



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 699 25 564 T2** 2006.05.04

(12)

Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 1 018 388 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **699 25 564.3**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **99 310 552.7**

(96) Europäischer Anmeldetag: **23.12.1999**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **12.07.2000**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **01.06.2005**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **04.05.2006**

(51) Int Cl.⁸: **B23K 10/02** (2006.01)

(30) Unionspriorität:

223792 31.12.1998 US

(73) Patentinhaber:

General Electric Co., Schenectady, N.Y., US

(74) Vertreter:

Rüger und Kollegen, 73728 Esslingen

(84) Benannte Vertragsstaaten:

DE, FR, GB, IT, NL

(72) Erfinder:

Grossklaus, Jr., Warren David, West Chester, Ohio 45069, US; Worthing, