstrahl" genannt wird, und dessen Wellenlänge $_2$ größer als die Wellenlänge $_1$ des Bearbeitungslaserstrahles 109 ist. Der Meßlaserstrahl 114 durchsetzt einen zweiten unter einem Winkel von etwa 45° angestellten Strahlteiler 115, den ersten Strahlteiler 110 und wird von der Fokussieroptik 111 in derselben Weise auf die Dampfkapillare 104 abgebildet wie der Bearbeitungslaserstrahl 109 auch. Das heißt, der Meßlaserstrahl 114 "sieht" am Werkstück dieselben geometrischen Verhältnisse wie der Bearbeitungslaserstrahl 109.

Für die prozentuale Energieeinkopplung des Meßlaserstrahles 114 in das aus den Blechen 101 und 102 bestehende Werkstück gilt nun eine charakteristische Kurve, die erheblich langsamer ansteigt als diejenige des Bearbeitungslaserstrahles 109, wie dies qualitativ der Figur 2 zu entnehmen ist. Der Meßlaser 113, dessen Leistung sehr viel geringer als diejenige des Schweißlasers 108 sein kann, läßt sich daher in einem Bereich der charakteristischen Kurve betreiben, in welchem die Veränderung der Energieeinkopplung mit der Schweißtiefe s noch verhältnismäßig stark ist, der prozentuale reflektierte Anteil des Meßlaserstrahles 114 also ein sensibles Meßinstrument für die Schweißtiefe s ist.

Hierzu wird der von der Oberfläche des Werkstückes 101 reflektierte Anteil des Meßlaserstrahles 114 über den zweiten Strahlteiler 115 um etwa 90° umgelenkt und auf einen Sensor 112 gegeben. Dem Sensor 112 ist ein Filter 116 vorgeschaltet, welches für die Wellenlänge des Schweißlasers 108 undurchlässig ist, so daß der Sensor 112 auf reflektierte Strahlungsanteile des Bearbeitungslaserstrah-

les 109 nicht anspricht.

Der Sensor 112 erzeugt ein Ausgangssignal, welches dem prozentualen Anteil des an dem oberen Blech 101 reflektierten Meßlaserstrahles 114 entspricht. Dieses Ausgangssignal wird einem Komparator 117 zugeführt. In einem Speicher 118 ist die zuvor experimentell ermittelte charakteristische Kurve für den Meßlaser 113 (entsprechend der Figur 2) abgespeichert. Er ist mit dem zweiten Eingang des Komparators 117 verbunden, dessen Ausgangssignal der Steuereinheit des Bearbeitungslaser 109 zugeführt wird.

Die Funktionsweise der in Figur 4 dargestellten Vorrichtung entspricht derjenigen, die oben anhand der Figur 3 dargestellt wurde. Der einzige Unterschied besteht darin, daß das zur Nachregelung der Schweißtiefe s benutzte Signal das Ausgangssignal eines gesonderten Meßlasers 113 und nicht das Ausgangssignal des Bearbeitungslasers 108 selbst ist. Im übrigen spielen sich die Regelvorgänge ebenso ab, wie dies oben beschrieben wurde.

Bei der obigen Beschreibung der Ausführungsbeispiele nach den Figuren 3 und 4 wurde davon ausgegangen, daß eine vollständige, experimentell ermittelte charakteristische Kurve für den jeweiligen Anwendungsfall in dem Speicher 18 bzw. 118 abgespeichert ist. Hierdurch wird es möglich, die Schweißtiefe an einer Schalttafel der Vorrichtung vorzuwählen, beispielsweise direkt in Millimetern einzugeben. Dies ist überall dort besonders vorteilhaft, wo die Schweißtiefe häufig verändert werden muß. Sofern jedoch an einer Vorrichtung die Schweißtiefe über längere Zeit konstant bleibt, kann auch eine vereinfachte Steuerung eingesetzt werden: In diesem Falle wird in dem Speicher 18 bzw. 118 nicht eine vollständige Kurve abgespeichert und zum Vergleich mit dem Ausgangssignal des Sensors 12

