(19) Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 102 54 847 A1** 2004.02.12

(12) # Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **102 54 847.1**
(22) Anmeldetag: **25.11.2002**
(43) Offenlegungstag: **12.02.2004**

(51) Int Cl.[7]: **B23K 26/06**
B23K 26/24

Mit Einverständnis des Anmelders offengelegte Anmeldung gemäß § 31 Abs. 2 Ziffer 1 PatG

(71) Anmelder:
Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE

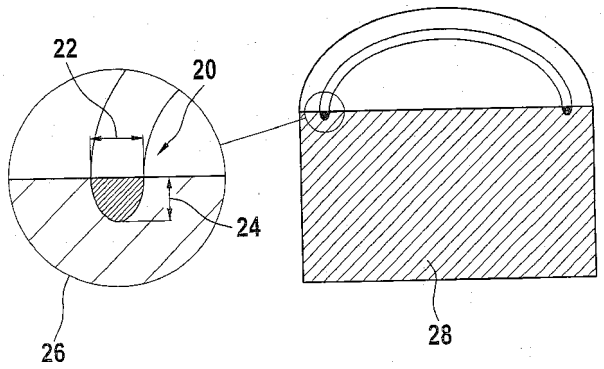
(72) Erfinder:
Rapp, Jürgen, 73733 Esslingen, DE; Klassen, Martin, 71701 Schwieberdingen, DE; Spennemann, Klaus, 76327 Pfinztal, DE

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Verfahren zum Schweißen axialer rotationssymmetrischer Schweißnähte**

(57) Zusammenfassung: Es werden ein Verfahren zum Schweißen axialer, rotationssymmetrischer Schweißnähte mit einem Laserstrahl und eine Einrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens vorgestellt. Das Verfahren sieht vor, daß als Strahlquelle eine gepulste Laserstrahlquelle verwendet wird und der gepulste Strahl mittels einer geeigneten Optik in einen Ring transformiert und dieser Ring auf ein Werkstück (28) fokussiert wird. Die Bearbeitungszeit ist mit wenigen Millisekunden sehr kurz, und der Verzug durch die Bearbeitung wird auf ein Minimum reduziert.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Schweißen axialer, rotationssymmetrischer Schweißnähte mit einem Laserstrahl. Des weiteren betrifft die Erfindung eine Einrichtung zum Schweißen axialer, rotationssymmetrischer Schweißnähte.

Stand der Technik

Stand der Technik

[0002] Beim Schweißen metallischer Werkstoffe hat sich der Einsatz von Lasern bewährt. Dabei wird zum Ausbilden der Verbindung der fokussierte Laserstrahl über die Oberfläche der Fügepartner bewegt. Das beim Schweißen entstehende Schmelzbad führt zu einer Verbindung der Fügepartner.

[0003] Zum Erzeugen axialer, rotationssymmetrischer Schweißnähte wird üblicherweise das Werkstück mit Hilfe einer Drehachse relativ zu einem ortsfesten Laser bewegt. Die dabei lokal eng begrenzte Energieeinbringung führt zu thermisch induziertem Bauteilverzug, der bei verzugskritischen Bauteilen, wie bspw. bei Einspritzventilkomponenten mit abdichtender Funktion, zu Einschränkungen in der Bauteilfunktionalität führen kann.

[0004] Des weiteren sind die beim herkömmlichen Verfahren erforderlichen Prozeßzeiten relativ lang, da aufgrund des Charakters des Laserstrahlbahnschweißens mit Dauerstrichlasern die Schweißgeschwindigkeit bei gleichzeitiger Steigerung der Laserleistung nicht beliebig erhöht werden kann.

Aufgabenstellung

Vorteile der Erfindung

[0005] Demgegenüber wird bei dem erfindungsgemäßen Verfahren zum Schweißen axialer, rotationssymmetrischer Schweißnähte mit einem Laserstrahl als Strahlquelle für den Laserstrahl eine gepulste Laserstrahlquelle verwendet. Die Intensitätsverteilung des gepulsten Strahls wird mittels einer geeigneten Optik in einen Ring transformiert, und dieser Ring wird auf ein Werkstück fokussiert.

