(19) SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

(11) CH 710 428 B1

(51) Int. Cl.: B23K 26/064 (2014.01)
B23K 26/08 (2014.01)
B23K 26/082 (2014.01)

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein
Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

(12) PATENTSCHRIFT

(21) Anmeldenummer: 00403/16

(22) Anmeldedatum: 24.09.2014

(43) Anmeldung veröffentlicht: 02.04.2015

(30) Priorität: 24.09.2013 US 61/881,666

(24) Patent erteilt: 31.07.2018

(45) Patentschrift veröffentlicht: 31.07.2018

(73) Inhaber:
IPG Photonics Corporation, 50 Old Webster Road
Oxford, Massachusetts 01540 (US)

(72) Erfinder:
Joseph Leo Dallarosa,
Uxbridge, Massachusetts 01569 (US)
Ben Amar, Massachusetts 01604 (US)
David Squires, Lebanon, Connecticut 06249 (US)

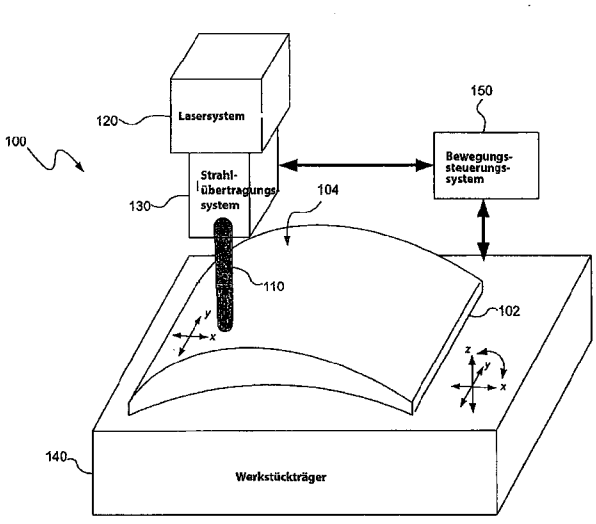
(74) Vertreter:
Keller & Partner Patentanwälte AG, Eigerstrasse 2
Postfach
3000 Bern 14 (CH)

(86) Internationale Anmeldung:
PCT/US 2014/057186

(87) Internationale Veröffentlichung:
WO 201/504811

(54) Laserbearbeitungssysteme und -verfahren, die einen Laserstrahl dithern können.

(57) Laserbearbeitungssysteme und -verfahren sind in der Lage, einen Laserstrahl (110) zu bewegen, während gleichbleibende Laserstrahleigenschaften an Bearbeitungsstellen aufrechterhalten werden. Die Laserbearbeitungssysteme (120) erzeugen einen kollimierten Laserstrahl, der eine gleichbleibende Leistungsdichte in Z-Richtung entlang wenigstens eines Abschnitts einer Länge des Laserstrahls aufweist, und dithern den kollimierten Laserstrahl in X- oder Y-Richtung. Durch das Dithering des kollimierten Laserstrahls wird eine gleichbleibende Laserbearbeitung auf einer dreidimensionalen Oberfläche ermöglicht, um beispielsweise einen gleichbleibenden Auftrag einer Beschichtung in einem Laserauftragschweissprozess bereitzustellen. Ein Laserbearbeitungssystem kann ein Strahlübertragungssystem (130) umfassen, das sowohl die Kollimation als auch das Dithering des kollimierten Lasers sowie eine Einstellung des Strahldurchmessers des kollimierten Strahls bereitstellt.



Beschreibung

Gebiet der Offenbarung

[0001] Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf die Laserbearbeitung und insbesondere auf Laserbearbeitungssysteme und -verfahren, die einen Laserstrahl dithern können, während einheitliche Laserstrahleigenschaften an Bearbeitungsstellen aufrecht erhalten werden, beispielsweise auf einer dreidimensionalen Oberfläche eines Werkstücks.

Erörterung des allgemeinen Stands der Technik

[0002] Laser werden im Allgemeinen für die Bearbeitung von Substraten oder Basismaterialien (im Folgenden als Werkstücke bezeichnet) mit einer ganzen Reihe verschiedener Techniken eingesetzt. Ein Beispiel für die Laserbearbeitung ist ein Laserauftragschweissprozess, in dem der Laser eingesetzt wird, um das Werkstück ausreichend zu erhitzen, damit ein anderes Material an der Oberfläche des Werkstücks haften kann und dadurch eine Beschichtung auf die Oberfläche des Werkstücks aufgetragen wird. Bei einer Art des Laserauftragschweissprozesses werden Pulverteilchen in einem schnell strömenden Gasstrom mitgerissen, wodurch ermöglicht wird, dass die Teilchen durch den Laser in dem erhitzten Bereich auf eine solche Weise auf dem Werkstück auftreffen, dass die Teilchen durch plastische Verformung und Bonding haften bleiben. Beispiele für den Laserauftragschweissprozess werden noch detaillierter in den internationalen Patentanmeldungen Nr. WO 2013/061 085 und Nr. WO 2013/061 086 beschrieben, die durch Literaturhinweis in das vorliegende Dokument eingefügt sind. Weitere Beispiele für die Laserbearbeitung sind das Laserstrahlschweissen und der Lasermaterialabtrag bzw. die Laserreinigung.

[0003] Eine der Herausforderungen bei der Laserbearbeitung ist die Schwierigkeit, den Laserstrahl auf eine Weise zu bewegen, die die Bearbeitung komplexerer Oberflächen (z.B. dreidimensionaler Oberflächen) auf Werkstücken ermöglicht, während die gewünschten Eigenschaften des Laserstrahls (z.B. Leistungsdichte) aufrecht erhalten werden. Bei bestehenden Laserbearbeitungssystemen ist es nicht möglich, den Laserstrahl mit der gewünschten Ansprechzeit und Bündelung zu bewegen. Laserbearbeitungssysteme, die den ganzen Laserkopf bewegen, stellen zum Beispiel keine relativ schnelle Ansprechzeit bereit. Einige bestehende Laserauftragschweisssysteme tasten einfach im Rasterverfahren in einer Richtung ab, was mehr Zeit erfordert und auf komplexen dreidimensionalen Oberflächen, wie zum Beispiel Turbinenschaufeln, möglicherweise nicht effektiv ist.

[0004] Ausserdem fokussieren bestehende Laserbearbeitungssysteme den Strahl häufig auf eine solche Weise, dass die Leistungsdichte entlang der Z-Achse des Strahls schwankt. Bei einem fokussierten Strahl kann die Leistungsdichte an verschiedenen Stellen entlang der Länge des Strahls erheblich schwanken, weil die Leistungsdichte umgekehrt proportional zu dem Quadratwert des Radius des Lichtpunkts ist. Somit führt die Bewegung des Laserstrahls und/oder die Bearbeitung dreidimensionaler Oberflächen zu einer erheblichen Veränderung der Laserstrahleigenschaften, wie zum Beispiel der Leistungsdichte, an unterschiedlichen Bearbeitungsstellen auf dem Werkstück, wodurch die Kontinuität der Laserbearbeitung nachteilig beeinflusst wird. Es wurden zwar Galvoscanner eingesetzt, um Laserstrahlen in Laserauftragschweisssystemen abzutasten, aber bei den Systemen ist es häufig nicht möglich, dass der Strahl eine gleichbleibende Leistungsdichte an den Bearbeitungsstellen aufrechterhält. Bei bestimmten Laserauftragschweissprozessen sollte zum Beispiel das Temperaturprofil, das durch den Laser vor dem Pulver bereitgestellt wird, präzise gesteuert werden. Eine Änderung der Leistungsdichte des Laserstrahls kann das Temperaturprofil ändern und verhindern, dass die Beschichtung mit der gewünschten Kontinuität aufgetragen wird.

[0005] Es besteht entsprechend ein Bedarf an Laserbearbeitungssystemen und -verfahren, die in der Lage sind, den Laserstrahl zu bewegen, während gleichbleibende Laserstrahleigenschaften an Bearbeitungsstellen aufrecht erhalten werden, beispielsweise auf einer dreidimensionalen Oberfläche eines Werkstücks.

Zusammenfassung

[0006] Nach einer Ausgestaltung ist ein Verfahren für die Laserbearbeitung eines Werkstücks vorgesehen. Das Verfahren umfasst das Erzeugen eines kollimierten Laserstrahls mit einer gleichbleibenden Leistungsdichte in Z-Richtung entlang wenigstens eines Abschnitts einer Länge des kollimierten Laserstrahls, das Ausrichten des kollimierten Laserstrahls auf ein Werkstück, um einen Lichtpunkt auf dem Werkstück zu bilden, das Bewegen des Werkstücks derart, dass der Lichtpunkt die Bearbeitung auf der Oberfläche des Werkstücks ermöglicht, während sich das Werkstück bewegt, und Dithern des kollimierten Laserstrahls entlang der X- oder Y-Achse auf eine solche Weise, dass der Lichtpunkt auf dem Werkstück gedithert wird, während sich das Werkstück bewegt.

[0007] Nach einer weiteren Ausgestaltung umfasst ein Laserbearbeitungssystem ein Glasfaserlasersystem und ein Strahlübertragungssystem, die optisch mit einem Glasfaserlaserausgang des Glasfaserlasersystems verbunden sind. Das Strahlübertragungssystem umfasst Kollimationslinsen, um einen kollimierten Laserstrahl zu erzeugen, wobei wenigstens eine der Kollimationslinsen in Z-Richtung bewegbar ist, um einen Durchmesser des kollimierten Strahls zu ändern. Das Laserbearbeitungssystem umfasst ausserdem einen Mechanismus zum Bewegen des Glasfaserlaserausgangs relativ zu den Kollimationslinsen, um den kollimierten Laserstrahl in X- oder Y-Richtung zu dithern, einen Werkstückträger zum Tragen und Bewegen eines Werkstücks und ein Bewegungssteuerungssystem zum Steuern der Bewegung des Werkstückträgers und des Mechanismus, um den Glasfaserlaserausgang relativ zu den Kollimationslinsen zu bewegen.

[0008] Nach einer weiteren Ausgestaltung umfasst ein optischer Kopf ein Gehäuse, einen Glasfaserlaseranschluss zum Anschliessen eines Glasfaserlaserausgangs an dem Gehäuse an einem Ende des Gehäuses und ein Strahlübertragungssystem, das in dem Gehäuse untergebracht und optisch mit dem Glasfaserlaserausgang verbunden ist. Das Strahlübertragungssystem umfasst erste und zweite Kollimationslinsen zum Bereitstellen eines kollimierten Laserstrahls und eine letzte Kollimationslinse zum Bereitstellen einer letzten Kollimation des kollimierten Laserstrahls. Wenigstens eine der ersten und zweiten Linsen ist in Z-Richtung bewegbar, um einen Durchmesser des kollimierten Laserstrahls zu ändern. Der optische Kopf umfasst ferner eine X-Y-Stufe einer Optik, die in dem Gehäuse untergebracht ist und die Kollimationslinsen für die Bewegung in X- und Y-Richtung trägt.

[0009] Nach einer Ausgestaltung ist eine Anwendung des Verfahrens zur Laserbearbeitung als Laserauftragschweissverfahren vorgesehen, um auf einem Werkstück eine Auftragschweissschicht aufzutragen. Das Laserauftragschweissverfahren umfasst das Erzeugen eines kollimierten Laserstrahls, welcher eine gleichbleibende Leistungsdichte in Z-Richtung entlang wenigstens eines Abschnitts einer Länge des kollimierten Laserstrahls, das Ausrichten des kollimierten Laserstrahls auf ein Werkstück, um einen Lichtpunkt auf dem Werkstück zu bilden, das Ausrichten eines Auftragschweissmaterials auf das Werkstück derart, dass das Auftragschweissmaterial auf der Oberfläche des Werkstücks in einem Bereich auftrifft, der durch den Lichtpunkt erhitzt wird, und das Bewegen des Werkstücks derart, dass das Auftragschweissmaterial auf der Oberfläche des Werkstücks eine Auftragschweissschicht bildet, während sich das Werkstück bewegt.

[0010] Nach einer weiteren Ausgestaltung umfasst die Verwendung eines Laserauftragschweisssystems ein Glasfaserlasersystem und ein Strahlübertragungssystem, die optisch mit einem Glasfaserlaserausgang des Glasfaserlasersystems verbunden sind. Das Strahlübertragungssystem umfasst Kollimationslinsen, um einen kollimierten Laserstrahl zu erzeugen, wobei wenigstens eine der Kollimationslinsen in Z-Richtung bewegbar ist, um einen Durchmesser des kollimierten Strahls zu ändern. Das Laserauftragschweisssystem umfasst ausserdem einen Mechanismus zum Bewegen des Glasfaserlaserausgangs relativ zu den Kollimationslinsen, um den kollimierten Laserstrahl in X- oder Y-Richtung zu dithern, einen Werkstückträger zum Tragen und Bewegen eines Werkstücks und ein Bewegungssteuerungssystem zum Steuern der Bewegung des Werkstückträgers und des Mechanismus, um den Glasfaserlaserausgang relativ zu den Kollimationslinsen zu bewegen. Das Laserauftragschweisssystem umfasst ferner ein Pulverübertragungssystem zum Übertragen von Auftragschweisspulver auf das Werkstück derart, dass das Auftragschweisspulver auf der Oberfläche des Werkstücks in einem Bereich auftrifft, der durch den kollimierten Laserstrahl erhitzt wird.