bzw. 112 herangezogen. Vielmehr genügt es, hier eine von Hand einstellbare Spannung als Referenzsignal vorzugeben, das mit dem Ausgangssignal des Sensors 12 bzw. 112 verglichen wird und dessen Wert nicht unbedingt quantitativ mit der Schweißtiefe s korreliert zu sein braucht. Der für das jeweilige Werkstück und die sonstigen Vorrichtungs- und Verfahrensparameter geeignete Wert der vorwählbaren Spannung wird einfach experimentell bestimmt, indem der zur richtigen Schweißtiefe s gehörende Wert dieses vorwählbaren Referenzsignals ermittelt wird. Die Vorrichtung orientiert sich dann an diesem voreingestellten Wert und hält die Schweißtiefe s entsprechend konstant.

Die oben erläuterten und in den Figuren 3 und 4 dargestellten Vorrichtungen können ohne weitere Änderung auch dazu eingesetzt werden, ein Werkstück oberflächlich umzuschmelzen, wobei eine definierte, voreinstellbare Umschmelztiefe s eingehalten wird. Das Werkstück kann hierzu auf einem mäanderförmigen Weg unter der Vorrichtung vorbeigeführt werden, so daß nach und nach sämtliche Oberflächenbereiche auf- und umgeschmolzen werden.

Mit einer geringfügigen Veränderung in der Logik der Steuerung, die in den Steuereinheiten der Bearbeitungslaser 8 bzw. 108 enthalten ist, lassen sich die Vorrichtungen nach den Figuren 3 und 4 auch zum Einbringen von Bohrungen mit einer bestimmten Tiefe s einsetzen. In diesem Falle wird das Werkstück während der Bearbeitung gegenüber der Vorrichtung nicht verschoben. Zu Beginn des Bohrvorganges ist die Tiefe der durch den Bearbeitungslaserstrahl 9 bzw. 109 hervorgerufenen Dampfkapillare noch gering, die prozentuale Energieeinkopplung also klein und der reflektierte Energieanteil des Meßlaserstrahles 9 bzw. 114 verhältnismäßig hoch. Das Ausgangssignal des Sensors 12 bzw. 112 der Vorrichtungen der Figuren 3 und 4 ist also

höher als ein in dem Speicher 18 bzw. 118 abgespeicherter Wert, welcher dem Sollwert der Bohrungstiefe entspricht. Mit zunehmendem Eindringen des Bearbeitungslaserstrahles 9 bzw. 109 in das Werkstück wird die Tiefe s der Dampfkapillare größer; entsprechend steigt die prozentuale Energieeinkopplung und verringert sich der reflektierte Energieanteil des Meßlaserstrahles 9 bzw. 114. Das Ausgangssignal des Sensors 12 bzw. 112 nähert sich also von oben her dem in dem Speicher 18 bzw. 118 abgespeicherten Wert, bis er diesen schließlich erreicht. In diesem Augenblick wird der Bearbeitungslaserstrahl unterbrochen; das Werkstück kann dann so verfahren werden, daß der Bearbeitungslaserstrahl nunmehr an einer anderen Stelle auftrifft, an welcher die nächste Bohrung eingebracht werden soll.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Bestimmung der momentanen und Herbeiführung einer gewünschten Eindringtiefe eines Bearbeitungslaserstrahles in ein Werkstück,

dadurch gekennzeichnet, daß

a) ein Meßlaserstrahl (9; 114) auf die vom Bearbeitungslaserstrahl (9; 109) im Werkstück (1, 2; 101, 102) erzeugte Dampfkapillare (4; 104) gerichtet wird;

b) der prozentuale Anteil des am Werkstück (1, 2; 101, 102) reflektierten Meßlaserstrahles ermittelt wird;

c) die pro Zeiteinheit in das Werkstück (1, 2; 101, 102) durch den Bearbeitungslaserstrahl (9; 109) eingekoppelte Energie in Abhängigkeit von dem im Schritt b ermittelten prozentualen Anteil des am Werkstück (1, 2; 101, 102) reflektierten Meßlaserstrahles (9; 114) beeinflußt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß zur Erzeugung des Bearbeitungslaserstrahles (9) und des Meßlaserstrahles (9) derselbe Laser (8) verwendet wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß zur Erzeugung des Bearbeitungslaserstrahles (109) und des Meßlaserstrahles (114) zwei unterschiedliche Laser (108, 113) verwendet werden, wobei die Wellenlänge des Meßlaserstrahles (114) größer als diejenige des Bearbei-

tungslaserstrahles (109) ist.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, bei welchem in einem Werkstück eine Bohrung mit einer bestimmten Tiefe erzielt wird, dadurch gekennzeichnet, daß

a) in einem Vorversuch ermittelt wird, welcher prozentuale Anteil des Meßlaserstrahles (9; 113) bei der gewünschten Tiefe der Bohrung am Werkstück (1, 2; 101, 102) reflektiert wird;

b) während der Herstellung der Bohrung durch den Bearbeitungslaserstrahl (9; 109) bei stillstehendem Werkstück (1, 2; 101, 102) kontinuierlich der reflektierte Anteil des Meßlaserstrahles (9; 114) überwacht wird und der Bearbeitungslaserstrahl (9; 109) unterbrochen wird, wenn der reflektierte Anteil des Meßlaserstrahles (9; 114) den im Vorversuch ermittelten Wert erreicht hat.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, bei welchem ein Werkstück bis zu einer bestimmten Tiefe aufgeschmolzen oder eine Schweißung in einem Werkstück bis zu einer bestimmten Tiefe eingebracht wird, dadurch gekennzeichnet, daß

a) in einem Vorversuch ermittelt wird, welcher prozentuale Anteil des Meßlaserstrahles (9; 113) bei der gewünschten Tiefe (5) der Schmelze (5; 105) am Werkstück (1, 2; 101, 102) reflektiert wird;

b) während der Herstellung der Schmelze (5; 105) durch den Bearbeitungslaserstrahl (9; 109) bei einer Relativbewegung zwischen Bearbeitungslaserstrahl (9; 109) und Werkstück (1, 2; 101, 102) kontinuierlich der reflektierte Anteil des Meßlaserstrahles (9; 114) über-

wacht wird und Abweichungen zwischen dem momentanen reflektierten Anteil des Meßlaserstrahles (9; 114) und dem im Vorversuch ermittelten Wert durch Nachführen der in das Werkstück (1, 2; 101, 102) durch den Bearbeitungslaserstrahl (9; 109) pro Zeiteinheit eingekoppelten Energie ausgeregelt werden.

6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Regelung durch Veränderung der Leistung des Bearbeitungslaserstrahles (9; 109) erfolgt.

7. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Regelung durch Veränderung der Relativgeschwindigkeit zwischen Bearbeitungslaserstrahl (9; 109) und Werkstück (1, 2; 101, 102) erfolgt.

8. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Regelung durch Defokussierung des Bearbeitungslaserstrahles (9, 109) erfolgt.

9. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach einem der vorhergehenden Ansprüche mit

a) mindestens einem Laser, der einen Bearbeitungslaserstrahl erzeugt, welcher in dem bearbeiteten Werkstück eine Dampfkapillare erzeugt;

b) einer Steuereinheit, mit welcher die pro Zeiteinheit durch den Bearbeitungslaserstrahl in das Werkstück eingekoppelte Energie veränderbar ist,

dadurch gekennzeichnet, daß sie umfaßt:

c) einen Sensor (12; 112), welcher den am Werkstück (1, 2; 101, 102) im Bereich der Dampfkapillare (4; 104)

reflektierten Anteil eines Meßlaserstrahles (9; 114) erfaßt und ein entsprechendes Ausgangssignal erzeugt;

d) eine Referenzsignalquelle (18; 118), welche ein Referenzsignal erzeugt, das dem bei einer gewünschten Eindringtiefe (s) des Bearbeitungslaserstrahles (9; 109) reflektierten Anteil des Meßlaserstrahles (9; 114) entspricht;

e) einen Komparator (17; 117), welcher das Ausgangssignal des Sensors (12; 112) mit dem Referenzsignal vergleicht und ein die Steuereinheit (8; 108) beaufschlagendes Ausgangssignal abgibt.

10. Vorrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß ein einziger Laser (8) vorgesehen ist, dessen Strahl (9) sowohl als Bearbeitungs- als auch als Meßlaserstrahl dient.

11. Vorrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß zwei unterschiedliche Laser (108, 113) vorgesehen sind, von denen der erste (108) den Bearbeitungslaserstrahl (109) und der zweite (113) den Meßlaserstrahl (114) erzeugt, wobei die Wellenlänge des Meßlaserstrahles (114) größer als diejenige des Bearbeitungslaserstrahles (109) ist.

12. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Referenzsignalquelle (18; 118) einen Speicher umfaßt, in welchem ein in einem Vorversuch ermittelter Wert ablegbar ist, welcher dem reflektierten Anteil des Meßlaserstrahles (9; 114) bei einer gewünschten Eindringtiefe des Bearbeitungslaserstrahles (9; 109) entspricht.

13. Vorrichtung nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet,

daß in dem Speicher (18; 118) eine Kurve abgelegt ist, welche die funktionale Beziehung zwischen der Eindringtiefe (s) des Bearbeitungslaserstrahles (9; 109) und dem reflektierten Anteil des Meßlaserstrahles (9; 114) wiedergibt.

14. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 13 zur Herstellung von Bohrungen, dadurch gekennzeichnet, daß

a) das Werkstück (1, 2; 101, 102) gegenüber dem Bearbeitungslaserstrahl (9; 109) fest positioniert ist;

b) der Komparator (17; 117) ein Ausgangssignal abgibt, wenn das Ausgangssignal des Sensors (12; 112) dem Referenzsignal entspricht;

c) die Steuereinheit (8; 108) den Bearbeitungslaserstrahl (9; 109) bei Empfang des Ausgangssignales des Komparators (17; 117) unterbricht.

15. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 13, mit welcher das Werkstück bis zu einer bestimmten Tiefe aufschmelzbar ist oder eine Schweißung in ein Werkstück bis zu einer gewissen Tiefe einbringbar ist, dadurch gekennzeichnet, daß

a) eine Einrichtung vorgesehen ist, welche eine Relativbewegung zwischen dem Werkstück (1, 2; 101, 102) und dem Bearbeitungslaserstrahl (9; 109) erzeugt;

b) der Komparator (17; 117) ein Ausgangssignal abgibt, welches für die Abweichung zwischen dem Ausgangssignal des Sensors (12; 112) und dem Referenzsignal repräsentativ ist;

c) die Steuereinheit (8; 108) eine Regeleinrichtung umfaßt, welche durch Veränderung der in das Werkstück (1, 2; 101, 102) pro Zeiteinheit durch den Bearbeitungslaserstrahl (9; 109) eingekoppelten Energie das Ausgangssignal des Komparators (17; 117) auf Null zurückführt.

16. Vorrichtung nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, daß die Steuereinheit (8; 108) die Geschwindigkeit der Relativbewegung zwischen Werkstück (1, 2; 101, 102) und Bearbeitungslaserstrahl (9; 109) beeinflußt.

17. Vorrichtung nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, daß die Steuereinheit (8; 108) die Leistung des Bearbeitungslaserstrahles (9; 109) beeinflußt.

18. Vorrichtung nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, daß die Steuereinheit (8; 108) die Fokussierung des Bearbeitungslasertrahles (9, 109) beeinflußt.

