

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
14. August 2008 (14.08.2008)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2008/095738 A2

(51) Internationale Patentklassifikation:
B23K 26/073 (2006.01) **B23K 26/08** (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2008/050056

(22) Internationales Anmeldedatum:
4. Januar 2008 (04.01.2008)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2007 006 330.1 8. Februar 2007 (08.02.2007) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von
US): **ROBERT BOSCH GMBH** [DE/DE]; Postfach 30 02
20, 70442 Stuttgart (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **RAMSAYER, Reiner**
[DE/DE]; Lise-Meitner-Str. 25, 71701 Schwieberdingen
(DE).

(74) Gemeinsamer Vertreter: **ROBERT BOSCH GMBH**;
Postfach 30 02 20, 70442 Stuttgart (DE).

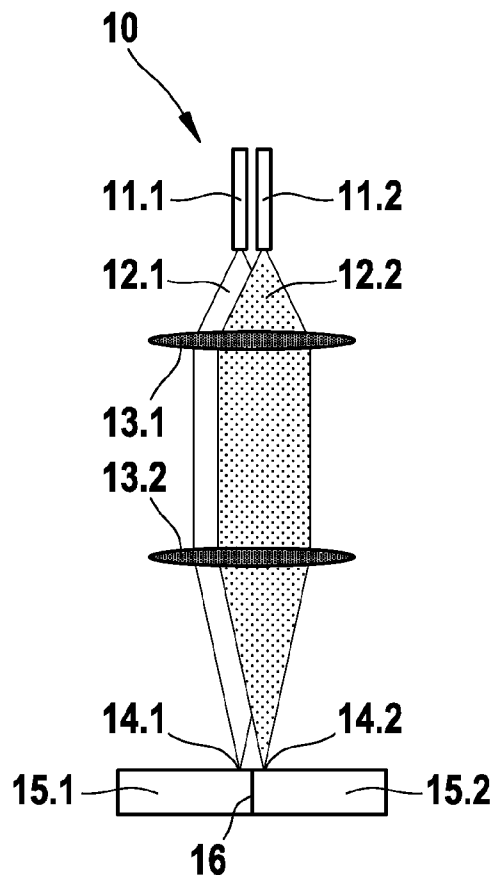
(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ,
CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE,
EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID,
IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, 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, PG, PH,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: LASER WELDING METHOD AND DEVICE

(54) Bezeichnung: VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUM LASERSCHWEISSEN

Fig. 1



(57) Abstract: The invention relates to a method for joining materials by means of laser radiation. In said method, the laser radiation is focused onto a focal area that is small compared with a processing zone, and a given intensity distribution above the processing zone is obtained by moving the focal area across the processing zone. The invention further relates to a device for joining materials by means of laser radiation. In said device, movable optical components allow a focal area of the laser radiation to be moved across a processing zone, said focal area being small compared with the processing zone. A disk laser or a fiber laser is used as a radiation source. The method and the device make it possible to adjust almost any intensity distribution above a processing zone so as to obtain a reproducible welding process that is adapted to the joining job.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Fügen von Werkstoffen mittels Laserstrahlung. Dabei ist es vorgesehen, dass die Laserstrahlung auf eine im Vergleich zu einem Bearbeitungsgebiet kleine Fokusfläche fokussiert wird und dass eine vorgebbare Intensitätsverteilung über dem Bearbeitungsgebiet über eine Bewegung der Fokusfläche erreicht wird. Die Erfindung betrifft weiterhin eine Vorrichtung zum Fügen von Werkstoffen mittels Laserstrahlung, wobei mittels beweglicher optischer Bauelemente eine im Vergleich zu einem Bearbeitungsgebiet kleine Fokusfläche der Laserstrahlung über das Bearbeitungsgebiet bewegbar ist und wobei als Strahlungsquelle ein

Scheibenlaser oder ein Faserlaser vorgesehen ist. Das Verfahren

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SV,
SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN,
ZA, ZM, ZW.

EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV,
MC, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF,
BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN,
TD, TG).

- (84) **Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK,

Veröffentlicht:

- ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts

5 Beschreibung

TitelVerfahren und Vorrichtung zum Laserschweißen

10 Stand der Technik

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Fügen von Werkstoffen mittels Laserstrahlung.

15 Beim Laserschweißen werden heute mit einem fokussierten Laserstrahl der oder die zu fügenden Werkstoffe, zumeist Metalle, bestrahlt und dadurch erwärmt und aufgeschmolzen.

20 Durch eine hohe Intensität der Bestrahlung kann erreicht werden, dass eine zumindest teilweise Verdampfung des Werkstoffes auftritt. Dadurch bildet sich eine Dampfkapillare, das so genannte Keyhole, aus. Das Verfahren ist als Keyhole- oder als Tiefschweißen bekannt.

25 Ein wesentliches Qualitätsmerkmal beim Tiefschweißen ist die Stabilität des sich bildenden Keyholes. Sie hat einen maßgeblichen Einfluss auf die Prozessreproduzierbarkeit, die Schmelzbadausbildung und auf die Verteilung der Legierungselemente im Schweißbad beim Verbinden verschiedenartiger Werkstoffe oder beim Schweißen mit Zusatzwerkstoffen.

30 In der Schrift DE 197 51 195 C1 ist ein Verfahren zum Schweißen mittels Laserstrahlung beschrieben, mit mindestens einem Laserstrahl, bei dem die Intensität der Laserstrahlung durch Strahlformung in und auf der Oberfläche von Werkstücken so eingestellt wird, dass ein kleiner Bereich mit einer großen Intensität im Werkstück, dort zur Ausbildung einer Dampfkapillare und ein weiterer größerer angrenzender Bereich mit einer kleineren Inten-

sität auf der Werkstückoberfläche in der Weise bestrahlt wird, dass eine kelchförmig Öffnung der Dampfkapillare an der Werkstückoberfläche ausgebildet und die Abkühlgeschwindigkeit der Schmelze verringert wird, wobei die Lage und/oder Ausrichtung der Achsen mindestens zweier Laserstrahlen oder Teilstrahlen zur Werkstückoberfläche während der Durchführung des Schweißverfahrens temperaturabhängig zueinander variiert werden. In der Schrift ist weiterhin eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens beschrieben, bei der ein Laserstrahl einer Laserstrahlquelle auf einen Strahlteiler und zwei Teilstrahlen auf zwei Strahlformungseinheiten gerichtet sind und mittels einer Strahlformungseinheit ein stark fokussierter Teilstrahl auf das Werkstück gerichtet ist, der vom zweiten defokussierten Teilstrahl überlagert ist, mindestens ein Temperatursensor die Temperaturverteilung auf dem Werkstück misst und der/die Temperatursensoren mit einer die Laserstrahlquellen und/oder die Strahlformungseinheiten regelnden Steuerung verbunden ist/sind, die während der Durchführung des Schweißverfahrens die Lage und/oder die Ausrichtung der Achsen der Teilstrahlen zur Werkstoffoberfläche in Abhängigkeit von der Temperaturverteilung verändert.