[0011] Nach einer weiteren Ausgestaltung umfasst eine Verwendung des optischen Kopfes als integrierter optischer Laserauftragschweisskopf ein Gehäuse, einen Glasfaserlaseranschluss zum Anschliessen eines Glasfaserlaserausgangs an dem Gehäuse an einem Ende des Gehäuses und ein Strahlübertragungssystem, das in dem Gehäuse untergebracht und optisch mit dem Glasfaserlaserausgang verbunden ist. Das Strahlübertragungssystem umfasst erste und zweite Kollimationslinsen zum Bereitstellen eines kollimierten Laserstrahls und eine letzte Kollimationslinse zum Bereitstellen einer letzten Kollimation des kollimierten Laserstrahls. Wenigstens eine der ersten und zweiten Linsen ist in einer Z-Richtung bewegbar, um einen Durchmesser des kollimierten Laserstrahls zu ändern. Der integrierte optische Laserauftragschweisskopf umfasst ferner eine X-Y-Stufe einer Optik, die in dem Gehäuse untergebracht ist und die Kollimationslinsen für die Bewegung in X- und Y-Richtung trägt. Der integrierte optische Laserauftragschweisskopf umfasst ferner ein Pulverübertragungssystem, das eine an dem Gehäuse befestigte Pulverübertragungsdüse aufweist und zum Übertragen von Auftragschweisspulver auf das Werkstück derart bestimmt ist, dass das Auftragschweisspulver auf der Oberfläche des Werkstücks in einem Bereich auftrifft, der durch den kollimierten Laserstrahl erhitzt wird.

Kurzbeschreibung der Zeichnungen

[0012] Diese und weitere Merkmale und Vorteile sind anhand der nachfolgenden detaillierten Beschreibung in Verbindung mit den Zeichnungen besser verständlich. Es zeigt:

Fig. 1A	ein Laserbearbeitungssystem in schematischer perspektivischer Ansicht sowie ein Verfahren zum Dithering eines kollimierten Laserstrahls auf einer dreidimensionalen Oberfläche eines Werkstücks nach Ausgestaltungen der vorliegenden Offenbarung;
Fig. 1B	einen Laserlichtpunkt auf dem in Fig. 1A gezeigten Werkstück in schematischer Draufsicht;
Fig. 1C	in schematischer Seitenansicht einen kollimierten Laserstrahl, der sich über das in Fig. 1A gezeigte Werkstück bewegt und eine gleichbleibende Leistungsdichte in Z-Richtung aufweist;
Fig. 2A–2D	Beispiele von Laserbearbeitungsmustern, die durch Dithering eines Laserlichtpunkts auf einem Werkstück ausgebildet werden, während eine koordinierte Bewegung des Werkstücks bereitgestellt wird, nach Ausgestaltungen der vorliegenden Offenbarung;
Fig. 3A	in schematischer perspektivischer Ansicht ein Laserbearbeitungssystem, das ein Strahlübertragungssystem zum Bereitstellen eines kollimierten Laserstrahls aufweist, der durch eine bewegliche Optik gedithert werden kann, nach einigen Ausgestaltungen der vorliegenden Offenbarung;

Fig. 3B in schematischer perspektivischer Ansicht ein Laserbearbeitungssystem, das ein Strahlübertragungssystem zum Bereitstellen eines kollimierten Laserstrahls aufweist, der durch einen beweglichen Glasfaserlaserausgang gedithert werden kann, nach weiteren Ausgestaltungen der vorliegenden Offenbarung;

Fig. 4 in perspektivischer Ansicht eine Ausgestaltung des Strahlübertragungssystems zum Bereitstellen eines kollimierten Laserstrahls, der gedithert werden kann;

Fig. 5 das in Fig. 4 gezeigte Strahlübertragungssystem in einer Seitenansicht;

Fig. 6 das in Fig. 4 gezeigte Strahlübertragungssystem in einer zweiten Querschnittsansicht;

Fig. 7 in schematischer Seitenansicht ein Laserauftragschweisssystem, das ein Strahlübertragungssystem zum Bereitstellen eines zum Dithering fähigen kollimierten Laserstrahls aufweist, nach Ausgestaltungen der vorliegenden Offenbarung;

Fig. 8 in perspektivischer Ansicht eine Ausgestaltung eines integrierten optischen Laserauftragschweisskopfs zur Verwendung in einem Laserauftragschweisssystem;

Fig. 9 den in Fig. 8 gezeigten integrierten optischen Laserauftragschweisskopf in einer teilweisen Seitenquerschnittsansicht;

Fig. 10 einen integrierten optischen Kopf in dem in Fig. 9 gezeigten integrierten optischen Laserauftragschweisskopf in einer Unteransicht;

Fig. 11 den integrierten optischen Laserauftragschweisskopf in einer Querschnittsansicht entlang der Linie XI–XI von Fig. 9;

Fig. 12 den integrierten optischen Laserauftragschweisskopf in einer Querschnittsansicht entlang der Linie XII–XII von Fig. 9;

Fig. 13 in perspektivischer Ansicht eine Ausgestaltung eines Laserauftragschweisssystems, das den in Fig. 8–12 gezeigten integrierten optischen Laserauftragschweisskopf zeigt, in einem Gehäuse zusammen mit einem Werkstückträger befestigt.

Detaillierte Beschreibung

[0013] Laserbearbeitungssysteme und -verfahren nach hierin beschriebenen Ausgestaltungen sind zum Bewegen eines Laserstrahls fähig, während gleichbleibende Laserstrahleigenschaften an Bearbeitungsstellen aufrechterhalten werden. Die Laserbearbeitungssysteme erzeugen einen kollimierten Laserstrahl, der eine gleichbleibende Leistungsdichte in Z-Richtung entlang wenigstens eines Abschnitts einer Länge des Laserstrahls aufweist, und dithern den kollimierten Laserstrahl in X- oder Y-Richtung. Durch das Dithering des kollimierten Laserstrahls wird eine gleichbleibende Laserbearbeitung auf einer dreidimensionalen Oberfläche ermöglicht, um beispielsweise einen gleichbleibenden Auftrag einer Beschichtung in einem Laserauftragschweissprozess bereitzustellen. Ein Laserbearbeitungssystem kann ein Strahlübertragungssystem umfassen, das sowohl die Kollimation als auch das Dithering des kollimierten Lasers sowie eine Einstellung des Strahldurchmessers des kollimierten Strahls bereitstellt.

[0014] Die Laserbearbeitungssysteme und -verfahren nach den hierin beschriebenen Ausgestaltungen können für eine ganze Reihe von Anwendungen und dreidimensionale Oberflächen eingesetzt werden. Laserbearbeitungsanwendungen umfassen beispielsweise Laserauftragschweissen, Laserstrahlschweissen, Laserreinigung, Materialabtrag, Oberflächenhärtung und maschinelle Bearbeitung (z.B. Anreissen, Schneiden oder Formen). Werkstücke mit dreidimensionalen Oberflächen, die bearbeitet werden können, umfassen beispielsweise Turbinenschaufeln, Ventilsitze und Rohre, sind aber nicht darauf beschränkt.

[0015] In der hierin verwendeten Bedeutung bezieht sich «kollimierter Laserstrahl» auf einen Laserstrahl, der eine relativ niedrige Strahldivergenz aufweist (z.B. ein Strahl mit einem Durchmesser von 10 mm und einer Divergenz kleiner/gleich 1 mrad), sodass der Radius des Strahls keinen signifikanten Änderungen innerhalb mässiger Ausbreitungsentfernungen unterliegt. Ein «kollimierter Laserstrahl» erfordert keine exakte oder perfekte Kollimation mit Nulldivergenz. In der hierin verwendeten Bedeutung bezieht sich «gleichbleibende Leistungsdichte in Z-Richtung» auf eine Leistung pro Fläche eines Laserstrahls, die entlang einer Z-Achse des Laserstrahls in einem Arbeitsbereich von 300 mm nicht mehr als ±6% schwankt. Eine «gleichbleibende Leistungsdichte in Z-Richtung» erfordert keine Leistungsdichte, die entlang der Z-Achse des Strahls exakt gleich ist. In der hierin verwendeten Bedeutung bezieht sich «Werkstück» auf einen Gegenstand oder Gegenstände, die durch einen Laserstrahl bearbeitet werden; der Begriff kann mehrere Gegenstände umfassen, die zusammen bearbeitet werden (z.B. durch Zusammenschweissen). In der hierin verwendeten Bedeutung bezieht sich «dreidimensionale Oberfläche» auf eine nicht ebene Oberfläche, die sich in X-, Y- und Z-Richtung erstreckt. In der hierin verwendeten Bedeutung bezieht sich «Dithering» auf die Hin- und Herbewegung eines Laserstrahls über eine relativ

kurze Entfernung (z.B. ±10 mm oder darunter) entlang einer Achse, während der Strahl im Wesentlichen senkrecht zu dem Werkstück verbleibt.

[0016] Unter Bezugnahme auf Fig. 1A–1C wird in einem Laserbearbeitungsverfahren und einem Laserbearbeitungssystem 100 nach den hierin beschriebenen Ausgestaltungen ein kollimierter Laserstrahl 110 eingesetzt, um ein Werkstück 102, beispielsweise mit einer dreidimensionalen Oberfläche 104, zu bearbeiten. Das Laserbearbeitungssystem 100 umfasst allgemein ein Lasersystem 120, welches einen Laserausgang und ein Strahlübertragungssystem 130 erzeugt, das den von dem Lasersystem 120 kommenden Laserausgang kollimiert und den kollimierten Laserstrahl 110 zu dem Werkstück 102 überträgt. Das Laserbearbeitungssystem 100 kann ferner einen Werkstückträger 140 umfassen, der ein Werkstück halten oder tragen und das Werkstück 102 während der Laserbearbeitung bewegen kann. Der Werkstückträger 140 kann ferner lineare und/oder rotierende Stufen umfassen, die das Werkstück 102 in mehrere unterschiedliche Richtungen bewegen können.

[0017] Der kollimierte Laserstrahl 110 wird auf die Oberfläche 104 des Werkstücks 102 gerichtet und bildet einen Lichtpunkt 112 auf der Oberfläche 104, wie in Fig. 1B gezeigt. Die von dem Laserstrahl 110 an dem Lichtpunkt 112 abgegebene Energie dient zur Bearbeitung der Oberfläche 104 des Werkstücks 102, beispielsweise dadurch, dass das Werkstück ausreichend erhitzt wird, damit Auftragschweissmaterial anhaftet oder Material geschweisst oder abgetragen wird. In einem Beispiel weist der kollimierte Laserstrahl 110 ein Gauss-Strahlprofil auf. Die Laserwellenlänge, die Strahlleistung, die Strahlleistungsdichte und das Strahlprofil können sich ändern und hängen im Allgemeinen von der Anwendung, dem Material bzw. den Materialien des Werkstücks und/oder anderen bei der Laserbearbeitung verwendeten Materialien ab.

[0018] Der kollimierte Laserstrahl 110 stellt eine gleichbleibende Leistungsdichte in Z-Richtung bereit, um gleichbleibende Laserstrahleigenschaften an unterschiedlichen Bearbeitungsstellen aufrechtzuerhalten, beispielsweise an unterschiedlichen Stellen der dreidimensionalen Oberfläche 104, die von dem Laserlichtpunkt 112 berührt werden. Wie in Fig. 1C gezeigt, stellt der kollimierte Laserstrahl 110 mit dem Lichtpunkt 112 an einer Bearbeitungsstelle im Wesentlichen beispielsweise die gleiche Leistungsdichte auf der Oberfläche 104 des Werkstücks 102 bereit wie ein kollimierter Laserstrahl 110a mit einem Lichtpunkt 112a an einer anderen Bearbeitungsstelle. In einem Beispiel mit einem Strahldurchmesser von 2 mm und einer Leistung von 6 kW würde die Leistungsdichte ca. 191 kW/cm^2 betragen. In diesem Beispiel sollte die Leistungsdichte des kollimierten Laserstrahls 110, 110a an der Bearbeitungsstelle des Lichtpunkts 112 und an der Bearbeitungsstelle des Lichtpunkts 112a ca. 191 kW/cm^2 betragen. Somit kann der kollimierte Laserstrahl 110 eine gleichbleibende Leistungsdichte in Z-Richtung über eine relativ grosse Arbeitsentfernung bereitstellen und dadurch einen Vorteil gegenüber Laserbearbeitungssystemen bieten, bei denen ein fokussierter Strahl mit einer Leistungsdichte verwendet wird, die sich entlang der Z-Achse des Strahls signifikant ändert.