[0006] Das erfindungsgemäße Verfahren ermöglicht es, den durch den Schweißprozeß verursachten Verzug kleiner verzugssensibler Bauteile, die bspw. einen Durchmesser von weniger als 10 mm aufweisen, signifikant zu verringern und gleichzeitig die Prozeßzeit im Vergleich zu herkömmlichen Bahnschweißverfahren um mehr als 90% zu verkürzen. Gleichzeitig können Investitionskosten eingespart werden.

[0007] Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren wird die Laserstrahlung einer geeigneten gepulsten Strahlquelle, die typischerweise eine Pulslänge von 5 bis 25 ms und eine Pulsenergie von etwa 100 J hat, mit Hilfe einer geeigneten Optik in eine gleichmäßige ringförmige Intensitätsverteilung umgewandelt. Diese wird auf das Werkstück fokussiert, wobei eine Leistungsdichte von etwa 10^5 W/cm^2 erreicht wird. Auf diese Weise wird simultan die gesamte Naht in einem Puls, ohne daß eine Relativbewegung zwischen der Optik und dem Werkstück durchgeführt werden muß, geschweißt.

[0008] Die zum Einsatz kommenden gepulsten Strahlquellen sind in der Lage, in kurzer Zeit Pulse hoher Energie zu emittieren. Bei ausreichender Strahlqualität entstehen Intensitäten auf dem Werkstück, die über die gesamte Ringgeometrie ein Aufschmelzen und sogar Verdampfen des Werkstoffs ermöglichen (Leistungsdichte ≈ 10^5 W/cm^2). Auf diese Weise entstehen in kürzester Zeit tiefe und schmale Nähte. Zu lange Einwirkungszeiten führen zu einer unzulässigen starken Wärmeableitung in das Werkstück, was breite Nähte und stärkere Verzüge bewirkt.

[0009] Zum Erzeugen der ringförmigen Leistungsverteilung bietet sich bspw. die Verwendung eines Axikons an.

[0010] Der Laserstrahl kann fasergekoppelt oder auch direkt über Spiegel vom Laserresonator in die Bearbeitungsoptik geführt werden.

[0011] In Ausgestaltung der Erfindung ist in der Bearbeitungsoptik eine Standardauskopplung vorgesehen, die mit Hilfe entsprechender Sensorik eine Online-Prozeßüberwachung ermöglicht.

[0012] Die erfindungsgemäße Einrichtung zum Schweißen axialsymmetrischer Schweißnähte sieht eine gepulste Laserstrahlquelle und eine geeignete Optik zum Transformieren des Strahls in einen Ring vor.

[0013] Da es in der Regel nur schwer möglich ist, eine perfekte Bearbeitungsoptik ohne Positions- und Winkelfehler zu fertigen, ist vorzugsweise eine Justagemöglichkeit in der Optik integriert, die das optische ringformende Element zu dem Strahl ausrichtet und somit die Homogenität gewährleistet.

[0014] Eine Möglichkeit hierfür besteht darin, als ringformendes Element ein Axikon zu verwenden und dieses senkrecht zu dem Strahlengang auf einem x-y-Verschiebetisch aufzunehmen. Durch Verschieben des Axikons kann dann die Intensitätsverteilung im Fokus optimiert werden.

[0015] Weitere Vorteile und Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus der Beschreibung und der beiliegenden Zeichnung.

[0016] Es versteht sich, daß die vorstehend genannten und die nachstehend noch zu erläuternden Merkmale nicht nur in der jeweils angegebenen Kombination, sondern auch in anderen Kombinationen oder in Alleinstellung verwendbar sind, ohne den Rahmen der vorliegenden Erfindung zu verlassen.

Ausführungsbeispiel

Zeichnung

[0017] Die Erfindung ist anhand von Ausführungsbeispielen in der Zeichnung dargestellt und wird im folgenden unter Bezugnahme auf die Zeichnung ausführlich beschrieben.

[0018] **Fig.** 1 zeigt eine Verteilung der Lichtintensität auf einem Werkstück bei Einsatz des erfindungsgemäßen Verfahrens.

[0019] **Fig.** 2 zeigt eine axialsymmetrische Schweißnaht.

[0020] **Fig.** 3 zeigt in einem Flußdiagramm den Ablauf einer bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens.