Nachteilig bei diesem Verfahren beziehungsweise bei dieser Vorrichtung ist, dass zur Anpassung der Intensitätsverteilung an die Schweißaufgabe aufwändige und somit teure optische Bauelemente notwendig sind, insbesondere, wenn die Intensitätsverteilung während des Schweißprozesses in Abhängigkeit von der gemessenen Temperaturverteilung im Schweißpunkt variiert werden soll. Dabei ist die Intensitätsverteilung auf Muster beschränkt, die sich durch zwei überlagernde Fokusflächen von kreisförmigem oder ovalem Querschnitt erzielen lassen.

Ein weiterer Nachteil des Verfahrens ist, dass die Fokusebene in einer fest vorgegebenen Arbeitsebene liegt, die sich während des Schweißvorgangs nicht verändern lässt. Eine Anpassung der Intensitätsverteilung an die Fügeaufgabe senkrecht zur Fokusebene ist dadurch nicht möglich.

Es ist Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren bereitzustellen, welches eine an die Schweißaufgabe angepasste Einstellung einer Intensitätsverteilung in einem Bearbeitungsgebiet ermöglicht. Es ist weiterhin Aufgabe der Erfindung, eine entsprechende Vorrichtung bereitzustellen.

Offenbarung der Erfindung

Vorteile der Erfindung

5

10

15

20

25

30

Die das Verfahren betreffende Aufgabe der Erfindung wird dadurch gelöst, dass die Laserstrahlung auf eine im Vergleich zu einem Bearbeitungsgebiet kleine Fokusfläche fokussiert wird und dass eine vorgebbare Intensitätsverteilung über dem Bearbeitungsgebiet über eine Bewegung der Fokusfläche über das Bearbeitungsgebiet erreicht wird. Das Verfahren ermöglicht es, dass innerhalb des Bearbeitungsgebietes alleine durch die Vorgabe der Bewegung der Fokusfläche eine annähernd beliebig wählbare mittlere Intensitätsverteilung einstellbar ist. Die Bewegung und damit die Intensitätsverteilung kann durch entsprechend ansteuerbare, den Laserstrahl ablenkende optische Bauelemente jederzeit verändert werden, ohne dass ein Wechsel von optischen Bauelementen vorgesehen werden muss. Eine entsprechend dem Verfahren betriebene Vorrichtung kann demnach sehr schnell an wechselnde Schweißaufgaben angepasst werden. Neben der Intensitätsverteilung innerhalb des Bearbeitungsgebietes kann auch die Kontur des Bearbeitungsgebietes innerhalb der durch die Größe der Fokusfläche und die Wärmeleitung der Fügepartner vorgegebenen Auflösung frei vorgegeben werden.

Gemäß bevorzugter Ausführungsvarianten der Erfindung kann es vorgesehen sein, dass die vorgebbare Intensitätsverteilung über dem Bearbeitungsgebiet durch unterschiedliche Verweildauern der Fokusfläche auf Teilen des Bearbeitungsgebiets und/oder durch unterschiedliche Intensitäten der Laserstrahlung in Abhängigkeit von der Position der Fokusfläche innerhalb des Bearbeitungsgebiets und/oder durch eine unterschiedliche Häufigkeit, mit der die Fokusfläche über Teile des Bearbeitungsgebietes geführt wird, erzeugt wird. Alle Varianten sowie Kombinationen der Varianten ermöglichen es, dass die mittlere eingebrachte Energie je Teil des Bearbeitungsgebietes variiert werden kann. So kann die Fokusfläche über Bereiche hoher benötigter Intensität entsprechend öfter oder langsamer geführt werden als über Bereiche niedriger benötigter Intensität oder die Intensität der Laserstrahlung kann in Abhängigkeit der Position der Fokusfläche in Bereichen hoher benötigter Intensität entsprechend hoch und in Bereichen niedriger benötigter Intensität entsprechend niedrig eingestellt werden.

Ist es vorgesehen, dass Bearbeitungsgebiete in einem Größenbereich von 150µm bis 600µm durch Fokusflächen von 10µm bis 100µm, vorzugsweise von 10µm bis 20µm, erzeugt werden und/oder dass Bearbeitungsgebiete, die um einen Faktor von mindestens acht größer sind als die Fokusfläche, erzeugt werden, so können innerhalb heute beim Laserschweißen üblicher Bearbeitungsgebiete Intensitätsverteilungen mit ausreichender Auflösung erreicht werden.

Unterschiedliche Intensitätsverteilungen innerhalb des Bearbeitungsgebietes können dadurch erreicht werden, dass die Bewegung der Fokusfläche über das Bearbeitungsgebiet entlang frei vorgegebbarer Bahnen und/oder rasterförmig erfolgt. Bei frei vorgebbaren Bahnen kann die gewünschte Intensitätsverteilung bei gleich bleibender Intensität der Laserstrahlung und Bahngeschwindigkeit der Fokusfläche durch entsprechende Wahl der Bewegungsbahn eingestellt werden, während bei einer rasterförmigen Bewegung der Fokusfläche die Intensität der Laserstrahlung oder die Geschwindigkeit der Bewegung der Fokusfläche variiert werden muss.

Eine ausgedehnte Schweißnaht zwischen den Fügepartnern wird dadurch erreicht, dass das Bearbeitungsgebiet entlang einer Fügelinie bewegt wird.

Eine frei wählbare und schnelle Bewegung der Fokusfläche innerhalb des Bearbeitungsgebietes kann dadurch erreicht werden, dass die Bewegung der Fokusfläche durch in einem Strahlengang der Laserstrahlung angeordnete Scannerspiegel und/oder bewegte Keilplatten und/oder bewegte Dachspiegel und/oder bewegte Linsen bewirkt wird.