[0019] Das Lasersystem 120 kann einen Laser mit jeder beliebigen geeigneten Wellenlänge und Leistung umfassen, um die gewünschte Laserbearbeitung bereitzustellen. Insbesondere kann das Lasersystem 120 einen Glasfaserlaser umfassen, der in der Lage ist, einen Laserstrahl mit einer relativ hohen Leistung zu erzeugen. In einem Beispiel eines Laserauftragschweisssystems umfasst das Lasersystem 120 ein Ytterbium-Glasfaserlasersystem, das in der Lage ist, einen Laserstrahl mit einer Wellenlänge von 1,07 µm und einer Ausgangsleistung im Bereich von 500 W bis 50 kW zu erzeugen, wie beispielsweise der YLS-3000CT von IPG Photonics Corporation. Für die meisten Anwendungen stellt das Lasersystem 120 einen Dauerstrichlaserausgang (CW-Laserausgang) bereit, obwohl modulierte oder gepulste Laser für manche Laserbearbeitungsanwendungen eingesetzt werden können, beispielsweise um eine strukturierte Oberfläche bereitzustellen.

[0020] Der kollimierte Laserstrahl 110 kann entlang der X-Achse oder Y-Achse, wie durch die Pfeile angezeigt, gedithert werden, um eine Laserbearbeitung in mehreren Richtungen und entlang mehrerer Achsen zu ermöglichen. Bei einer Laserauftragschweissanwendung kann Dithering beispielsweise verwendet werden, um ein gewünschtes Temperaturprofil in einem breiteren Bereich des Werkstücks 104 bereitzustellen, bevor das Auftragschweisspulver auf dem Werkstück aufgetragen wird. Das Dithering des kollimierten Laserstrahls 110 kann auch verwendet werden, um einen kontinuierlichen multidirektionalen Auftragschweissprozess zu ermöglichen. Bei einer Laserstrahlschweissanwendung kann das Dithering verwendet werden, um ein Schweissen über einen Bereich zu ermöglichen, der breiter als der Strahldurchmesser ist. Die Richtung, die Geschwindigkeit und das Ausmass des Dithering können je nach Anwendung und/oder Form der Oberfläche 104 des Werkstücks 102 schwanken. In einem Beispiel kann das Dithering in einem Bereich von ±10 mm mit einer relativ schnellen Ansprechzeit von 10 Hz bis 100 Hz bereitgestellt werden. Wie im Folgenden noch detaillierter beschrieben wird, kann das Strahlübertragungssystem 130 verschiedene Arten von Mechanismen für das Dithering des kollimierten Laserstrahls 110 umfassen.

[0021] Der Durchmesser des kollimierten Laserstrahls 110 (und somit der Durchmesser des Lichtpunkts 112) kann ebenso geändert werden, beispielsweise für unterschiedliche Bearbeitungsanwendungen, für unterschiedliche Werkstücke oder für unterschiedliche Bereiche auf einem einzelnen Werkstück. Wie in Fig. 1B gezeigt, kann der Durchmesser des kollimierten Strahls 110 beispielsweise vergrössert werden, um einen Lichtpunkt 112b mit einem grösseren Durchmesser bereitzustellen. In einem Beispiel kann der Durchmesser in einem Bereich von ca. 2 mm bis 10 mm geändert werden. Wie im Folgenden noch detaillierter beschrieben wird, kann das Strahlübertragungssystem 130 ferner eine Kollimationsoptik umfassen, die in der Lage ist, den Durchmesser des kollimierten Laserstrahls 110 zu ändern.

[0022] Der Werkstückträger 140 kann ausserdem in der Lage sein, das Werkstück 102 entlang der X-Achse, der Y-Achse und/oder der Z-Achse zu bewegen und/oder das Werkstück 102 um eine dieser Achsen zu drehen. Das Laserbearbei-

tungssystem 100 umfasst ferner ein Bewegungssteuerungssystem 150, um das Dithering des kollimierten Laserstrahls 110 und/oder die Bewegung des Werkstücks 102 zu steuern. Das Bewegungssteuerungssystem 150 kann jegliche Art von programmierbarem Bewegungssteuerungssystem umfassen (z.B. einen programmierten Computer), das eingesetzt wird, um lineare und/oder rotierende Stufen zu steuern. Das Dithering des kollimierten Laserstrahls 110 und die Bewegung des Werkstücks 102 können durch das Bewegungssteuerungssystem 150 koordiniert werden, um eine ganze Reihe von Laserbearbeitungsmustern (d.h. andere als Geraden) auf der Oberfläche 104 des Werkstücks 102 zu erzeugen.

[0023] Beispiele von Mustern, die durch ein Dithering des kollimierten Laserstrahls 110 mit einer koordinierten Bewegung des Werkstücks 102 erzeugt werden können, sind in Fig. 2A–2D veranschaulicht. Wie in Fig. 2A gezeigt, kann der Laserstrahl gedithert werden, um den Lichtpunkt 112 in Richtung des Pfeils 108 zu bewegen, während sich das Werkstück in Richtung des Pfeils 106 bewegt, um ein schlangenartiges Muster zu bilden. Diese Art Muster kann in einer Schweissanwendung verwendet werden, beispielsweise um den Spalt zwischen zwei Gegenständen, die zusammengeschweisst werden (z.B. dicke Platten, die stumpf geschweisst werden), zu überbrücken. Anders gesagt bewirkt das Dithering, dass sich der Lichtpunkt 112 derart über den Spalt bewegt, dass das Basismaterial in die Schweissnaht gezogen wird. Fig. 2B zeigt eine weitere Abwandlung dieses schlangenartigen Musters, bei dem das Ausmass des Dithering in Richtung des Pfeils 108 schrittweise erhöht wird, während sich das Werkstück in Richtung des Pfeils 106 bewegt. Das Ausmass des Dithering kann auch auf andere Weise geändert werden, um andere Abwandlungen dieses Musters zu erzeugen.

[0024] Wie in Fig. 2C gezeigt, kann der Laserstrahl gedithert werden, um den Lichtpunkt 112 in Richtung des Pfeils 108 oder des Pfeils 109 zu bewegen, während das Werkstück in Richtung der Pfeile 106, 107 bewegt wird, um ein spiralförmiges oder wirbelförmiges Muster zu bilden. Diese Art Muster kann in einer Laserauftragschweissanwendung verwendet werden, beispielsweise um eine Beschichtung aufzutragen, bei der in der Mitte des Werkstücks begonnen und dann nach aussen gearbeitet wird. Anders gesagt kann diese Art Muster vorteilhaft verwendet werden, um eine Beschichtung in mehreren Richtungen mit einer relativ kontinuierlichen Bewegung aufzutragen, anstatt das herkömmliche gerasterte Muster in nur einer Richtung zu verwenden, bei dem das System angehalten und nachgefahren werden muss. Fig. 2D zeigt eine weitere Abwandlung eines Musters aus einer Reihe von Kreisen, die durch Dithering des Strahls in Richtung des Pfeils 108 oder des Pfeils 109 gebildet werden, während das Werkstück in Richtung der Pfeile 106, 107 bewegt wird. Das Dithering des kollimierten Laserstrahls ermöglicht somit Muster, die eine Auftragschweissbeschichtung auf einer grossen Anzahl verschiedener Arten von Oberflächen dynamisch bereitstellen, einschliesslich dreidimensionaler Oberflächen.

[0025] Fig. 3A und 3B zeigen verschiedene Ausgestaltungen eines Laserbearbeitungssystems 300, 300´ mit unterschiedlichen Mechanismen für ein Dithering eines einstellbaren kollimierten Laserstrahls 310. In beiden Laserbearbeitungssystemen 300, 300´ umfasst das Strahlübertragungssystem 330 Kollimationslinsen 332, 334, 336. Ein Paar einstellbarer Linsen 332, 334 (z.B. wie in einer Teleskopanordnung verwendet) stellt einen kollimierten Strahl 310 bereit, dessen Durchmesser eingestellt werden kann, indem eine oder beide Linsen 332, 334 bewegt werden. Eine letzte Kollimationslinse 336 ist fest angebracht und stellt die letzte Kollimation des kollimierten Laserstrahls 310 bereit. In einem Beispiel ist die erste Kollimationslinse 332 in einem Bereich von ca. 8 mm einstellbar und ist die zweite Kollimationslinse 334 in einem Bereich von ca. 40 mm einstellbar, um eine Einstellbarkeit des Strahldurchmessers in einem Bereich von ca. 2 mm bis 10 mm bereitzustellen. In einem Beispiel kann es sich bei der ersten Kollimationslinse 332 um eine konvexe Linse und bei der zweiten Kollimationslinse 334 um eine konkave Linse handeln. Es können auch andere Linsentypen verwendet werden, die zu einer Kollimation des Laserstrahls fähig sind.

[0026] Bei einer Ausgestaltung, die in Fig. 3A gezeigt ist, wird der einstellbare kollimierte Laserstrahl 310 gedithert, indem die Optik des Strahlübertragungssystems 330 bewegt wird, ohne den Glasfaserlaserausgang zu bewegen. Bei dieser Ausgestaltung wird die Optik des Strahlübertragungssystems 330 bewegt, indem eine Tragstruktur 331 bewegt wird, die die Kollimationslinsen 332, 334336 trägt. Insbesondere ist die Tragstruktur 331 an einer X-Y-Stufe 360 der Optik befestigt, die eine lineare Bewegung entlang der X- und Y-Achse bereitstellt und dadurch die lineare Bewegung der Kollimationslinsen 332, 334, 336 entlang der X- und Y-Achse bewirkt.

[0027] Ein Glasfaserlaserabschlussblock 324 ist durch einen Abschlussblockanschluss 326 optisch mit dem Strahlübertragungssystem 330 verbunden und so befestigt, dass sich die Kollimationslinsen 332, 334, 336 bewegen, ohne dass sich der Glasfaserlaserausgang bewegt. Durch eine Bewegung der Kollimationslinsen 332, 334, 336 in einer Richtung, die entweder entlang der X-Achse oder der Y-Achse verläuft, relativ zu dem Glasfaserlaserausgang wird bewirkt, dass sich der von dem Strahlübertragungssystem 330 ausgegebene Ausgang des kollimierten Laserstrahls 310 optisch in eine entgegengesetzte Richtung bewegt, die entlang der X-Achse bzw. der Y-Achse verläuft. Die X-Y-Stufe 360 der Optik bewegt die Kollimationslinsen 332, 334, 336 beispielsweise in einem Bereich, der ausreicht, um den kollimierten Laserstrahl 310 in einem Bereich von ±10 mm zu bewegen. Wird nur die Optik bewegt, ohne dass der gesamte Kopf einschliesslich Glasfaserlaserausgang bewegt wird, kann der kollimierte Laserstrahl 310 mit einer relativ schnellen Ansprechzeit gedithert werden.

[0028] Bei einer weiteren Ausgestaltung, die in Fig. 3B gezeigt ist, wird der einstellbare kollimierte Laserstrahl 310 gedithert, indem der Glasfaserlaserausgang ohne Bewegen der Optik direkt bewegt wird. Der Glasfaserlaserausgang kann durch Bewegen eines Abschlussblocks 324, der einen Glasfaserlaser abschliesst, oder durch Bewegen eines Abschlussblockanschlusses 326, der den Abschlussblock 324 mit dem Strahlübertragungssystem 330 verbindet, direkt bewegt werden. Bei dieser Ausgestaltung ist eine X-Y-Stufe 328 des Glasfaserlaserausgangs entweder mit dem Abschlussblock 324 oder dem Abschlussblockanschluss 326 verbunden, um die Bewegung bereitzustellen, die das Dithering des von dem Abschlussblock 324 kommenden Glasfaserlaserausgangs bewirkt. In einem Beispiel handelt es sich bei dem Abschluss-

block 324 um einen Quarzblock und bei dem Abschlussblockanschluss 326 um einen Quarzblockhalteranschluss (QBH-Anschluss). In einem Beispiel umfasst die X-Y-Stufe 328 des Glasfaserlaserausgangs einen oder mehrere piezoelektrische Motoren oder Stellglieder (PZT-Motoren oder -Stellglieder). Wird der Abschlussblock 324 oder der Abschlussblockanschluss 326 bewegt, um den Glasfaserlaserausgang direkt zu bewegen, kann somit eine noch schnellere Ansprechzeit bereitgestellt werden.

[0029] Das Dithering des kollimierten Laserstrahls 310 durch ausschliessliches Bewegen der Optik oder durch ausschliessliches Bewegen des Glasfaserlaserausgangs, wie oben beschrieben, trägt ausserdem dazu bei, die Kollimation des Strahls während der Bearbeitung aufrechtzuerhalten. Somit kann die gleichbleibende Leistungsdichte in Z-Richtung des kollimierten Laserstrahls 310 aufrechterhalten werden, wenn der Laserstrahl während der Bearbeitung gedithert wird. Auch wenn die veranschaulichten Ausgestaltungen zu einem Dithering in X-Richtung oder in Y-Richtung fähig sind, können in weiteren Ausgestaltungen Stufen verwendet werden, die eine lineare Bewegung nur entlang einer Achse bereitstellen.