[0021] **Fig.** 4 zeigt in schematischer Darstellung eine bevorzugte Ausführungsform der erfindungsgemäßen Einrichtung.

[0022] **Fig.** 5 zeigt schematisch den Aufbau einer Bearbeitungsoptik.

[0023] In **Fig.** 1 ist eine Verteilung der Lichtintensität auf einem Werkstück **10** verdeutlicht. Zu erkennen ist ein Schnitt **12** durch die Gesamtverteilung der Strahlenintensität auf der Oberfläche des Werkstücks **10** in Richtung eines Pfeils **14**.

[0024] Von großer Bedeutung bei dem erfindungsgemäßen Verfahren ist die dargestellte Homogenität. Die Inhomogenität Δ/I_{max} liegt über den Umfang des Fokusrings auf dem Werkstück **10** deutlich unter 5%. Dies ist wichtig, da bereits kleine Differenzen der Intensität über den Ringumfang zu merklichen Unterschieden der Schweißnahttiefe führen. Eine unzureichende Qualität der Schweißnaht und eine asymmetrische Energieeinbringung in das Bauteil mit resultierendem Verzug wären die Folgen.

[0025] In **Fig.** 2 ist eine axiale, rotationssymmetrische Schweißnaht **20** dargestellt. Doppelpfeil **22** verdeutlicht die Schweißbahnbreite. Doppelpfeil **24** zeigt die Schweißbahntiefe. Der mit einem Kreis **26** umgebene Bereich ist in der Zeichnung auch in einer Schnittdarstellung eines Werkstücks **28** gezeigt.

[0026] Die beim erfindungsgemäßen Verfahren verwendeten gepulsten Strahlungsquellen emittieren in kurzer Zeit Pulse hoher Energie.

[0027] In **Fig.** 3 ist der Ablauf einer bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens mittels eines Flußdiagramms wiedergegeben.

[0028] In einem Schritt **30** wird ein gepulster Laserstrahl mit einer gepulsten Laserstrahlenquelle erzeugt. Die Pulslänge beträgt üblicherweise 5 bis 25 ms. Die Pulsenergie liegt typischerweise im Bereich von 100 J.

[0029] In einem Schritt **32** wird der erzeugte gepulste Laserstrahl, in diesem Fall fasergekoppelt, in eine Bearbeitungsoptik geführt. Alternativ hierzu kann der erzeugte Laserstrahl auch direkt über Spiegel in die Optik geführt werden.

[0030] Mittels eines Kollimationsmodules wird in Schritt **33** der Laserstrahl in ein paralleles Strahlenbündel umgeformt.

[0031] Mittels des Axikons wird in einem Schritt **34** der gepulste Laserstrahl in einen Ring transformiert. Das Axikon dient folglich als ringformendes bzw. transformierendes Mittel.

[0032] Das Axikon ist in einem verfahrbaren x-y-Schlitten aufgenommen und kann senkrecht zur Strahlachse verfahren werden. Dadurch wird es möglich, die Intensitätsverteilung des entstehenden Rings homogen über den gesamten Ringumfang einzustellen.

[0033] In Schritt **35** wird mittels eines Standardauskoppelelements ein Teil des rückreflektierten Lichtes ausgekoppelt und ermöglicht mit Hilfe entsprechender Sensorik eine Online-Prozesskontrolle.

[0034] In einem Schritt **36** wird der Ring auf ein Werkstück fokussiert.

[0035] Die Schritte **33** bis **36** werden in einer Bearbeitungsoptik durchgeführt.

[0036] In einem Schritt **38** erfolgt dann das Schweißen, wobei simultan eine ringförmige Naht vollständig geschweißt wird.

[0037] In **Fig.** 4 ist schematisch eine erfindungsgemäße Einrichtung, insgesamt mit der Bezugsziffer **40** bezeichnet, dargestellt. Die Einrichtung **40** weist eine gepulste Strahlenquelle **42**, eine Bearbeitungsoptik **44** und einen Verschiebetisch **46** auf.