Um den Schweißprozess reproduzierbar führen zu können kann es vorgesehen sein, dass die Bewegung der Fokusfläche über das Bearbeitungsgebiet so schnell erfolgt, dass eine für den Prozess annähernd stationäre Intensitätsverteilung über das Bearbeitungsgebiet erreicht wird. Die Temperaturstabilität innerhalb eines Punktes des Bearbeitungsgebietes stellt sich dabei aus der Häufigkeit, mit der die Fokusfläche je Zeiteinheit über den Punkt geführt wird, und der Wärmeleitung aus beziehungsweise zu dem Punkt ein.

Ist es vorgesehen, dass der Fokus der Laserstrahlung entlang der Ausbreitungsrichtung der Laserstrahlung verstellt werden kann, so kann auch die Intensitätsverteilung in die

Tiefe der zu verbindenden Werkstücke eingestellt werden. Es lassen sich so beispielsweise beim Tiefschweißen dreidimensionale Intensitätsverteilungen gezielt realisieren.

5 Dabei kann es insbesondere vorteilhaft sein, wenn die Laserstrahlung auf die Oberfläche eines sich bildenden Keyholes fokussiert wird. So kann an jeder Bearbeitungsstelle mit optimaler Fokuslage gearbeitet werden.

10 Die Möglichkeit zur Variation der Fokuslage in Strahlrichtung ermöglicht es weiterhin, dass die Größe der Fokusfläche eingestellt werden kann. Dadurch ergibt sich eine weitere Möglichkeit, die Intensitätsverteilung auf der Werkstückoberfläche innerhalb des Bearbeitungsgebietes gezielt zu variieren.

15 Beim cw-Nahtschweißen kann es sinnvoll sein, dass vermehrt Energie an der Schweißfront eingebracht wird, um schlanke und tiefe Schweißnähte zu erzeugen. Daher kann es vorgesehen sein, dass in einem in Bewegungsrichtung des Bearbeitungsgebietes vorderen Abschnitt des Bearbeitungsgebietes eine hohe Intensität der Laserstrahlung eingestellt wird

20 Beim Tiefschweißen kommt der Ausbildung eines geeigneten Keyholes eine besondere Bedeutung zu. Dabei kann beispielsweise durch eine geeignete Geometrie des sich bildenden Keyholes der Austritt von sich bildenden, gasförmigen Komponenten erleichtert werden, wodurch Stauungen und Spritzen vermieden werden können. Daher ist es gemäß einer bevorzugten Ausgestaltungsvariante der Erfindung vorgesehen, dass die Intensitätsverteilung derart eingestellt wird, dass sich eine für die Schweißaufgabe optimierte Geometrie eines sich bildenden Keyholes ausbildet. Dazu kann sowohl die Intensitätsverteilung in der Ebene des Bearbeitungsgebietes als auch in der Tiefe entsprechend vorgegeben werden. Zur Ausbildung eines geeigneten Keyholes kann innerhalb des Bearbeitungsgebietes beispielsweise ein sichelförmiger Bereich hoher Intensität erzeugt werden, wobei der Scheitel der konvexen Krümmung des sichelförmigen Bereiches in
30 Schweißrichtung, also in die Bewegungsrichtung des Bearbeitungsgebietes, zeigt.

Insbesondere zur Verbindung artungleicher Werkstoffe kann es vorgesehen sein, dass die Intensitätsverteilung über das Bearbeitungsgebiet derart eingestellt wird, dass auf einen Fügepartner eine hohe Intensität und auf einen zweiten Fügepartner eine niedrigere In-

intensität der Laserstrahlung einwirkt. So kann es beim Verbinden artungleicher Werkstoffe sinnvoll sein, einen der beiden Fügepartner nur aufzuschmelzen, wohingegen der zweite Fügepartner aufgeschmolzen und teilweise verdampft werden muss. Es lassen sich so Werkstoffe mit stark unterschiedlichen Schmelz- und Verdampfungstemperaturen verbinden, was mit einer homogenen Intensitätsverteilung nur schwer möglich ist. Dadurch ergeben sich neue Möglichkeiten beim Verbinden solcher bisher kritisch schweißbaren Werkstoffpaarungen.

Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausgestaltungsform der Erfindung kann es vorgesehen sein, dass die Intensitätsverteilung über das Bearbeitungsgebiet derart eingestellt wird, dass eine Schmelzbaddurchmischung gezielt eingestellt wird. Dies kann auch bedeuten, dass die Schmelzbaddurchmischung zumindest weitestgehend unterbunden wird. Aus dem Nahtschweißen mit Zusatzwerkstoffen ist bekannt, dass die Durchmischung des Schmelzbades stark von der Intensitätsverteilung und von den dadurch induzierten Strömungen im Schmelzbad beeinflusst wird. Durch die Optimierung der Schmelzbaddurchmischung kann erreicht werden, dass das Zusatzmaterial sich homogen im Gefüge verteilt oder gezielt an bestimmten Regionen im Schweißbad angereichert wird, um dort bestimmte Eigenschaften im Gefüge hervorzurufen. Durch eine gezielt eingestellte Strömungsrichtung und Strömungsgeschwindigkeit im Schmelzbad in Kombination mit einer geeigneten Form eines sich bildenden Keyholes lässt sich der Schweißprozess deutlich stabilisieren und die Nahtform entsprechend den Anforderungen gestalten.

Ist es vorgesehen, dass die Intensitätsverteilung im Rahmen eines Regelkreises auf Basis von gemessenen Bedingungen im Bearbeitungsgebiet eingestellt wird, so können die Schweißparameter direkt während des Schweißprozesses gezielt variiert und eingestellt werden. Durch geeignete Sensoren können Störungen erkannt und durch Anpassung der Intensität und Intensitätsverteilung ausgeglichen werden.

So kann es vorgesehen sein, dass als Bedingungen im Bearbeitungsgebiet eine Schmelzbadströmung und/oder Spaltbreiten zwischen Fügepartnern berücksichtigt werden. Durch entsprechende Sensoren kann die Schmelzbadströmung detektiert und mit einem entsprechenden Regelkreis über die Intensitätsverteilung über dem Bearbeitungsgebiet immer optimal eingestellt werden, um Prozesse mit hoher Reproduzierbarkeit und Qualität zu erreichen. Weiterhin kann beispielsweise ein Spalt zwischen zwei Fügepart-

5 nern im Stumpfstoß erkannt und die Intensitätsverteilung derart gestaltet werden, dass die beiden Fügepartner einer höheren Strahlintensität ausgesetzt werden als der Spalt. Der Laserstrahl bricht somit nicht durch, wie es bei konventionellen Laserschweißverfahren mit fester Intensitätsverteilung auftreten kann, der Spalt kann sich schließen. Weiterhin erhöht sich die Spaltüberbrückbarkeit. Durch geeignete Sensoren kann das Bearbeitungsgebiet immer optimal auf die Lage der Fügepartner, auch bei ungenauer Kantenqualität der Stoßkanten, eingeregelt werden.