[0030] In beiden Ausgestaltungen kann das Dithering des kollimierten Laserstrahls 310 mit der Bewegung des Werkstücks 302 koordiniert werden. In dem in Fig. 3A gezeigten System ist ein Bewegungssteuerungssystem 350 mit einer X-Y-Stufe 340 des Werkstückträgers und mit der X-Y-Stufe 360 der Optik verbunden, um die Bewegung der Stufen 340, 360 zu steuern und das Dithering des kollimierten Laserstrahls 310 mit der Bewegung des Werkstücks 302 zu koordinieren. In dem in Fig. 3B gezeigten System ist ein Bewegungssteuerungssystem 350 sowohl mit der X-Y-Stufe 338 des Glasfaserlaserausgangs als auch mit der X-Y-Stufe 340 des Werkstückträgers verbunden, um die Bewegung der Stufen 338, 340 zu steuern und das Dithering des kollimierten Laserstrahls 310 mit der Bewegung des Werkstücks 302 zu koordinieren.

[0031] Unter Bezugnahme auf Fig. 4–6 wird nun eine Ausgestaltung eines Strahlübertragungssystems 430 mit bewegbarer Optik detailliert beschrieben. Das Strahlübertragungssystem 430 umfasst eine Tragstruktur 431, die die Kollimationslinsen 432, 434, 436 trägt. Die Kollimationslinsen 432, 434, 436 sind in Rahmen gesichert und durch die Tragstruktur 431 derart getragen, dass die Kollimationslinsen 432, 434, 436 so ausgerichtet sind, dass der Laserstrahl von der ersten Kollimationslinse 432 zu der letzten Kollimationslinse 436 durchtreten kann. Wie in dieser Ausgestaltung veranschaulicht, können die erste und die zweite einstellbare Linse 432, 434 wassergekühlte Linsen umfassen, um eine Spaltbildung aufgrund der Laserenergie zu verhindern.

[0032] Die Tragstruktur 431 wird auf einer linearen X-Y-Stufe 460 getragen, um eine Bewegung in X-Y-Richtung wie oben beschrieben zu ermöglichen. Die lineare X-Y-Stufe 460 umfasst ein in einer ersten Richtung wirkendes lineares Stellglied 462 zum Bereitstellen einer linearen Bewegung in X-Richtung und ein in einer zweiten Richtung wirkendes lineares Stellglied 464 zum Bereitstellen einer Bewegung in Y-Richtung. Bei der veranschaulichten Ausgestaltung umfassen die linearen Stellglieder 462, 464 einen Wagen, der auf einer motorischen Leitspindel entlanggleitet. Bei weiteren Ausgestaltungen können die linearen Stellglieder jeglichen Stellgliedtyp umfassen, der in der Lage ist, eine lineare Bewegung mit der gewünschten Ansprechzeit bereitzustellen, unter anderem einschliesslich eines linearen Motors oder eines piezoelektrischen Motors (PZT-Motors).

[0033] Die einstellbaren Kollimationslinsen 432, 434 sind an Z-Achsen-Wagen 433 bzw. 435 für eine Bewegung in Z-Richtung befestigt. Die Z-Achsen-Wagen 433, 435 werden verschiebbar durch die Tragstruktur 431 getragen und durch die linearen Stellglieder 437 bzw. 439 bewegt, die an der Tragstruktur 431 befestigt sind (siehe Fig. 6). Bei der veranschaulichten Ausgestaltung umfassen die linearen Stellglieder 437, 439 motorische Leitspindeln. Bei anderen Ausgestaltungen können andere Typen von linearen Stellgliedern verwendet werden.

[0034] Unter Bezugnahme auf Fig. 7 wird ein Laserauftragschweisssystem 700 nach Ausgestaltungen der vorliegenden Offenbarung gezeigt und beschrieben. Das Laserauftragschweisssystem 700 umfasst ein Auftragsmaterialübertragungssystem 770, das an einem optischen Gehäuse 780 befestigt ist, welches ein Strahlübertragungssystem 730 wie beispielsweise oben beschrieben umschliesst. Die Ausgangsglasfaser 722 eines Glasfaserlasers ist mit dem optischen Gehäuse 780 mit einem Abschlussblockanschluss 726 derart verbunden, dass der Glasfaserlaserausgang (d.h. ein Glasfaserabschlussblock 724) auf das Strahlübertragungssystem 730 in dem optischen Gehäuse 780 ausgerichtet und mit diesem optisch verbunden ist.

[0035] Bei dieser Ausgestaltung umfasst das Auftragsmaterialübertragungssystem 770 eine Düse 772 für die Übertragung eines Auftragpulvermaterials zusammen mit einem Hochgeschwindigkeitsgas zu dem Werkstück, wie beispielsweise in den internationalen Patentanmeldungen Veröffentlichungsnummer WO 2013/061 085 und WO 2013/061 086 beschrieben, die durch Literaturhinweis in das vorliegende Dokument eingefügt sind. Das Auftragmaterialübertragungssystem 770 ist mit einer Pulverübertragungsleitung 774 und einer Gasübertragungsleitung 776 verbunden, um das Auftragpulvermaterial bzw. -gas zuzuführen. Bei anderen Ausgestaltungen kann das Auftragmaterialübertragungssystem so konfiguriert sein, dass andere Formen von Auftragmaterial, wie beispielsweise ein Draht, übertragen werden.

[0036] Das optische Gehäuse 780 umschliesst ausserdem eine X-Y-Stufe 760 der Optik, um das Strahlübertragungssystem 730 wie oben beschrieben in X-Richtung oder Y-Richtung zu bewegen. Alternativ kann das Gehäuse 780 eine X-Y-Stufe 728 des Glasfaserlaserausgangs umschliessen, um entweder den Glasfaserabschlussblockanschluss 726 oder den Glasfaserabschlussblock 724 zu bewegen. Ein Bewegungssteuerungssystem 750 kann die Bewegung der X-Y-Stufe 760 der Optik oder die X-Y-Stufe 728 des Glasfaserlaserausgangs steuern, um die Bewegung des Werkstücks 702 in Koordination mit dem Dithering des kollimierten Laserstrahls 710 wie oben erörtert zu steuern.

[0037] Im Betrieb kann das Strahlübertragungssystem 730 den kollimierten Laserstrahl 710 auf das Werkstück vor dem Pulvermaterial richten und kann gedithert werden, um ein gewünschtes Temperaturprofil auf dem Werkstück 702 bereitzustellen. Der kollimierte Laserstrahl 710 kann auch in Koordination mit der Bewegung des Werkstücks 702 auf dem Werkstück 702 gedithert werden, um die Beschichtung in verschiedenen Mustern aufzutragen, die beispielsweise die Auftragschweissung auf dreidimensionalen Oberflächen ermöglichen.

[0038] Unter Bezugnahme auf Fig. 8–12 wird nun eine Ausgestaltung eines integrierten optischen Laserauftragschweisskopfes 800 detailliert beschrieben. Der integrierte optische Laserauftragschweisskopf 800 umfasst ein Auftragpulverübertragungssystem 870, das mit einem Winkel 871 an einem optischen Gehäuse 880 befestigt ist, welches ein Strahlübertragungssystem 830 umschliesst (siehe Fig. 11). Bei dieser Ausgestaltung umfasst das Strahlübertragungssystem 830 eine bewegliche Optik für das Dithering eines kollimierten Laserstrahls, wie in Fig. 4–6 gezeigt und oben beschrieben. Ein Quarzblockhalteranschluss (QBH-Anschluss) 826 ist mit dem optischen Gehäuse 880 derart verbunden, dass ein Quarzblock 824 auf das Strahlübertragungssystem 830 ausgerichtet und optisch mit diesem verbunden ist (siehe Fig. 11). Ein Opferfenster 882 befindet sich an dem gegenüberliegenden Ende des optischen Gehäuses 880, um zu ermöglichen, dass der kollimierte Laserstrahl aus dem optischen Gehäuse 880 heraus auf ein Werkstück gerichtet wird.

[0039] Das Auftragpulverübertragungssystem 870 umfasst eine Düse 872 für die Übertragung des Auftragpulvermaterials zusammen mit einem erhitzten Gas bei hoher Geschwindigkeit. Obwohl die Düse 872 relativ zu dem optischen Gehäuse 880 befestigt ist, ermöglicht das Dithering des kollimierten Laserstrahls, der von dem Strahlübertragungssystem 830 bereitgestellt wird, dass der Laserstrahl relativ zu dem auf dem Werkstück auftreffenden Pulver bewegt werden kann.

[0040] Bei dieser Ausgestaltung ist ausserdem ein Überwachungssystemgehäuse 890 an dem optischen Gehäuse 880 befestigt. Das Überwachungssystemgehäuse 890 umschliesst Überwachungssysteme zum Überwachen der Auftragschweissbearbeitung, wie beispielsweise ein Pyrometer zur Überwachung der Temperatur des Bearbeitungsbereichs.

[0041] Wie in Fig. 13 gezeigt, kann der integrierte optische Laserauftragschweisskopf 800 in einem Gehäuse 899 relativ zu einem Werkstückträger 840 befestigt sein, der ein Werkstück trägt und bewegt. Bei der veranschaulichten Ausgestaltung ist der Werkstückträger 840 ein Roboterarm, der das Werkstück drehen und das Werkstück in X-, Y- und Z-Richtung bewegen kann. Somit bleibt der integrierte optische Laserauftragschweisskopf 800 befestigt, während das Werkstück von dem Werkstückträger 840 bewegt und/oder der kollimierte Laserstrahl in dem optischen Gehäuse 880 gedithert wird.

[0042] Dementsprechend sind Laserbearbeitungssysteme und -verfahren nach hierin beschriebenen Ausgestaltungen fähig, komplexere dreidimensionale Oberflächen durch Dithering des Laserstrahls zu bearbeiten, während gleichbleibende Laserstrahleigenschaften an Bearbeitungsstellen aufrechterhalten werden.

[0043] Während die Grundsätze der Erfindung vorliegend beschrieben worden sind, versteht es sich für Fachleute, dass diese Beschreibung nur beispielhaft erfolgt und den Umfang der Erfindung nicht einschränkt. Neben den beispielhaften Ausgestaltungen, die vorliegend gezeigt und beschrieben sind, sind innerhalb des Umfangs der vorliegenden Erfindung weitere Ausgestaltungen denkbar. Änderungen und Ersetzungen durch den Durchschnittsfachmann gelten als innerhalb des Umfangs der vorliegenden Erfindung befindlich, der ausser durch die nachfolgenden Ansprüche nicht eingeschränkt werden darf.

Patentansprüche

1. Verfahren für die Laserbearbeitung eines Werkstücks, welches Folgendes umfasst:
   Erzeugen eines kollimierten Laserstrahls mit einer gleichbleibenden Leistungsdichte in Z-Richtung entlang wenigstens eines Abschnitts einer Länge des kollimierten Laserstrahls,
   Richten des kollimierten Laserstrahls auf ein Werkstück, um einen Lichtpunkt auf dem Werkstück zu bilden,
   Bewegen des Werkstücks derart, dass der Lichtpunkt die Bearbeitung auf der Oberfläche des Werkstücks ermöglicht, während sich das Werkstück bewegt, und
   Dithering des kollimierten Laserstrahls entlang der X- oder Y-Achse derart, dass der Lichtpunkt auf dem Werkstück gedithert wird, während das Werkstück bewegt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Erzeugen des kollimierten Laserstrahls das Leiten eines Laserausgangs durch wenigstens zwei Kollimationslinsen umfasst.
3. Verfahren nach Anspruch 2, wobei wenigstens eine der Kollimationslinsen in Z-Richtung bewegbar ist, um einen Durchmesser des Lichtpunkts auf dem Werkstück zu ändern.
4. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die Laserbearbeitung als Auftragschweissen durchgeführt wird.
5. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die Laserbearbeitung als Schweissen durchgeführt wird.
6. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die Laserbearbeitung als eine Oberflächenreinigung durchgeführt wird.
7. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Werkstück eine dreidimensionale Oberfläche aufweist und wobei der kollimierte Laserstrahl die gleichbleibende Leistungsdichte in Z-Richtung an unterschiedlichen Bearbeitungsstellen auf der dreidimensionalen Oberfläche bereitstellt.
8. Verfahren nach Anspruch 7, wobei die Laserbearbeitung an einer Turbinenschaufel durchgeführt wird.

9. Verfahren nach Anspruch 7, wobei die Laserbearbeitung an einem Ventilsitz durchgeführt wird.

10. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Dithering des kollimierten Laserstrahls das Bewegen einer Optik in einem Strahlübertragungssystem umfasst, ohne dass ein optisch mit dem Strahlübertragungssystem verbundener Laserausgang bewegt wird.

11. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Dithering des kollimierten Laserstrahls das Bewegen eines Glasfaserlaserausgangs umfasst, ohne dass eine Optik eines optisch mit dem Glasfaserlaserausgang verbundenen Strahlübertragungssystems bewegt wird.

12. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der kollimierte Laserstrahl gedithert wird in Koordination mit einer Bewegung des Werkstücks, sodass der Lichtpunkt sich auf der Oberfläche des Werkstücks derart bewegt, dass sich ein kontinuierliches Muster ausbildet.

13. Verfahren nach Anspruch 12, wobei es sich bei dem Muster um ein schlangenartiges Muster handelt.

14. Verfahren nach Anspruch 12, wobei es sich bei dem Muster um ein spiralförmiges Muster handelt.

15. Laserbearbeitungssystem zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 14, umfassend:
ein Glasfaserlasersystem,
ein Strahlübertragungssystem, das mit einem Glasfaserlaserausgang des Glasfaserlasersystems optisch verbunden ist, wobei das Strahlübertragungssystem Kollimationslinsen umfasst, um einen kollimierten Laserstrahl zu erzeugen, wobei wenigstens eine der Kollimationslinsen in Z-Richtung bewegbar ist, um einen Durchmesser des kollimierten Strahls zu ändern,
Mittel zum Bewegen des Glasfaserlaserausgangs relativ zu den Kollimationslinsen, um den kollimierten Laserstrahl in X-oder Y-Richtung zu dithern,
einen Werkstückträger zum Tragen und Bewegen eines Werkstücks und
ein Bewegungssteuerungssystem zum Steuern der Bewegung des Werkstückträgers und der Mittel zum Bewegen des Glasfaserlaserausgangs relativ zu den Kollimationslinsen.

16. Laserbearbeitungssystem nach Anspruch 15, wobei die Mittel zum Bewegen des Glasfaserlaserausgangs relativ zu den Kollimationslinsen eine X-Y-Stufe der Optik zum Bewegen der Kollimationslinsen umfassen, ohne dass der Glasfaserlaserausgang bewegt wird.

17. Laserbearbeitungssystem nach Anspruch 15, wobei die Mittel zum Bewegen des Glasfaserlaserausgangs relativ zu den Kollimationslinsen eine X-Y-Stufe des Glasfaserlaserausgangs zum Bewegen des Glasfaserlaserausgangs umfassen, ohne dass die Kollimationslinsen bewegt werden.

18. Optischer Kopf für ein Laserbearbeitungssystems nach einem der Ansprüche 15 bis 17, umfassend:
ein Gehäuse,
einen Glasfaserlaseranschluss zum Anschliessen eines Glasfaserlaserausgangs an das Gehäuse an einem Ende des Gehäuses,
ein Strahlübertragungssystem, das in dem Gehäuse untergebracht und optisch mit dem Glasfaserlaserausgang verbunden ist, wobei das Strahlübertragungssystem Folgendes umfasst:
erste und zweite Kollimationslinsen zum Bereitstellen eines kollimierten Laserstrahls, wobei wenigstens eine der ersten und zweiten Kollimationslinsen in Z-Richtung bewegbar ist, um einen Durchmesser des kollimierten Laserstrahls zu ändern, und
eine letzte Kollimationslinse zum Bereitstellen einer letzten Kollimation des kollimierten Laserstrahls und
eine X-Y-Stufe der Optik, die in dem Gehäuse untergebracht ist und die Kollimationslinsen für die Bewegung in X- und Y-Richtung trägt.

19. Optischer Kopf nach Anspruch 18, ferner ein Opferfenster umfassend, das sich an einem anderen Ende des Gehäuses befindet, um zu ermöglichen, dass der kollimierte Laserstrahl aus dem Gehäuse geleitet wird.

20. Optischer Kopf nach Anspruch 18, ferner eine Tragstruktur sowie erste und zweite Linsenwagen umfassend, die auf der Tragstruktur zur Bewegung in Z-Richtung verschiebbar an der Tragstruktur befestigt sind, wobei die ersten und zweiten Kollimationslinsen an den ersten bzw. zweiten Linsenwagen befestigt sind und wobei die Tragstruktur an der X-Y-Stufe der Optik befestigt ist.

21. Optischer Kopf nach Anspruch 18, wobei die ersten und zweiten Kollimationslinsen konkave bzw. konvexe Linsen umfassen.

22. Anwendung des Verfahrens zur Laserbearbeitung nach einem der Ansprüche 1 bis 4 bei einem Laserauftragschweissverfahren zum Auftragen einer Auftragschweissschicht auf einem Werkstück, wobei das Verfahren Folgendes umfasst:
Erzeugen eines kollimierten Laserstrahls mit einer gleichbleibenden Leistungsdichte in Z-Richtung entlang wenigstens eines Abschnitts einer Länge des kollimierten Laserstrahls,
Richten des kollimierten Laserstrahls auf ein Werkstück, um einen Lichtpunkt auf dem Werkstück bereitzustellen,
Richten eines Auftragschweissmaterials auf das Werkstück derart, dass das Auftragschweissmaterial auf der Oberfläche des Werkstücks in einem Bereich auftrifft, der durch den Lichtpunkt erhitzt wird, und

Bewegen des Werkstücks derart, dass das Auftragschweissmaterial auf der Oberfläche des Werkstücks eine Auftragschweissschicht bildet, während sich das Werkstück bewegt.

23. Anwendung nach Anspruch 22, ferner umfassend: Dithering des kollimierten Laserstrahls entlang der X- oder Y-Achse derart, dass der Lichtpunkt auf dem Werkstück gedithert wird, während das Werkstück bewegt wird.
24. Anwendung nach Anspruch 23, wobei das Werkstück eine dreidimensionale Oberfläche aufweist und wobei der kollimierte Laserstrahl die gleichbleibende Leistungsdichte in Z-Richtung an unterschiedlichen Bearbeitungsstellen auf der dreidimensionalen Oberfläche bereitstellt.
25. Anwendung nach Anspruch 22, wobei das Werkstück eine dreidimensionale Oberfläche aufweist und wobei der kollimierte Laserstrahl die gleichbleibende Leistungsdichte in Z-Richtung an unterschiedlichen Bearbeitungsstellen auf der dreidimensionalen Oberfläche bereitstellt.
26. Anwendung Anspruch 25, wobei es sich bei dem Werkstück um eine Turbinenschaufel handelt.
27. Anwendung nach Anspruch 22, wobei das Erzeugen des kollimierten Laserstrahls das Leiten eines Laserausgangs durch wenigstens zwei Kollimationslinsen umfasst.
28. Anwendung nach Anspruch 27, wobei wenigstens eine der Kollimationslinsen in Z-Richtung bewegbar ist, um einen Durchmesser des Lichtpunkts auf dem Werkstück zu ändern.
29. Anwendung nach Anspruch 22, wobei das Dithering des kollimierten Laserstrahls das Bewegen einer Optik in einem Strahlübertragungssystem umfasst, ohne dass ein optisch mit dem Strahlübertragungssystem verbundener Laserausgang bewegt wird.
30. Anwendung nach Anspruch 22, wobei das Dithering des kollimierten Laserstrahls das Bewegen eines Glasfaserlaserausgangs umfasst, ohne dass eine Optik eines optisch mit dem Glasfaserlaserausgang verbundenen Strahlübertragungssystems bewegt wird.
31. Anwendung nach Anspruch 22, wobei der kollimierte Laserstrahl in Koordination mit einer Bewegung des Werkstücks derart gedithert wird, dass sich der Lichtpunkt in einem kontinuierlichen Muster auf der Oberfläche des Werkstücks bewegt.
32. Anwendung nach Anspruch 31, wobei es sich bei dem Muster um ein spiralförmiges Muster handelt.
33. Anwendung nach Anspruch 22, wobei es sich bei dem Auftragschweissmaterial um Pulver handelt, das in einem Gasstrom mitgerissen wird.
34. Verwendung des Laserbearbeitungssystems nach einem der Ansprüche 15 bis 17 als Laserauftragschweisssystem, zusätzlich umfassend
ein Pulverübertragungssystem zum Übertragen von Auftragschweisspulver auf das Werkstück derart, dass das Auftragschweisspulver auf der Oberfläche des Werkstücks in einem Bereich auftrifft, der durch den kollimierten Laserstrahl erhitzt wird.
35. Verwendung nach Anspruch 34, wobei die Mittel zum Bewegen des Glasfaserlaserausgangs relativ zu den Kollimationslinsen eine X-Y-Stufe der Optik zum Bewegen der Kollimationslinsen umfassen, ohne dass der Glasfaserlaserausgang bewegt wird.
36. Verwendung nach Anspruch 34, wobei die Mittel zum Bewegen des Glasfaserlaserausgangs relativ zu den Kollimationslinsen eine X-Y-Stufe des Glasfaserlaserausgangs zum Bewegen des Glasfaserlaserausgangs umfassen, ohne dass die Kollimationslinsen bewegt werden.
37. Verwendung nach Anspruch 34, ferner ein optisches Gehäuse umfassend, welches das Strahlübertragungssystem umschliesst, wobei das Pulverübertragungssystem an dem optischen Gehäuse befestigt ist, um einen integrierten optischen Laserauftragschweisskopf zu bilden.
38. Verwendung des optischen Kopfs nach einem der Ansprüche 18 bis 21 als integrierter optischer Laserauftragschweisskopf, zusätzlich umfassend
ein Pulverübertragungssystem, das eine an dem Gehäuse befestigte Pulverübertragungsdüse aufweist und zum Übertragen von Auftragschweisspulver auf das Werkstück derart bestimmt ist, dass das Auftragschweisspulver auf der Oberfläche des Werkstücks in einem Bereich auftrifft, der durch den kollimierten Laserstrahl erhitzt wird.
39. Verwendung nach Anspruch 38, ferner ein Opferfenster umfassend, das sich an einem anderen Ende des Gehäuses befindet, um zu ermöglichen, dass der kollimierte Laserstrahl aus dem Gehäuse geleitet wird.
40. Verwendung nach Anspruch 38, ferner eine Tragstruktur sowie erste und zweite Linsenwagen umfassend, die auf der Tragstruktur zur Bewegung in Z-Richtung verschiebbar an der Tragstruktur befestigt sind, wobei die ersten und zweiten Kollimationslinsen an den ersten bzw. zweiten Linsenwagen befestigt sind und wobei die Tragstruktur an der X-Y-Stufe der Optik befestigt ist.

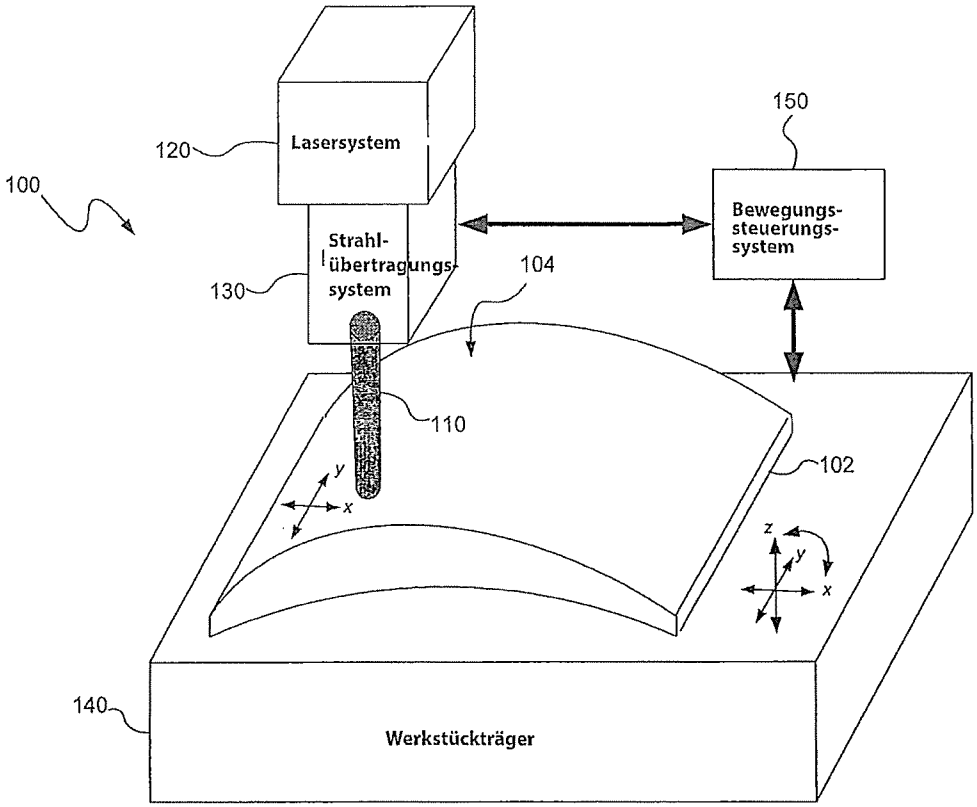

100
120
Lasersystem
150
Bewegungs-
steuerungs-
system
Strahl-
übertragungs-
system
130
104
110
102
y
x
z
y
x
140
Werkstückträger