[0038] Die Strahlenquelle **42** und die Bearbeitungsoptik **44** sind über Fasern **48** verbunden, über die die gepulsten Strahlen in die Bearbeitungsoptik **44** geleitet werden. In der Bearbeitungsoptik **44** werden die Strahlen mit Hilfe eines Axikons zu einem Ring geformt.

[0039] Der Verschiebetisch **46** ist, wie mit einem Doppelpfeil **50** verdeutlicht, in x-Richtung, wie Doppelpfeil **51** zeigt, in y-Richtung und wie Doppelpfeil **52** zeigt, in z-Richtung bewegbar. Somit ist durch den Verschiebetisch **46** durch die Verschiebbarkeit in x-y-Richtung einerseits die optimale Positionierung des ringförmigen Laserstrahls der Werkstückoberfläche und andererseits durch die Justagemöglichkeit in z-Richtung die exakte Einstellung der Fokuslage möglich.

[0040] Ein Vorteil des erfindungsgemäßen Verfahrens bzw. der erfindungsgemäßen Einrichtung liegt in der minimierten Prozeßzeit durch Einsatz einer gepulsten Strahlungsquelle **42**. Des weiteren wird erfindungsgemäß erreicht, daß die Nahtentstehung nicht sequentiell erfolgt. Aufgrund der homogenen Wärmeeinbringung wird eine Minimierung des Verzugs erreicht. Nahtinhomogenitäten am Nahtauslauf treten ebenfalls nicht auf, da ein Endkrater, wie bei herkömmlichen Verfahren, überhaupt nicht entsteht.

[0041] Gepulste Laserquellen sind im Vergleich zu kontinuierlich strahlenden Laserquellen preisgünstiger. Außerdem werden bei der erfindungsgemäßen Einrichtung keine bewegbaren Achsen zur Durchführung der axialsymmetrischen Schweißung mehr benötigt. Somit ist das erfindungsgemäße Verfahren im Vergleich zu konventionellen Verfahren mit geringe-

ren Investitionskosten verbunden.

[0042] Ein möglicher Aufbau der Bearbeitungsoptik ist in **Fig.** 5 schematisch dargestellt. Zu erkennen ist eine Strahlführungskomponente **60**, bspw. ein Lichtleiter. Die eigentliche Bearbeitungsoptik umfaßt ein Kollimationsmodul **62**, ein in einem x-y-Verschiebetisch aufgenommenes ringformendes Modul **64**, bspw. ein Axikon, und ein Fokussierungsmodul **66**. Ein Werkstück befindet sich in einem Bereich **68**.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Schweißen axialer, rotationssymmetrischer Schweißnähte mit einem Laserstrahl, bei dem als Quelle für den Laserstrahl eine gepulste Laserstrahlquelle (**42**) verwendet wird, der gepulste Strahl mittels einer geeigneten Bearbeitungsoptik (**44**) in einen homogenen Ring transformiert und dieser homogene Ring auf ein Werkstück (**10**, **28**, **54**) fokussiert wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem in der geeigneten Bearbeitungsoptik (**44**) ein Axikon als ringformendes Element verwendet wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, bei dem der Laserstrahl fasergekoppelt in die Optik (**44**) geführt wird.

4. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, bei dem der Laserstrahl direkt über Spiegel in die Optik (**44**) geführt wird:

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, bei dem mit einer Standardauskopplung in der Optik (**44**) mittels einer entsprechenden Sensorik eine Online-Prozeßüberwachung durchgeführt wird.

6. Einrichtung zum Schweißen axialer, rotationssymmetrischer Schweißnähte mit einer gepulsten Laserstrahlquelle (**42**) und einer geeigneten Bearbeitungsoptik (**44**) zum Transformieren des Laserstrahls in einen Ring.

7. Einrichtung nach Anspruch 6, bei der in der geeigneten Optik (**44**) ein Axikon (**64**) als ringformendes Element dient.

8. Einrichtung nach Anspruch 6, bei der das Axikon (**64**) auf einem x-y-Verschiebetisch aufgenommen ist, um eine homogene Intensitätsverteilung einstellen zu können.