10 Die die Vorrichtung betreffende Aufgabe der Erfindung wird dadurch gelöst, dass mittels beweglicher optischer Bauelemente eine im Vergleich zu einem Bearbeitungsgebiet kleine Fokusfläche der Laserstrahlung über das Bearbeitungsgebiet bewegbar ist und dass als Strahlungsquelle ein Scheibenlaser oder ein Faserlaser vorgesehen ist. Dabei erlauben insbesondere als bewegliche optische Bauelemente eingesetzte Scannerspiegel eine schnelle und frei programmierbare Bahnbewegung. Scheibenlaser und Faserlaser ermöglichen aufgrund ihrer sehr hohen Strahlqualität die Ausbildung von sehr kleinen Fokusflächen, wie sie für die Durchführung des beschriebenen Verfahrens benötigt werden. So lassen sich beispielsweise mit einem Faserlaser Fokusflächen von wenigen μm Durchmesser erreichen.

20 Kurze Beschreibung der Zeichnungen

Die Erfindung wird im Folgenden anhand von in den Figuren dargestellten Ausführungsbeispielen näher erläutert. Es zeigen:

- 25 Figur 1 in schematischer Darstellung eine erste Laserschweißanordnung nach dem Stand der Technik,
Figur 2 in schematischer Darstellung eine zweite Laserschweißanordnung nach dem Stand der Technik,
Figur 3 in schematischer Darstellung ein Bearbeitungsgebiet mit einer homogenen Intensitätsverteilung,
30 Figur 4 in schematischer Darstellung ein Bearbeitungsgebiet mit einer inhomogenen Intensitätsverteilung,
Figur 5 in schematischer Darstellung ein weiteres Bearbeitungsgebiet mit einer inhomogenen Intensitätsverteilung,

Figur 6 in schematischer Darstellung ein weiteres Bearbeitungsgebiet mit einer inhomogenen Intensitätsverteilung,

Figur 7 in schematischer Darstellung ein weiteres Bearbeitungsgebiet mit einer inhomogenen Intensitätsverteilung.

5

Ausführungsformen der Erfindung

Figur 1 zeigt in schematischer Darstellung eine erste Laserschweißanordnung 10 nach dem Stand der Technik. Mit einem ersten Lichtleiter 11.1 wird ein erster Laserstrahl 12.1 und mit einem zweiten Lichtleiter 11.2 wird ein zweiter Laserstrahl 12.2 einer ersten gemeinsamen Linse 13.1 und anschließend einer zweiten gemeinsamen Linse 13.2 zugeführt und auf die Oberfläche eines ersten Fügepartners 15.1 und eines zweiten Fügepartners 15.2 im Bereich einer Fügelinie 16 fokussiert. Die Laserstrahlen 12.1, 12.2 bilden auf der Oberfläche der Fügepartner 15.1, 15.2 jeweils einen in der Fläche ausgedehnten Fokuspunkt 14.1, 14.2 aus.

15

Durch die Laserstrahlen 12.1, 12.2 werden die Fügepartner 15.1, 15.2 im Bereich der Fügelinie 16 erwärmt und aufgeschmolzen, so dass eine Verbindung der Fügepartner 15.1, 15.2 erfolgt.

20

Auf Grund der flächigen Ausdehnung der Fokuspunkte 14.1, 14.2 können diese zumindest teilweise überlagert werden. Im Überlagerungsbereich liegt dann eine im Vergleich zu einem nicht überlagerten Bereich hohe Strahlintensität vor. Durch gezielte Überlagerung der Fokuspunkte 14.1, 14.2 kann innerhalb eines bestrahlten Bearbeitungsgebietes eine gewünschte Intensitätsverteilung vorgegeben werden. Dabei kann die Intensitätsverteilung durch die Lage und das Verhältnis der überlagerten zu den nicht überlagerten Bereichen, durch unterschiedlicher Strahlintensitäten zwischen dem ersten und dem zweiten Laserstrahl 12.1, 12.2 und/oder durch unterschiedlich große Fokuspunkte 14.1, 14.2 variiert werden.

25

Figur 2 zeigt in schematischer Darstellung eine zweite Laserschweißanordnung 20 nach dem Stand der Technik. Dabei sind gleiche Komponenten wie in Figur 1 eingeführt bezeichnet.

30

Im Gegensatz zu dem in Figur 1 dargestellten Ausführungsbeispiel werden die Strahlen-
gänge des ersten Laserstrahls 12.1 und des zweiten Laserstrahls 12.2 getrennt geführt.
Dabei wird der erste Laserstrahl 12.1 durch eine erste vordere Linse 21.1 und eine erste
hintere Linse 21.3 und der zweite Laserstrahl 12.2 mit einer zweiten vorderen Linse 21.2
5 und einer zweiten hinteren Linse 21.4 auf die Oberfläche der beiden Fügepartner 15.1,
15.2 fokussiert.

Zusätzlich zu den in Figur 1 genannten Möglichkeiten der Einstellung einer Intensitätsver-
teilung kann durch die Neigung der Strahlachsen der Laserstrahlen 12.1, 12.2 die Geo-
metrie der Fokuspunkte 14.1, 14.2 von annähern kreisrund zu oval variiert werden, was
10 zusätzliche Möglichkeiten für die einstellbaren Intensitätsverteilungen ergibt.

Der Vorteil der in Figur 1 und Figur 2 dargestellten Laserschweißanordnungen 10, 20 mit
zwei Fokuspunkten 14.1, 14.2 ist, dass sich aufgrund der einstellbaren Intensitätsver-
15 teilungen innerhalb des Bearbeitungsgebietes Schweißprozesse deutlich reproduzierbarer
führen lassen. So kann beispielsweise die Form eines sich bildenden Keyholes bei Tief-
schweißen optimiert werden.