Abb. 1A

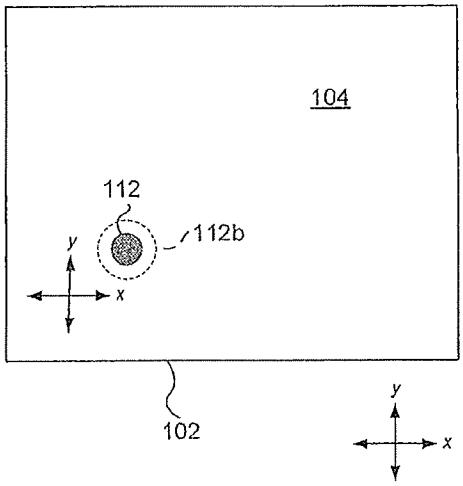


Abb. 1B

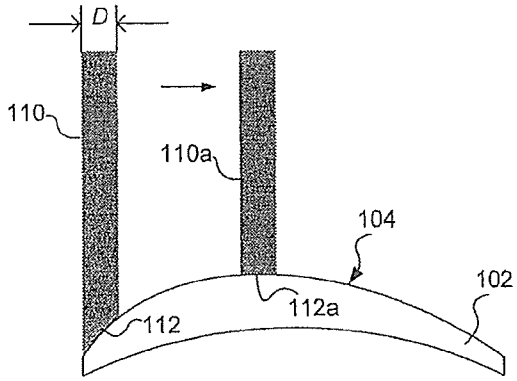


Abb. 1C

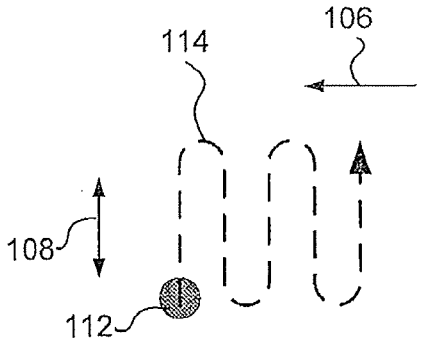


Abb. 2A

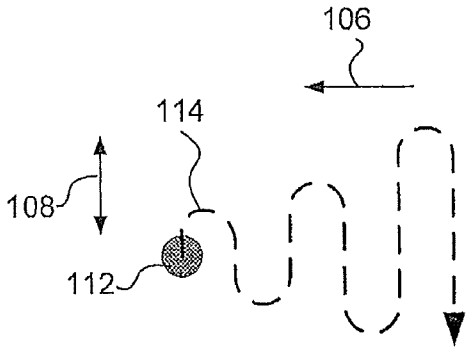


Abb. 2B

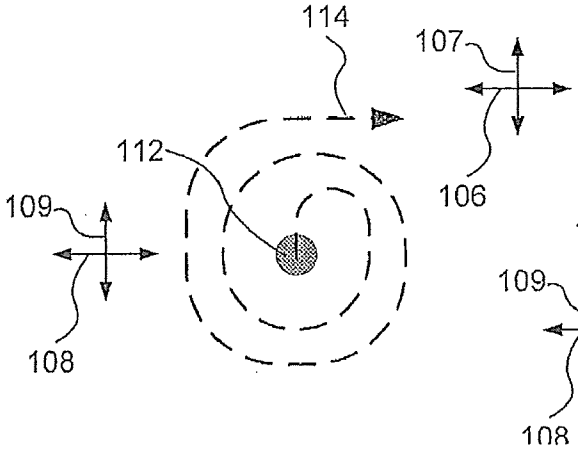


Abb. 2C

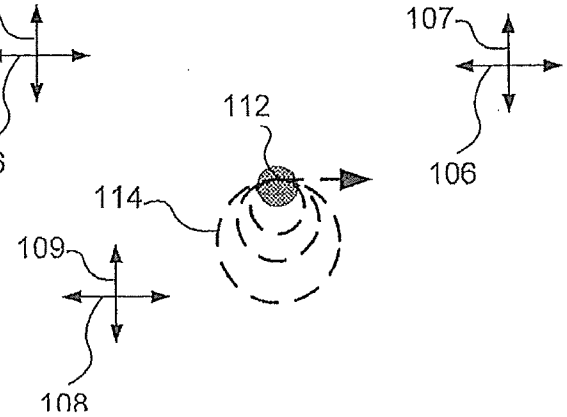


Abb. 2D

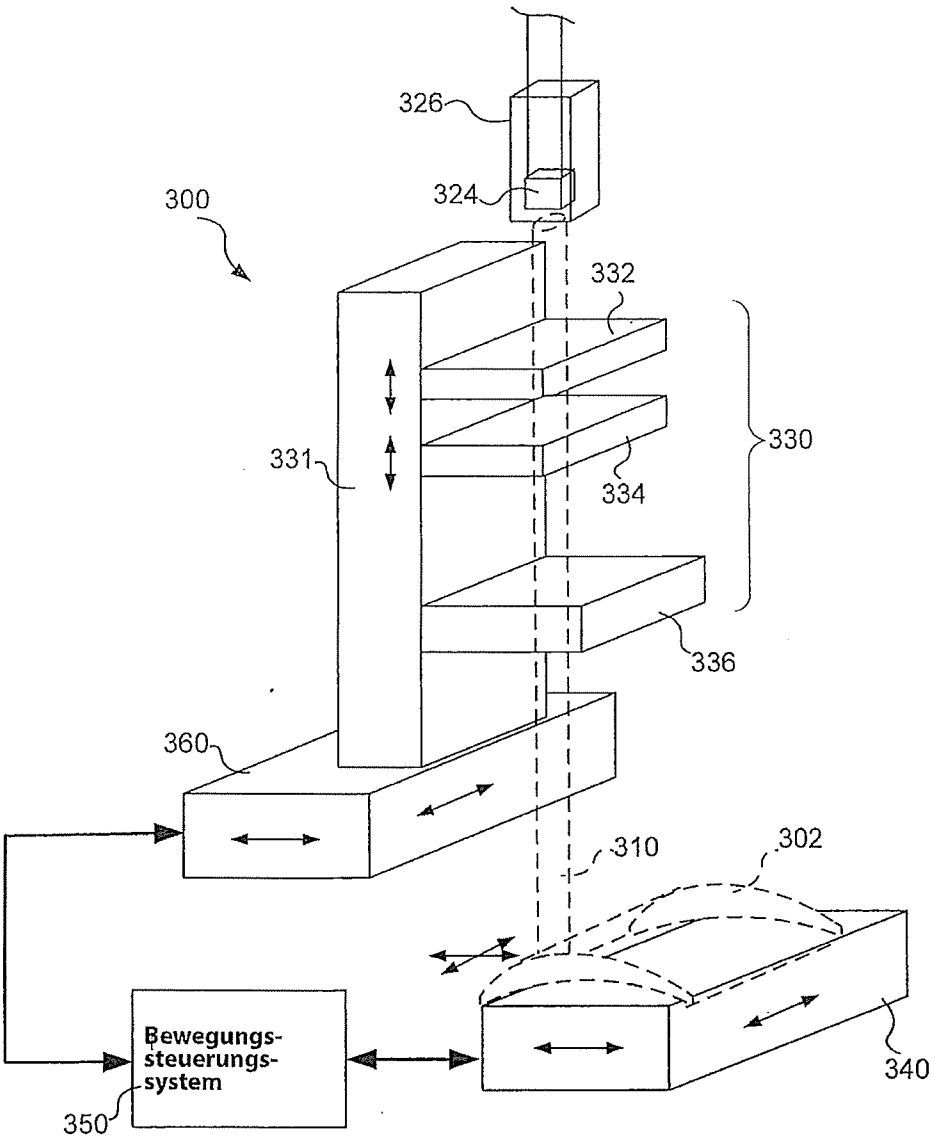

326
324
300
332
330
331
334
336
360
310
302
Bewegungs-
steuerungs-
system
350
340

Abb. 3A

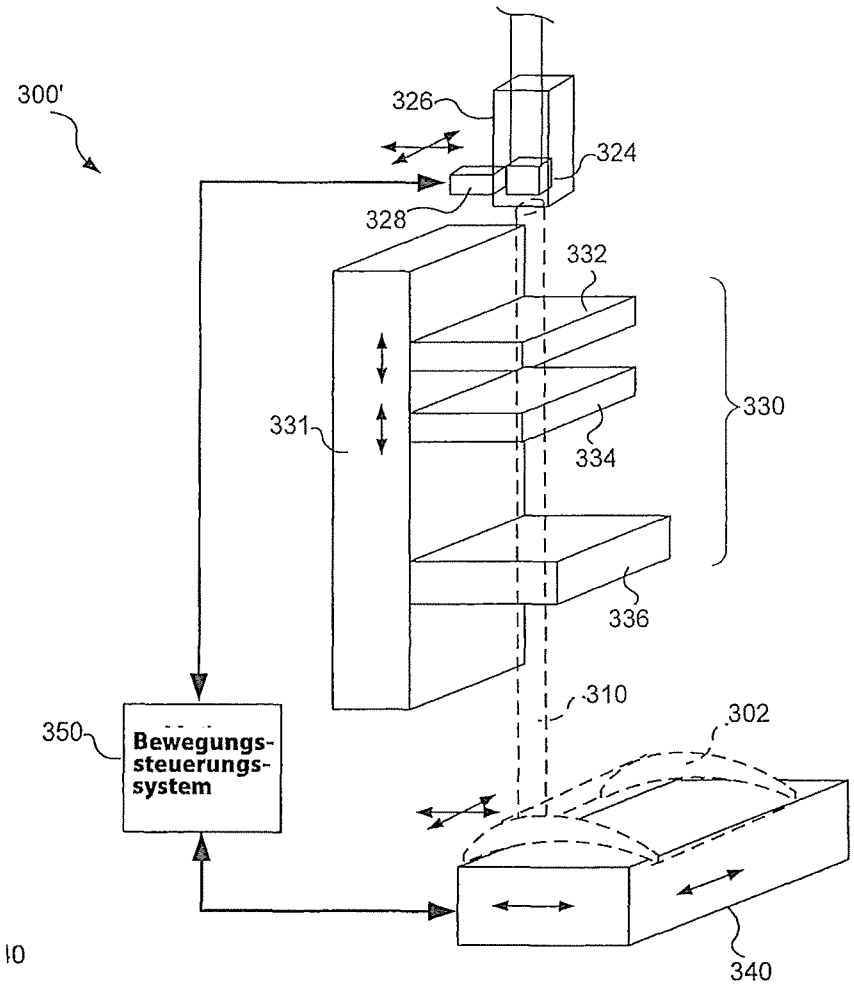

300'
326
324
328
332
330
331
334
336
310
302
350
Bewegungs-
steuerungs-
system
340