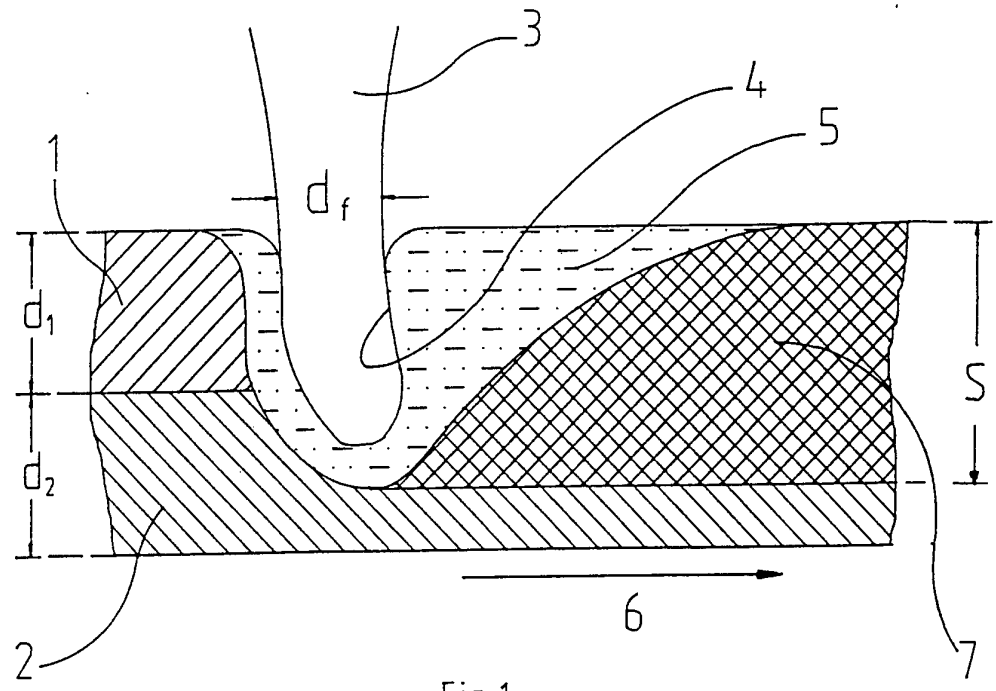

1
2
3
4
5
6
7
d_f
d_1
d_2
S

Fig.1

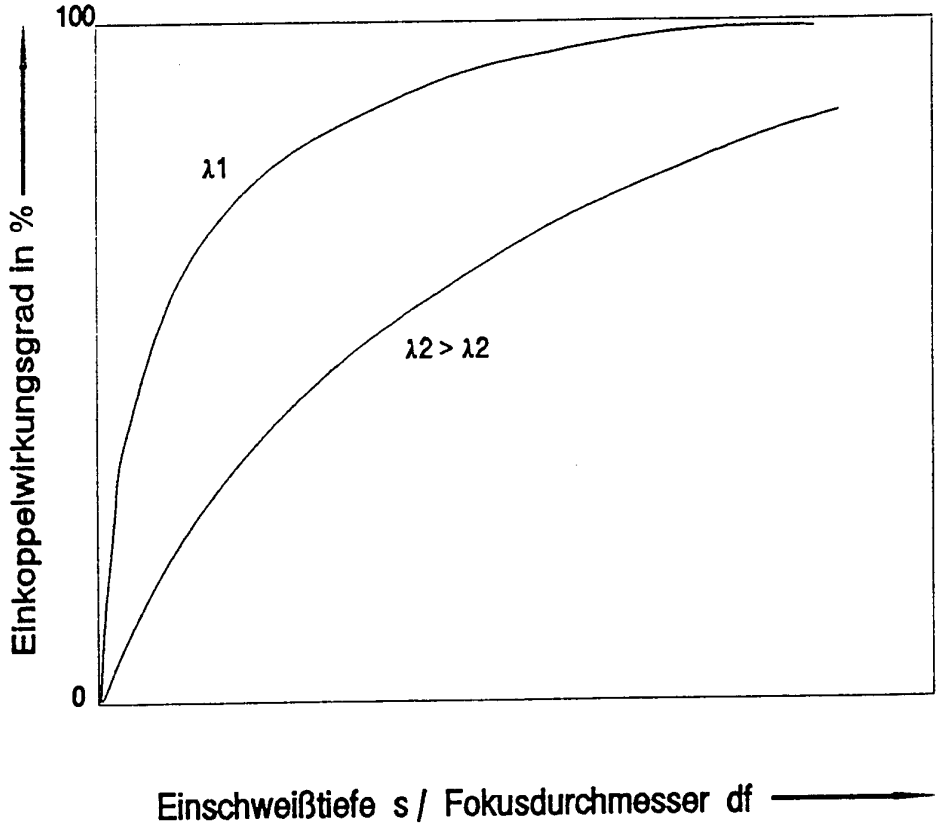

100
0
λ1
λ2 > λ2
Einkoppelwirkungsgrad in %
Einschweißtiefe s / Fokusdurchmesser df