Nachteilig bei den dargestellten Laserschweißanordnungen 10, 20 ist, dass die Intensi-
tätsverteilungen systembedingt in einer festen Arbeitsebene, der Fokusebene, liegen, die
20 sich während des Prozesses nicht verändern lässt. Zum anderen ist die Verteilung der In-
tensität, auch bei Verwendung von Sonderoptiken, während des Prozesses nicht oder nur
begrenzt veränderbar.

Figur 3 zeigt in schematischer Darstellung ein Bearbeitungsgebiet 30 mit einer homoge-
nen Intensitätsverteilung 40, wie es erfindungsgemäß erzeugt werden kann. Dabei ist die
Intensitätsverteilung 40 durch die Dichte der dargestellten Punkte angedeutet, wobei eine
hohe Punktdichte einer hohen Intensität entspricht. Innerhalb des Bearbeitungsgebiets 30
ist eine im Vergleich zu dem Bearbeitungsgebiet 30 deutlich kleinere Fokusfläche 31 einer
30 nicht dargestellten Laserstrahlung dargestellt, die entlang einer vorgegebenen Bahnbe-
wegung 32 innerhalb des Bearbeitungsgebietes 30 bewegt wird.

Die Größe des Bearbeitungsgebietes 30 entspricht ungefähr dem bei bekannten Laser-
schweißanordnungen 10, 20 erzeugten, überlagerten Fokuspunkten 14.1, 14.2 und liegt

typisch in der Größenordnung von 150µm bis 600µm. Zur Erreichung der dazu im Vergleich sehr kleinen Fokusfläche 31 in der Größenordnung von beispielsweise 15µm sind Strahlquellen mit hoher Strahlqualität erforderlich. Hier können Faserlaser oder Scheibenlaser eingesetzt werden. So lassen sich mit einem Faserlaser Fokusflächen 31 im Bereich
5 einiger µm erreichen.

Wird nun mit einer solchen Strahlquelle ein Bearbeitungsgebiet 30 mit einer kleinen Fokusfläche 31 schnell abgerastert, so sind beliebige, auch von runden oder ovalen Flächen abweichende Geometrien des Bearbeitungsgebietes 30 erzielbar, beispielsweise mit
10 rechteckigen, dreieckigen oder linienförmigen Grundflächen. Durch die Geschwindigkeit der Bewegung der Fokusfläche 31 oder der Verweilzeit der Fokusfläche 31 über einem Teil des Bearbeitungsgebiets 30 lässt sich die mittlere Intensität über dem überfahrenen Bereich skalieren. Dadurch besteht die Möglichkeit, die Leistungsverteilung im Bearbeitungsgebiet 30 an die Bearbeitungsaufgabe anzupassen. Durch geeignete Regelalgorithmen besteht weiterhin die Möglichkeit, die Intensitätsverteilung 40 während des Schweißprozesses ständig optimal zu führen und anzupassen.
15

Für das Verfahren ist es wichtig, dass die Bewegung der Fokusfläche 31 so erfolgt, dass der Prozess eine quasi-konstante Intensitätsverteilung 40 über dem Bearbeitungsgebiet
20 30 erzielt. Dazu ist es notwendig, dass sich die Fokusfläche 31 ausreichend schnell über das Bearbeitungsgebiet 30 bewegt. Dazu bieten sich verschiedene bekannte Technologien an. So kann die Bahnbewegung 32 durch in den Strahlengang der Laserstrahlung eingebrachte Scannerspiegel, bekannt als Galvo-Scanner, bewirkt werden, welche eine frei programmierbare Bahnbewegung 32 mit hoher Geschwindigkeit erlauben. Des Weiteren können Optiken auf Basis von bewegten Keilplatten, bekannt als Trepanieroptiken aus dem Bereich des Laserbohrns, oder weitere bewegte optische Elemente wie Dachspiegel, Spiegel oder Speziallinsen zur Strahlführung und -ablenkung eingesetzt werden.
25 Figur 4 zeigt in schematischer Darstellung ein Bearbeitungsgebiet 30 mit einer inhomogenen Intensitätsverteilung 40, in dem eine Fokusfläche 31 entlang einer frei wählbaren Bahnbewegung 32 bewegt wird. Dabei ist die Bahnbewegung 31 so gewählt, dass sich innerhalb des Bearbeitungsgebietes 30 ein Bereich mit hoher mittlerer Intensität 41 und ein Bereich mit vergleichsweise niedriger mittlerer Intensität 42 ausbilden. Die Intensitätsverteilung 40 ist wieder durch die Dichte der dargestellten Punkte angedeutet.
30

Die Intensitätsverteilung 40 kann der Fügeaufgabe entsprechend frei vorgegeben werden. Dabei besteht die Möglichkeit, die Verteilung der Intensität über dem Bearbeitungsgebiet 40 während der Bearbeitung online zu ändern. Eine Anpassung des Bearbeitungsgebietes 40 als auch der Intensitätsverteilung 40 über das Bearbeitungsgebiet 40 ist während dem Schweißvorgang jederzeit möglich. Dies ermöglicht den Aufbau eines Regelkreises, bei dem mit geeigneten Sensoren die Bedingungen im Bearbeitungsgebiet 40, beispielsweise die Temperaturverteilung oder die Strömung im Schweißbad oder die Spaltlage oder die Kantenqualität der Fügepartner 15.1, 15.2, erfasst werden können und auf Basis dieser Messungen die Intensitätsverteilung 40 immer optimal an die Randbedingungen des Prozesses angepasst werden kann, was zu einer Stabilisierung des Schweißprozesses beiträgt. Durch den Regelprozess lassen sich Störungen ausgleichen. Wenn sich beispielsweise ein Spalt zwischen zwei Fügepartnern 15.1, 15.2 im Stumpfstoß öffnet, kann die Intensitätsverteilung 40 derart gestaltet werden, dass die beiden Fügepartner 15.1, 15.2 stärker bestrahlt werden als der Spalt. Die entstehende Schmelze kann so den Spalt schließen, ohne dass die Laserstrahlung durchbricht, wie es bei bekannten Laserschweißanordnungen 10, 20 auftreten kann.

Vorteilhaft bei dem Verfahren ist, dass mit einem optischen Aufbau verschiedenste Intensitätsverteilungen 40 realisierbar sind, wodurch im Vergleich zu bekannten Systemen erhebliche Kosten eingespart werden können, wenn verschiedene Prozesse mit einem System durchgeführt werden sollen und die Parameter entsprechend zu variieren sind, um jeweils optimale Ergebnisse zu erzielen.