9. Einrichtung nach Anspruch 6 oder 7, bei der eine Justagevorrichtung (**46**) vorgesehen ist.

Es folgen 5 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

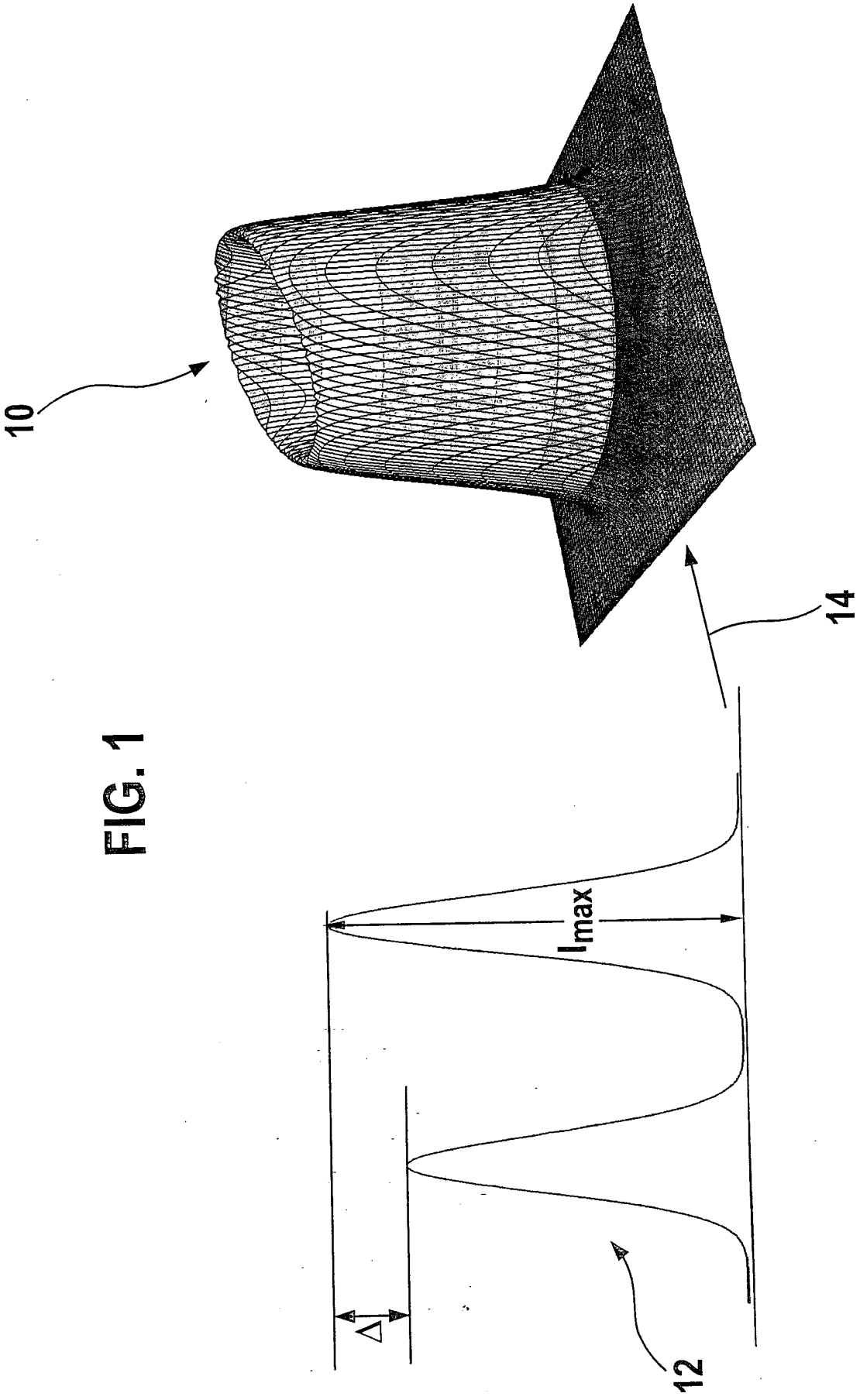