Fig. 2

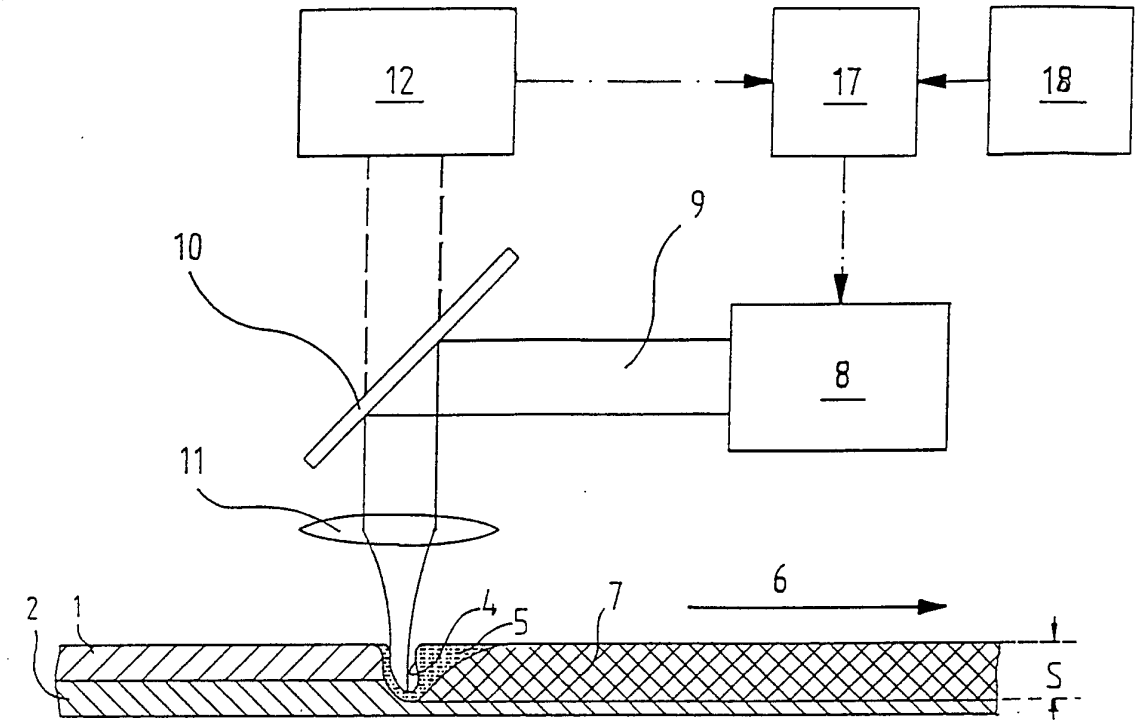

12
17
18
9
10
8
11
6
2
1
4
5
7
S

Fig.3

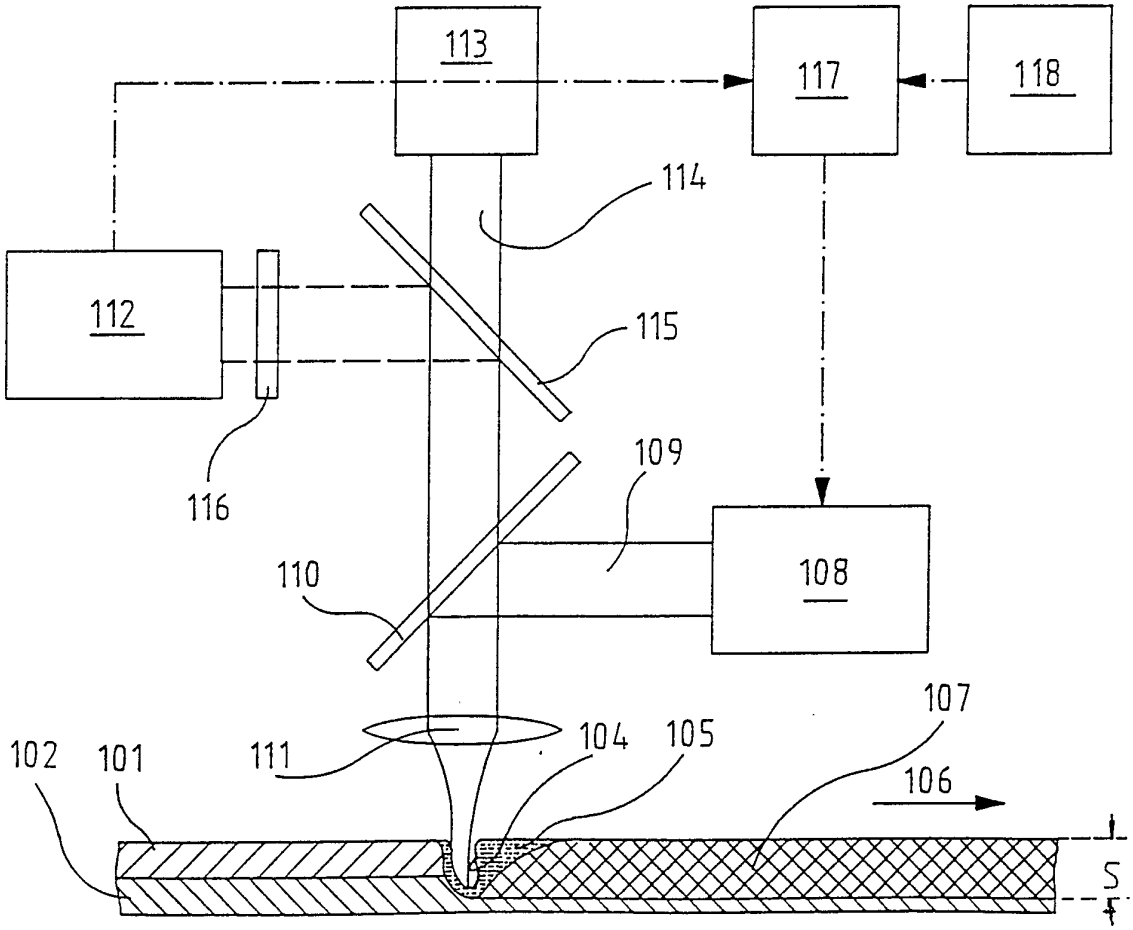

113
117
118
114
112
115
116
109
110
108
107
102
101
111
104
105
106
S

Fig.4

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Intern. ial Application No
PCT/EP 94/03190

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 6 B23K26/02

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)
IPC 6 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 practical, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category °	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X A	WO,A,92 14578 (FRAUNHOFFER-GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG E.V.) 3 September 1992 see the whole document ---	1,2 5-10,15
X	LASER UND OPTOELEKTRONIK., vol.21, no.3, June 1989, STUTTGART DE pages 69 - 72, XP49079 M. ALAVI 'Lichtemission während des Laserschweissprozesses' see the whole document ---	1,2,6,8
X	US,A,4 952 770 (KABUSHIKI KAISHA KOMATSU SEISAKUSHO) 28 August 1990 see the whole document --- -/--	1,2,5-7, 9,10, 15-17

[X] Further documents are listed in the continuation of box C.