Durch einen geeigneten optischen Aufbau lässt sich des weitern nicht nur die Intensitätsverteilung 40 innerhalb der Ebene des Bearbeitungsgebietes 30 einstellen, sondern auch die Intensitätsverteilung 40 in Ausbreitungsrichtung der Laserstrahlung, also in die Tiefe der Fügepartner 15.1, 15.2. Dies kann beispielsweise dadurch erreicht werden, dass die Fokusslage mit einer Fokussierlinse, die mit Hilfe eines entsprechenden Antriebs nachgeführt wird, in Ausbreitungsrichtung der Laserstrahlung verschoben wird. Dabei kann als Antrieb beispielsweise ein Piezo-Steller verwendet werden. Die Anordnung ermöglicht es, eine dreidimensionale Intensitätsverteilung 40 gezielt einzustellen. So ist es beispielsweise möglich, die Fokusfläche 31 über die Oberfläche eines sich bildenden Keyholes zu lenken, so dass an jeder Bearbeitungsstelle mit optimaler Fokusslage und entsprechender Intensitätsverteilung 40 gearbeitet werden kann.

Durch die Möglichkeit, die Fokusslage in Ausbreitungsrichtung der Laserstrahlung zu bewegen kann weiterhin der Durchmesser der Fokusfläche 31 und damit die Bestrahlungsstärke innerhalb der Fokusfläche 31 variiert werden, um optimale Bedingungen für den Prozess zu schaffen und sicherzustellen.

Figur 5 zeigt in schematischer Darstellung ein weiteres Bearbeitungsgebiet 30 mit einer inhomogenen Intensitätsverteilung 40, wie sie wiederum durch die Dichte der dargestellten Punkte angedeutet ist. Das Bearbeitungsgebiet 30 wird entsprechend einer Bewegungsrichtung 18 entlang einer Fügelinie 16 zwischen zwei Fügepartnern 15.1, 15.2 bewegt, so dass sich eine Schweißnaht 17 ausbildet. Die Intensitätsverteilung 40 ist auf Grund einer Bewegung einer nicht dargestellten Fokusfläche 31 über das Bearbeitungsgebiet 30 so vorgegeben, dass in Bewegungsrichtung 18 vorne im Bearbeitungsgebiet 30 ein Bereich hoher mittlerer Intensität 41 und in Bewegungsrichtung 18 hinten, also im Nachlauf, sowie an den Schweißnahtflanken ein Bereich niedriger mittlerer Intensität 42 ausgebildet ist. Eine solche Intensitätsverteilung 40 kann beispielsweise beim cw-Nachtschweißen sinnvoll sein, um an der Schweißfront vermehrt Energie einzubringen. Mit dieser Maßnahme lassen sich schlanke und tiefe Nähte erzeugen.

Figur 6 zeigt in schematischer Darstellung ein weiteres Bearbeitungsgebiet 30 mit einer inhomogenen Intensitätsverteilung 40. Dabei entspricht die Beschreibung und die Bezeichnung der dargestellten Komponenten denen in Figur 5. Im Gegensatz zu Figur 5 ist hier auf einem Fügepartner 15.1 ein Bereich hoher mittlerer Intensität 41 ausgebildet und auf dem anderen Fügepartner 15.2 ein Bereich niedriger mittlerer Intensität 42. Diese Intensitätsverteilung 40 ermöglicht es zum Beispiel, artungleiche Materialien zu verbinden. In dem dargestellten Ausführungsbeispiel erfordert das links dargestellte Material des ersten Fügepartners 15.1 eine hohe mittlere Intensität 41 zum Aufschmelzen, während das rechts dargestellte Material des zweiten Fügepartners 15.2 nur einer niedrigeren mittleren Intensität 42 ausgesetzt werden darf. Das Verfahren ermöglicht es so, artungleiche Werkstoffe mit stark unterschiedlichen Eigenschaften wie Schmelztemperatur oder ähnlichem zu verbinden. Durch die gezielt mögliche Energieeinbringung wird es weiterhin möglich, rissempfindliche Werkstoffe zu verbinden. Durch das Verfahren wird das reproduzierbare Schweißen solcher Werkstoffpaarungen erst möglich.

Figur 7 zeigt in schematischer Darstellung ein weiteres Bearbeitungsgebiet 30 mit einer inhomogenen Intensitätsverteilung 40, wobei das Bearbeitungsgebiet 30 von einer kreisrunden Form abweicht. Ein Bereich hoher mittlerer Intensität 41 ist sichelförmig in Bewegungsrichtung 18 vorne in dem Bearbeitungsgebiet 30 vorgegeben, während in dem hinteren Bereich des Bearbeitungsgebietes 30 ein Bereich niedriger mittlerer Intensität 42 vorgesehen ist. Durch die Intensitätsverteilung 40 bildet sich ein Keyhole 43 mit einer von einer kreisrunden Geometrie abweichenden Öffnung. Durch die inhomogene Vorgabe der Intensitätsverteilung 40 lässt sich somit die Geometrie eines sich bildenden Keyholes 43 bestimmen und somit bezüglich der Schweißaufgabe optimieren. Dazu sind neben der dargestellten Intensitätsverteilung 40 beliebige weitere Intensitätsverteilungen denkbar.

Durch die angepasste Intensitätsverteilung 40 kann Einfluss genommen werden auf die Strömungsrichtung und die Strömungsgeschwindigkeit im Schmelzbad so wie auf die Form des sich ausbildenden Keyholes 43 beim Tiefschweißen. Dadurch lässt sich der Prozess deutlich stabilisieren und die Nahtform entsprechend den Anforderungen gestalten. Dies lässt sich durch die bereits beschriebene Möglichkeit, die Fokusebene entlang der Strahlachse der Laserstrahlung einzustellen, noch weiter optimieren.

Aus dem Nahtschweißen mit Zusatzwerkstoffen ist bekannt, dass die Durchmischung des Schmelzbades stark von der Intensitätsverteilung 40 und von den dadurch induzierten Strömungen in dem Schmelzbad beeinflusst wird. Durch die Anpassung der Intensitätsverteilung 40 kann der Prozess auch hier weiter optimiert werden. Dadurch kann bei Schweißnähten 17 erreicht werden, dass das Zusatzmaterial sich homogen im Gefüge verteilt oder gezielt an bestimmten Regionen im Schweißbad angereichert wird, um dort im Gefüge bestimmte Eigenschaften hervorzurufen.