Abb. **3B**

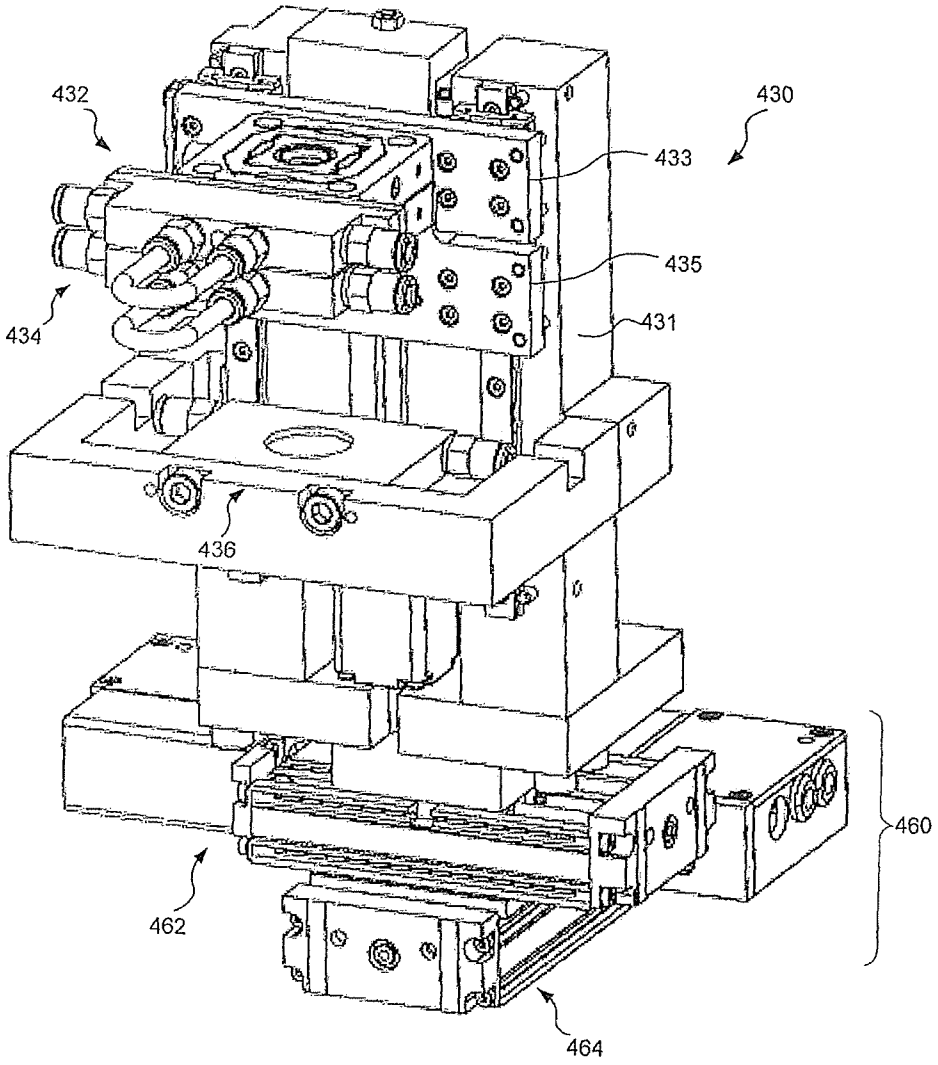


Abb. 4

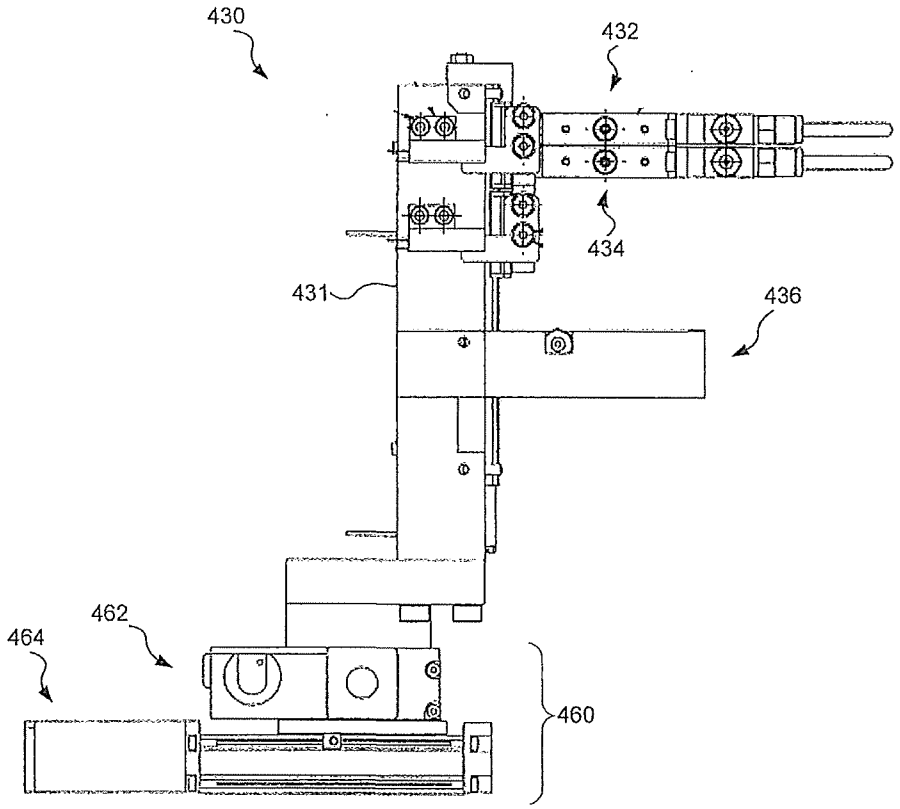


Abb. 5

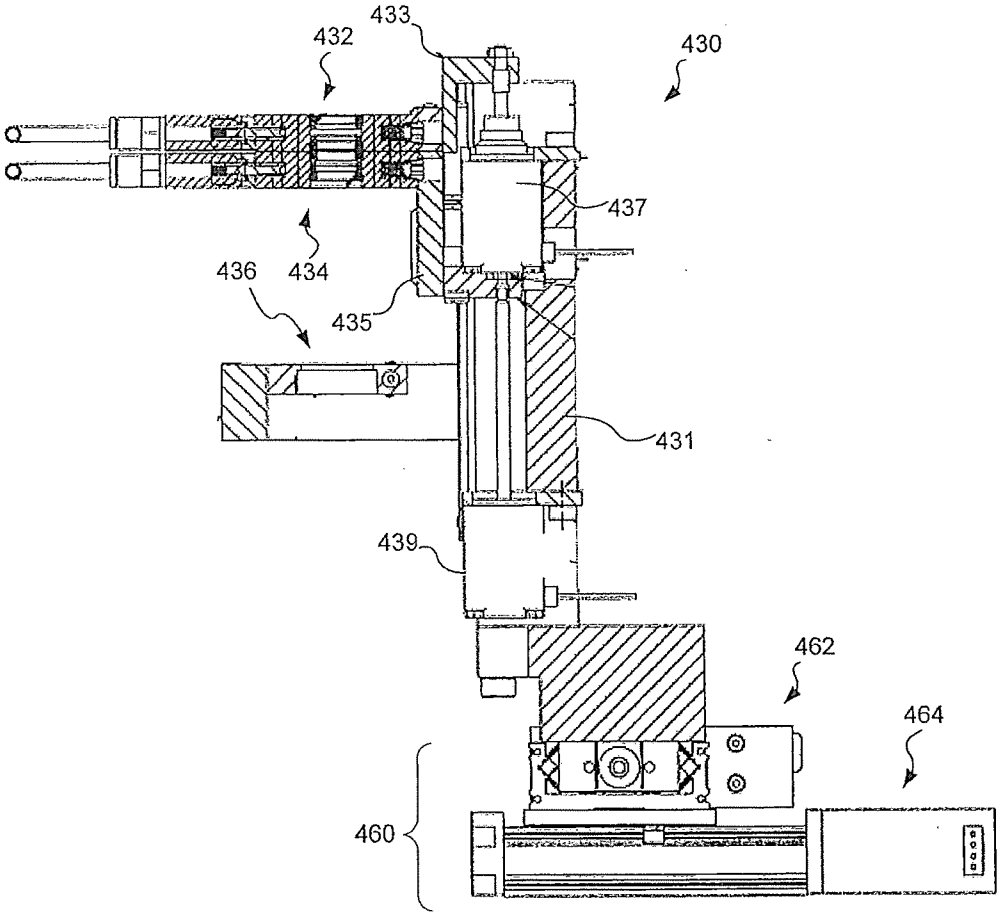


Abb. 6

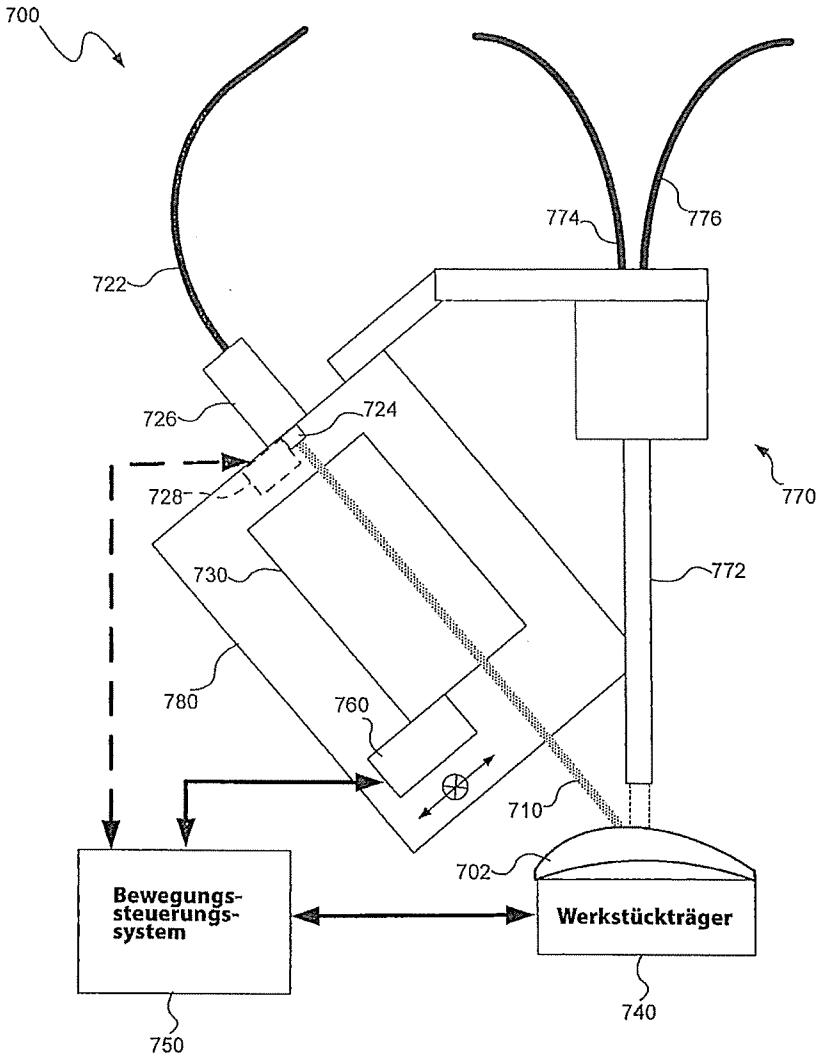

700
774
776
722
726
724
728
770
730
772
780
760
710
702
Bewegungs-
steuerungs-
system
Werkstückträger
740
750