[X] Patent family members are listed in 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 document 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

1

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
19 December 1994	14. 01. 95
Name and mailing address of the ISA European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016	Authorized officer Aran, D

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (July 1992)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Intern. ial Application No
PCT/EP 94/03190

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category °	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	DE,A,25 38 660 (CROSSFIELD ELECTRONICS LTD) 11 March 1976 see the whole document	1,2,4,5, 9,10,14, 15,17
A	US,A,4 789 770 (WESTINGHOUSE ELECTRIC CORP.) 6 December 1988 cited in the application see the whole document	1-5,9-11
A	DE,A,37 10 816 (FOCUS CONTROL GMBH FC) 20 October 1988 cited in the application see the whole document	1-18

1

Form PCT/ISA/210 (continuation of second sheet) (July 1992)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

Intern .al Application No
PCT/EP 94/03190

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)		Publication date
WO-A-9214578	03-09-92	DE-A-	4106007	03-09-92
		EP-A-	0573474	15-12-93
US-A-4952770	28-08-90	WO-A-	8804214	16-06-88
		JP-A-	63268585	07-11-88
DE-A-2538660	11-03-76	JP-A-	51098502	30-08-76
US-A-4789770	06-12-88	CA-A-	1306019	04-08-92
		EP-A-	0299702	18-01-89
		JP-A-	1048691	23-02-89
DE-A-3710816	20-10-88	NONE		

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internales Aktenzeichen
PCT/EP 94/03190

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
IPK 6 B23K26/02

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
IPK 6 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)

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X A	WO,A,92 14578 (FRAUNHOFFER-GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG E.V.) 3. September 1992 siehe das ganze Dokument ---	1,2 5-10,15
X	LASER UND OPTOELEKTRONIK., Bd.21, Nr.3, Juni 1989, STUTTGART DE Seiten 69 - 72, XP49079 M. ALAVI 'Lichtemission während des Laserschweissprozesses' siehe das ganze Dokument ---	1,2,6,8
X	US,A,4 952 770 (KABUSHIKI KAISHA KOMATSU SEISAKUSHO) 28. August 1990 siehe das ganze Dokument --- -/--	1,2,5-7, 9,10, 15-17

[X] Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

[X] 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" älteres Dokument, 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 zumVerständnis 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 anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche	Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
19. Dezember 1994	13. 01. 95

Name und Postanschrift der Internationale Recherchenbehörde	Bevollmächtigter Bediensteter
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax (+31-70) 340-3016	Aran, D

Formblatt PCT/ISA/210 (Blatt 2) (Juli 1992)

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Intern. ales Aktenzeichen
PCT/EP 94/03190

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie°	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	DE,A,25 38 660 (CROSSFIELD ELECTRONICS LTD) 11. März 1976 siehe das ganze Dokument ---	1,2,4,5, 9,10,14, 15,17
A	US,A,4 789 770 (WESTINGHOUSE ELECTRIC CORP.) 6. Dezember 1988 in der Anmeldung erwähnt siehe das ganze Dokument ---	1-5,9-11
A	DE,A,37 10 816 (FOCUS CONTROL GMBH FC) 20. Oktober 1988 in der Anmeldung erwähnt siehe das ganze Dokument -----	1-18

1

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Intern ales Aktenzeichen
PCT/EP 94/03190

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
WO-A-9214578	03-09-92	DE-A-	4106007	03-09-92
		EP-A-	0573474	15-12-93
US-A-4952770	28-08-90	WO-A-	8804214	16-06-88
		JP-A-	63268585	07-11-88
DE-A-2538660	11-03-76	JP-A-	51098502	30-08-76
US-A-4789770	06-12-88	CA-A-	1306019	04-08-92
		EP-A-	0299702	18-01-89
		JP-A-	1048691	23-02-89
DE-A-3710816	20-10-88	KEINE		