FIG. 1

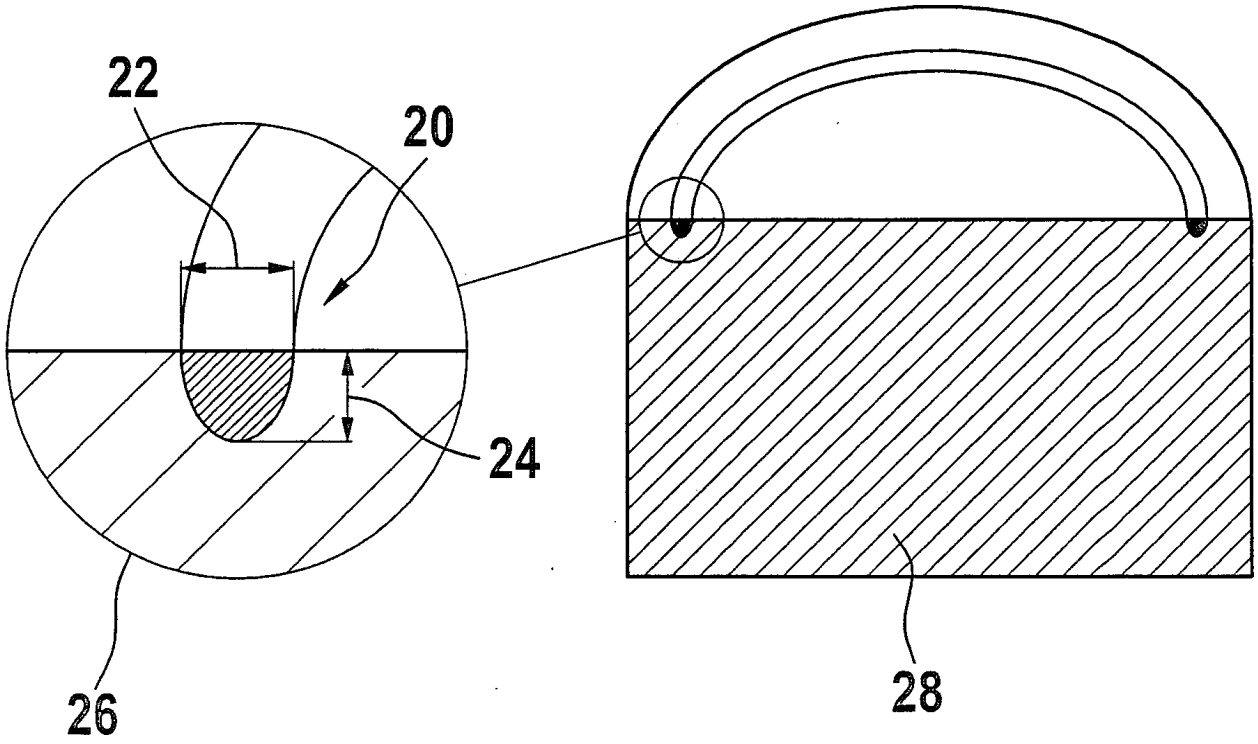


FIG. 2

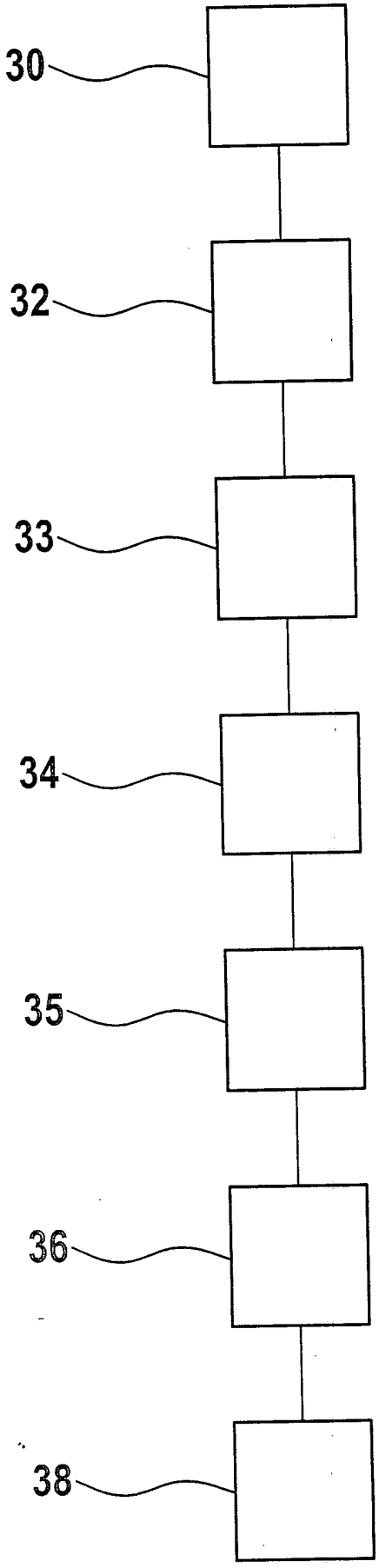