5 Ansprüche

1. Verfahren zum Fügen von Werkstoffen mittels Laserstrahlung, dadurch gekennzeichnet, dass die Laserstrahlung auf eine im Vergleich zu einem Bearbeitungsgebiet (30) kleine Fokusfläche (31) fokussiert wird und dass eine vorgebbare Intensitätsverteilung (40) über dem Bearbeitungsgebiet (30) über eine Bewegung der Fokusfläche (31) über das Bearbeitungsgebiet (30) erreicht wird.
10
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die vorgebbare Intensitätsverteilung (40) über dem Bearbeitungsgebiet (30) durch unterschiedliche Verweildauern der Fokusfläche (31) auf Teilen des Bearbeitungsgebiets (30) und/oder durch unterschiedliche Intensitäten der Laserstrahlung in Abhängigkeit von der Position der Fokusfläche (31) innerhalb des Bearbeitungsgebiets (30) und/oder durch eine unterschiedliche Häufigkeit, mit der die Fokusfläche (31) über Teile des Bearbeitungsgebietes (30) geführt wird, erzeugt wird.
15
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass Bearbeitungsgebiete (30) in einem Größenbereich von 150µm bis 600µm durch Fokusflächen (31) von 10µm bis 100µm, vorzugsweise von 10µm bis 20µm, erzeugt werden und/oder dass Bearbeitungsgebiete (30), die um einen Faktor von mindestens acht größer sind als die Fokusfläche (31), erzeugt werden.
20
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Bewegung der Fokusfläche (31) über das Bearbeitungsgebiet (30) entlang frei vorgegebbarer Bahnen und/oder rasterförmig erfolgt.
25
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass das Bearbeitungsgebiet (30) entlang einer Fügelinie (16) bewegt wird.
30

- 5
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Bewegung der Fokusfläche (31) durch in einem Strahlengang der Laserstrahlung angeordnete Scannerspiegel und/oder bewegte Keilplatten und/oder bewegte Dachspiegel und/oder bewegte Linsen bewirkt wird.
- 10
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Bewegung der Fokusfläche (31) über das Bearbeitungsgebiet (30) so schnell erfolgt, dass eine für den Prozess annähernd stationäre Intensitätsverteilung (40) über das Bearbeitungsgebiet (30) erreicht wird.
- 15
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass der Fokus der Laserstrahlung entlang der Ausbreitungsrichtung der Laserstrahlung verstellt werden kann.
- 20
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Laserstrahlung auf die Oberfläche eines sich bildenden Keyholes (43) fokussiert wird.
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Größe der Fokusfläche (31) eingestellt werden kann.
- 25
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass in einem in Bewegungsrichtung des Bearbeitungsgebietes (30) vorderen Abschnitt des Bearbeitungsgebietes (30) eine hohe Intensität der Laserstrahlung eingestellt wird.
- 30
12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass die Intensitätsverteilung (40) derart eingestellt wird, dass sich eine für die Schweißaufgabe optimierte Geometrie eines sich bildenden Keyholes (43) ausbildet.
13. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass die Intensitätsverteilung (40) über das Bearbeitungsgebiet (30) derart eingestellt wird, dass auf einen Fügepartner (15.1) eine hohe Intensität und auf einen zweiten Fügepartner (15.2) eine niedrigere Intensität der Laserstrahlung einwirkt.

- 5
14. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass die Intensitätsverteilung (40) über das Bearbeitungsgebiet (30) derart eingestellt wird, dass eine Schmelzbaddurchmischung gezielt eingestellt wird.
15. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass die Intensitätsverteilung (40) im Rahmen eines Regelkreises auf Basis von gemessenen Bedingungen im Bearbeitungsgebiet (30) eingestellt wird.
- 10 16. Verfahren nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass als Bedingungen im Bearbeitungsgebiet (30) eine Schmelzbadströmung und/oder Spaltbreiten zwischen Fügepartnern (15.1, 15.2) berücksichtigt werden.
- 15 17. Vorrichtung zum Fügen von Werkstoffen mittels Laserstrahlung, dadurch gekennzeichnet, dass mittels beweglicher optischer Bauelemente eine im Vergleich zu einem Bearbeitungsgebiet (30) kleine Fokusfläche (31) der Laserstrahlung über das Bearbeitungsgebiet (30) bewegbar ist und dass als Strahlungsquelle ein Scheibenlaser oder ein Faserlaser vorgesehen ist.
- 20