Abb. 7

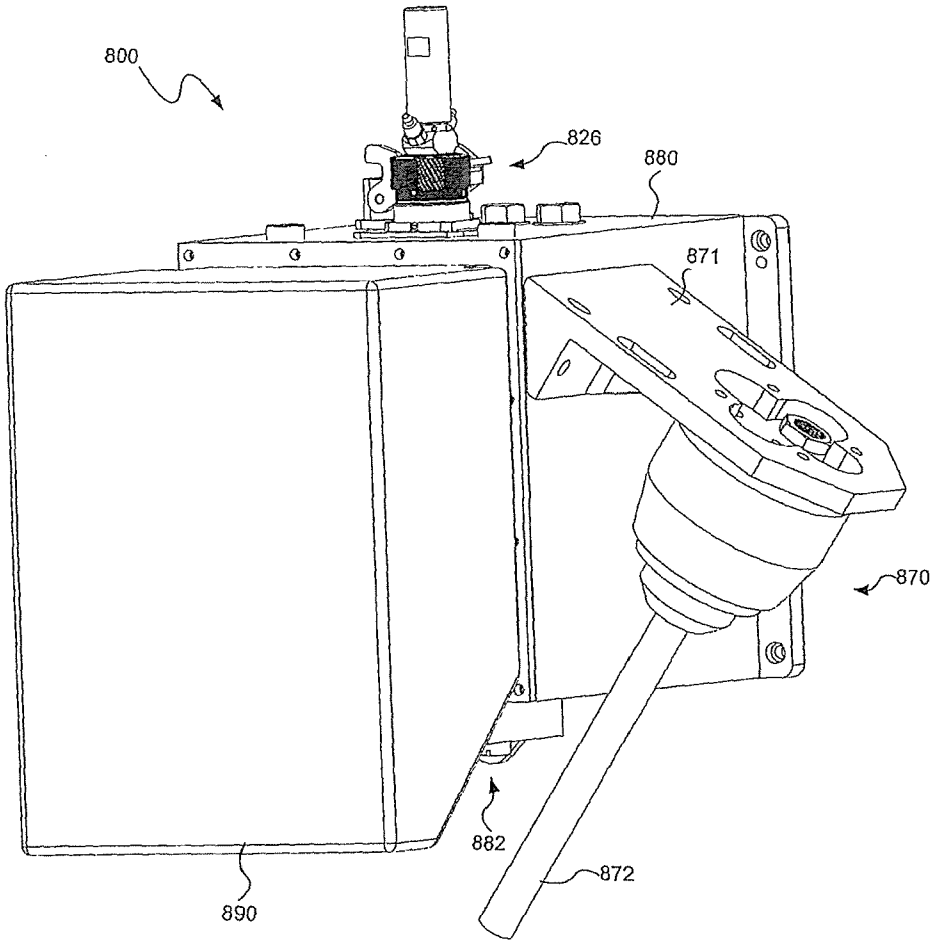


Abb. 8

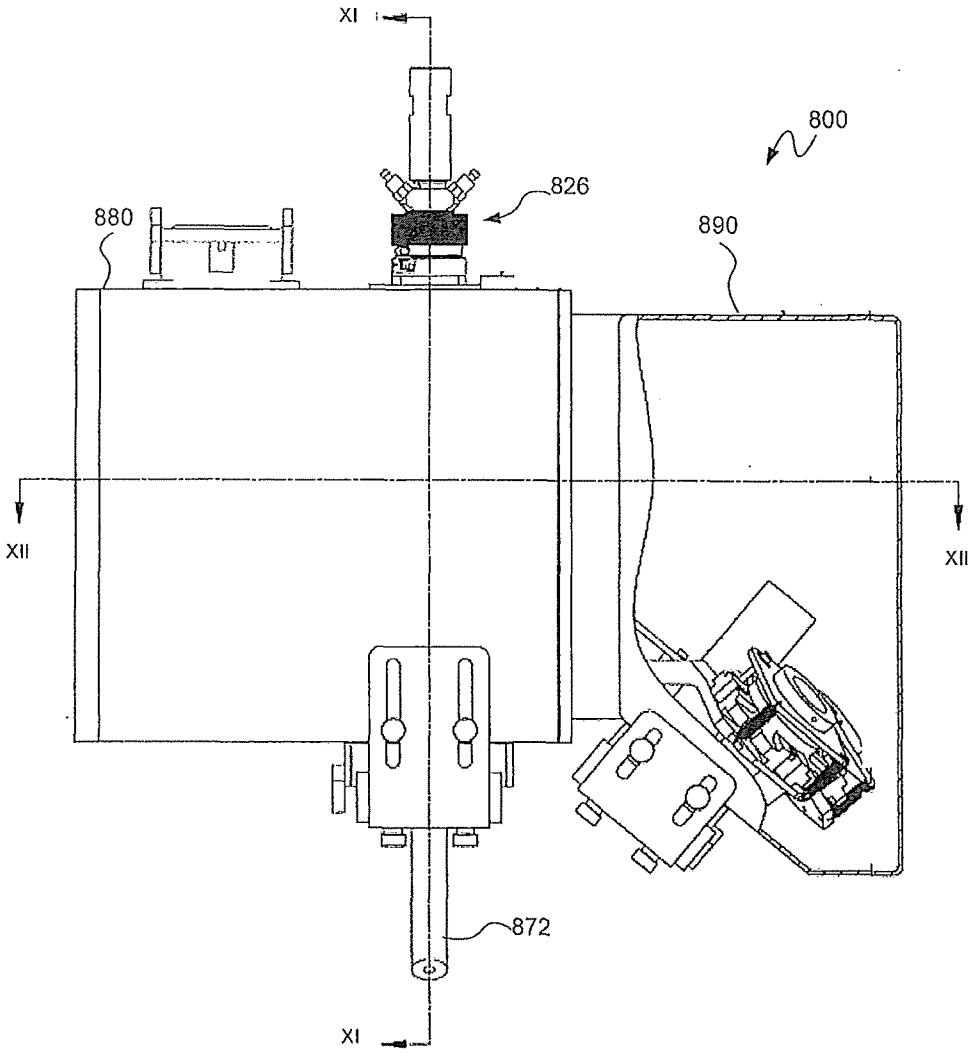


Abb. 9

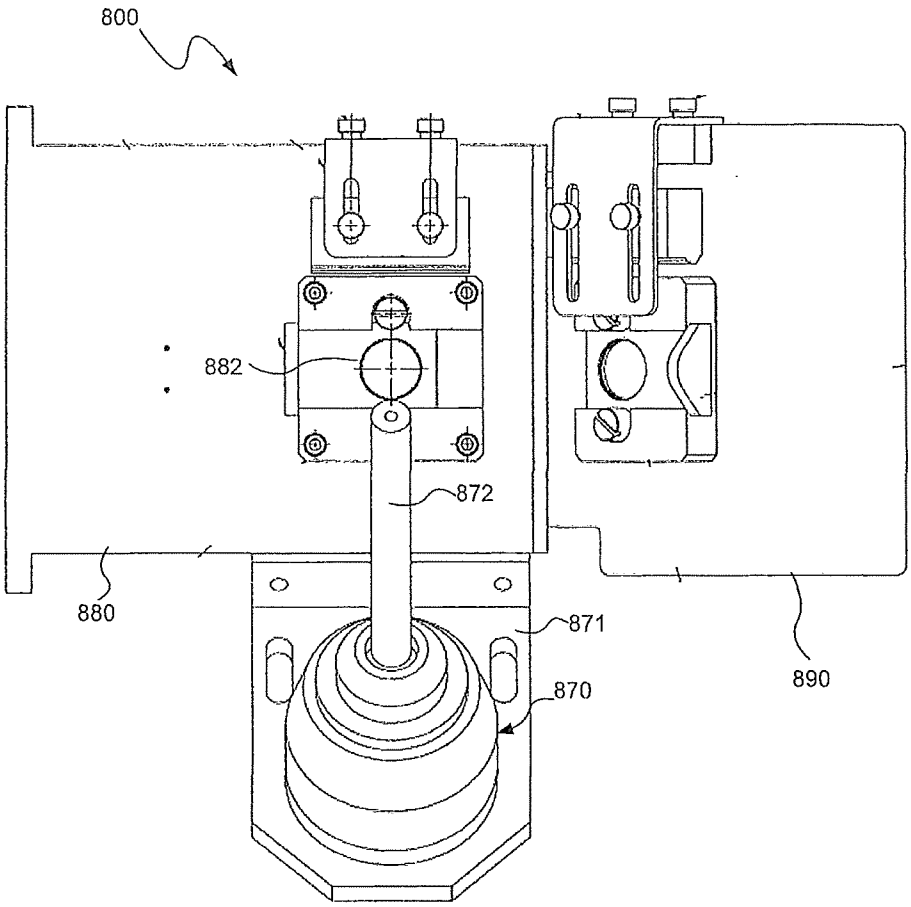
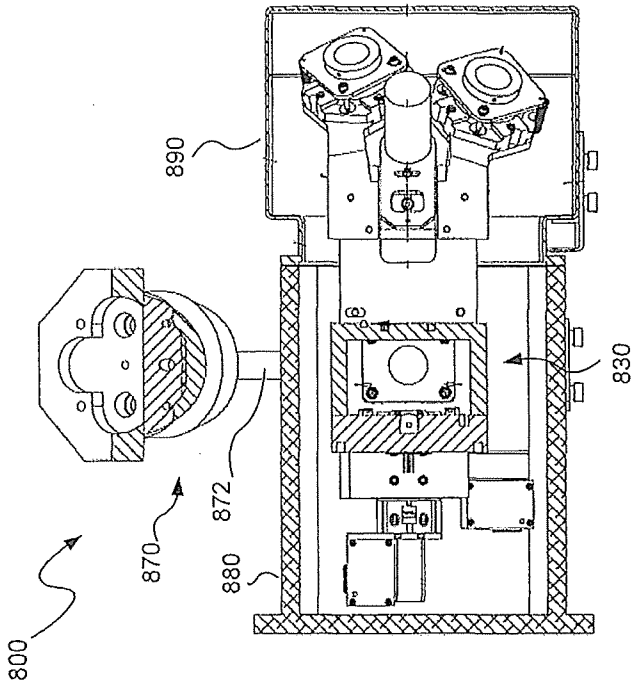


Abb. 10

Abb. 12



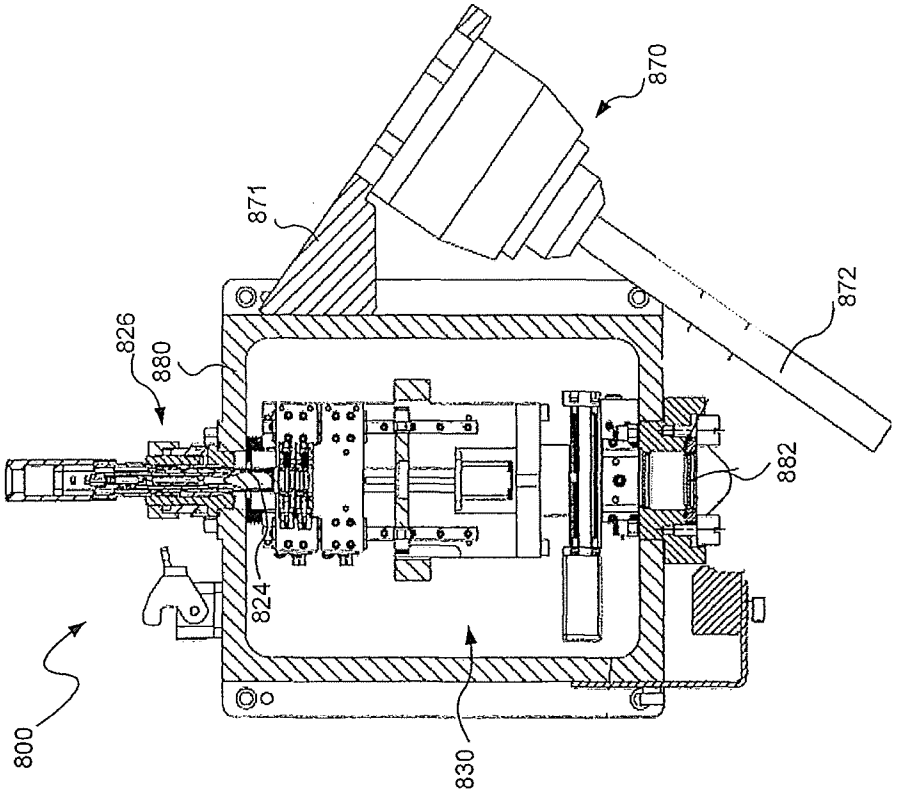


Abb. 11

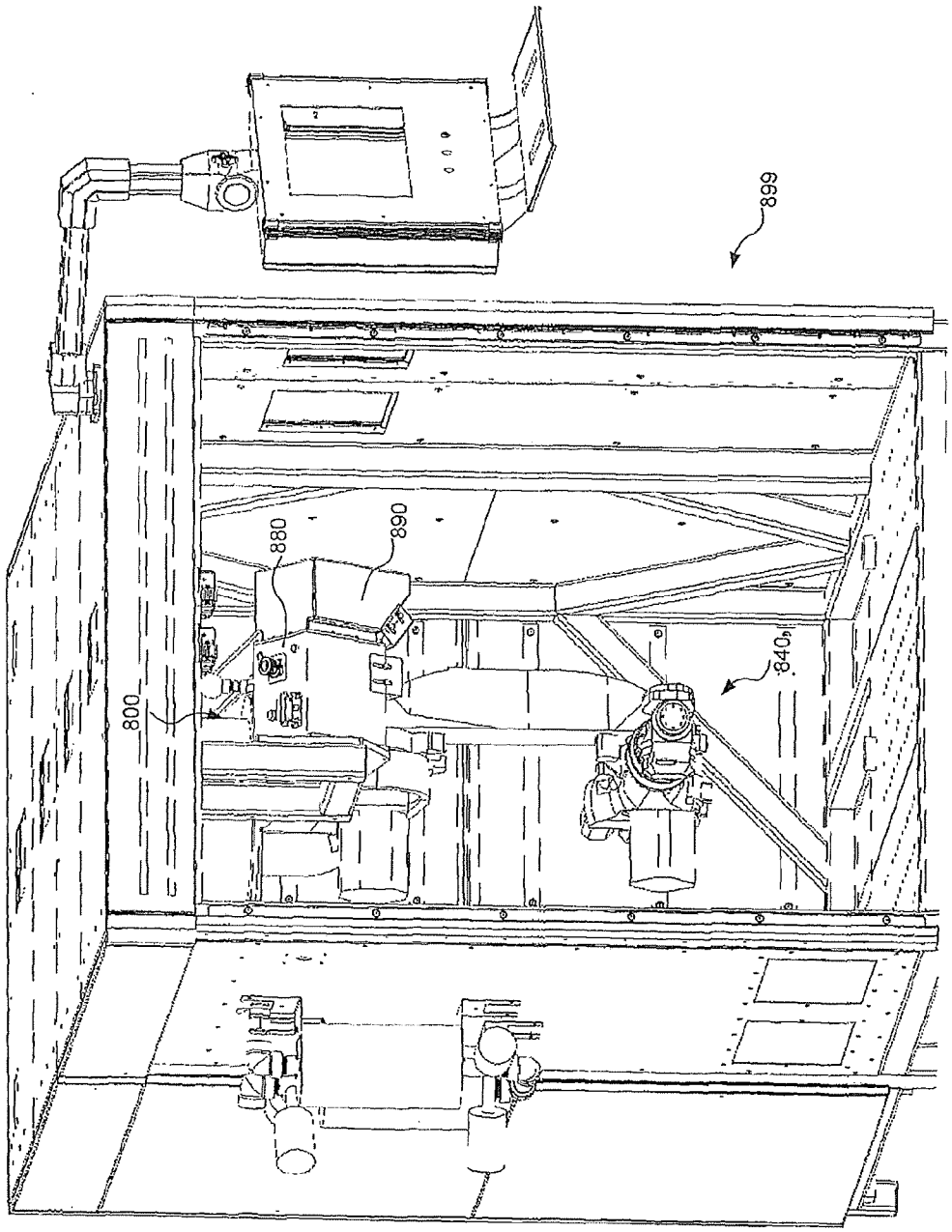


Abb. 13