FIG. 3

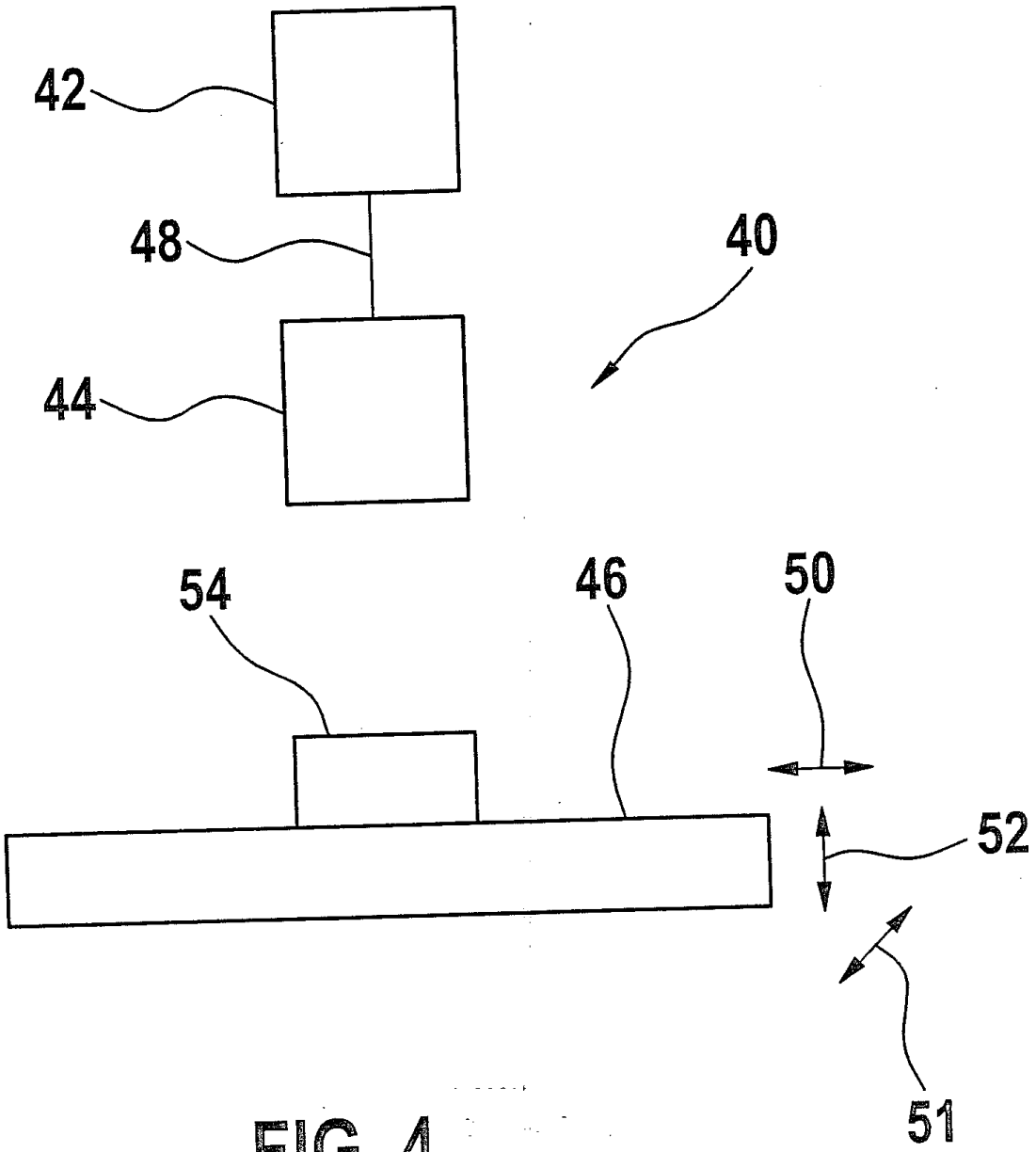


FIG. 4

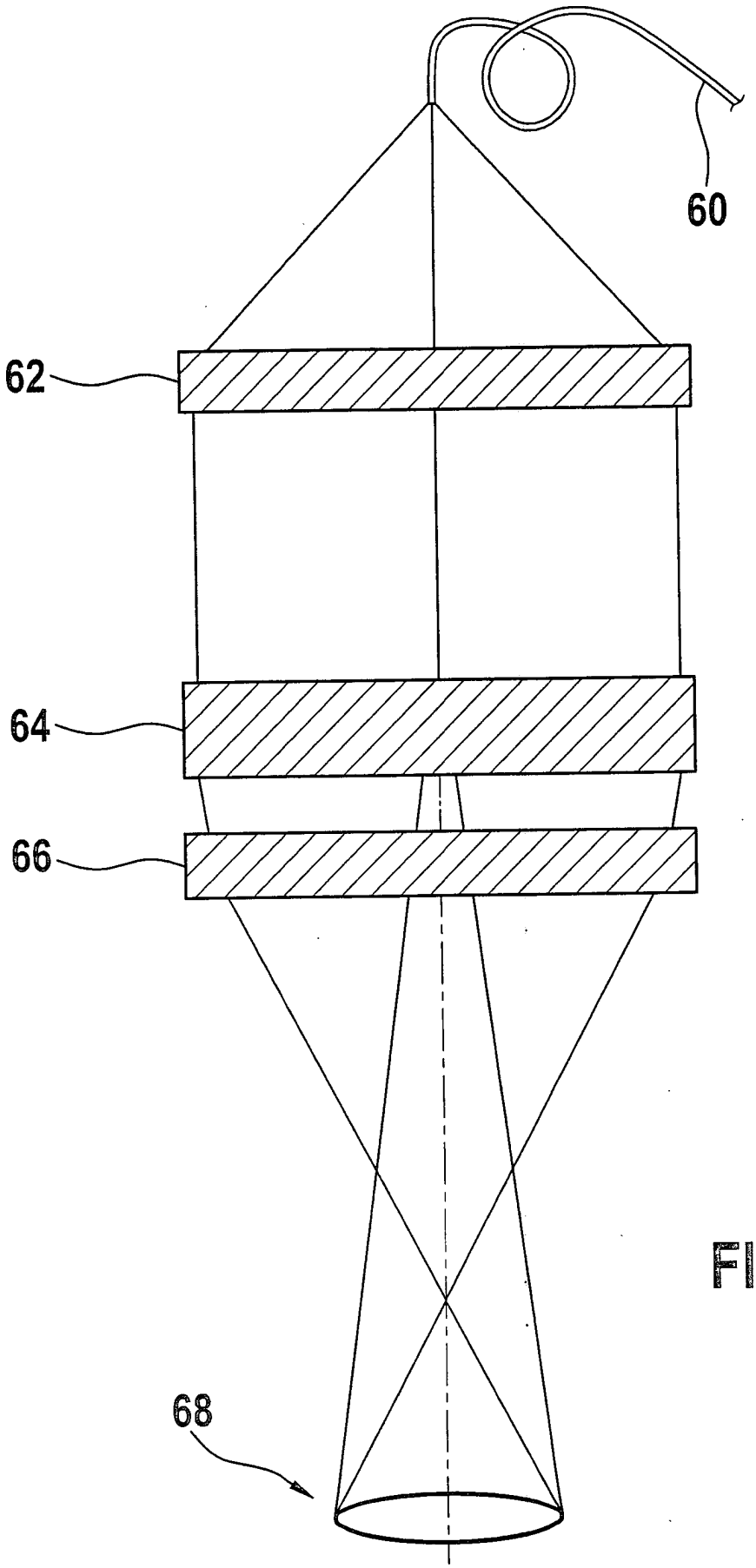


FIG. 5