1 / 3

Fig. 1

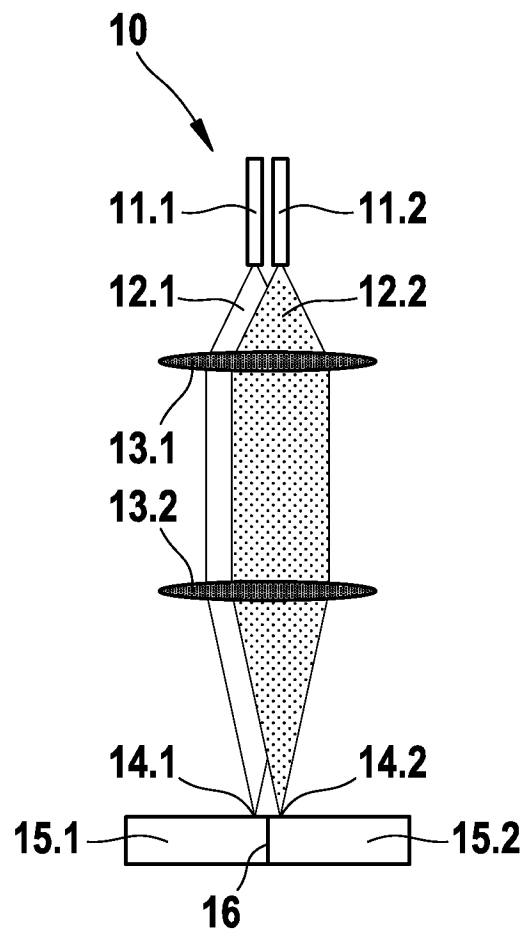
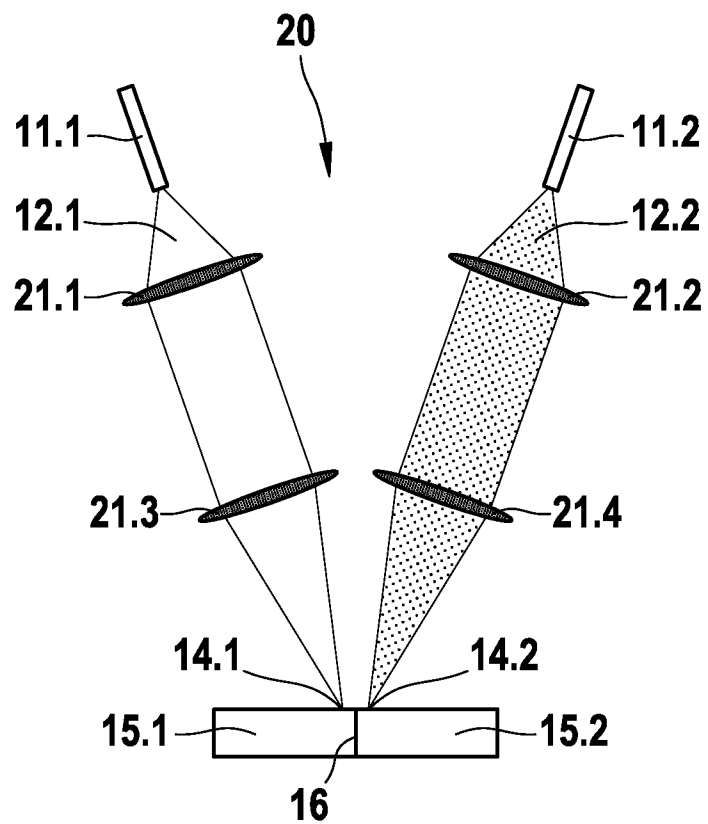
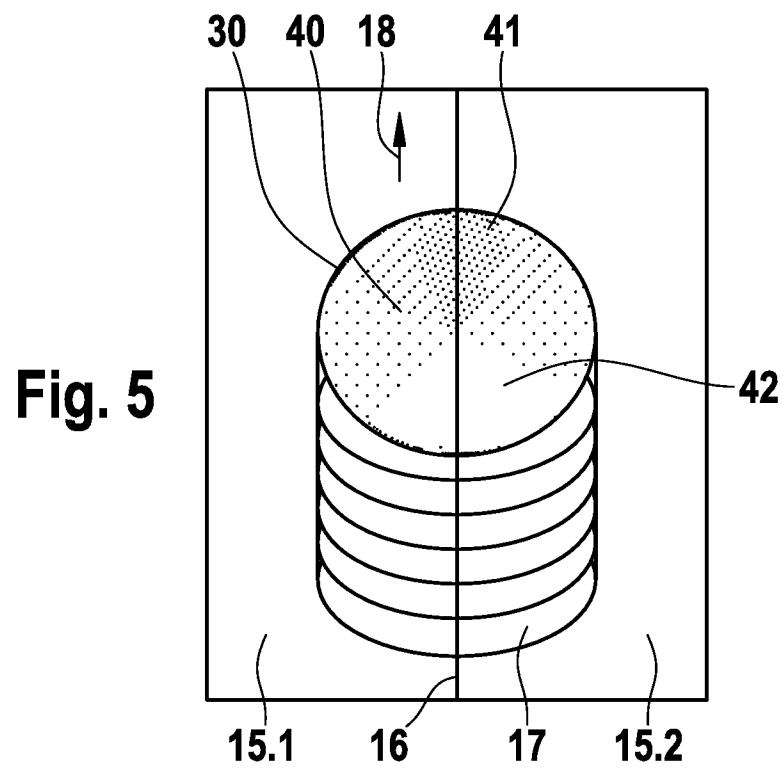
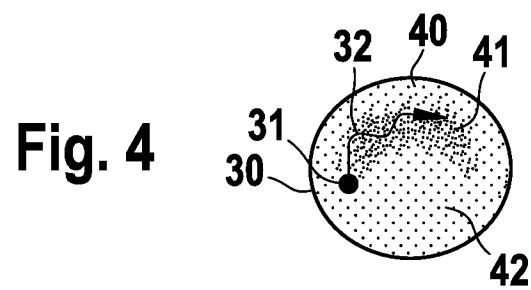
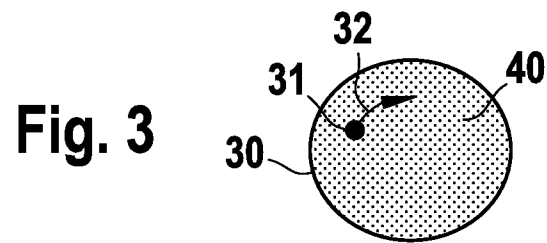


Fig. 2



2 / 3



3 / 3

Fig. 6

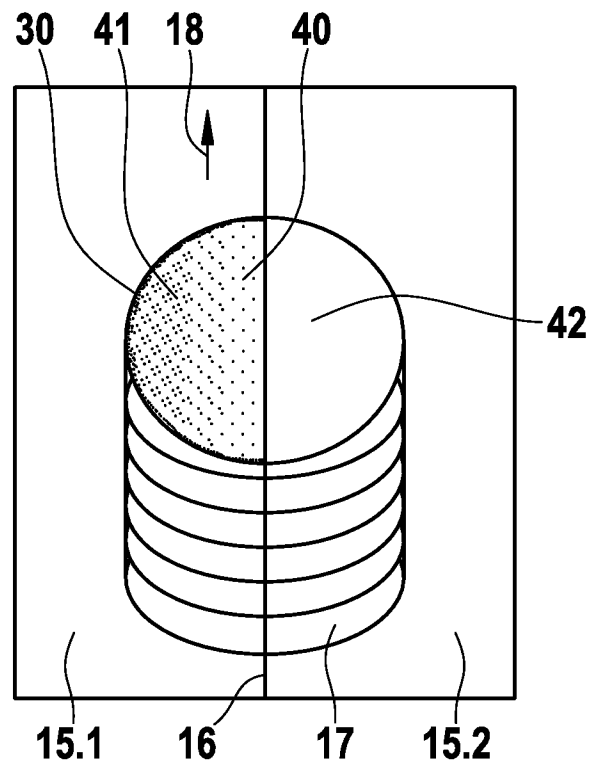


Fig. 7

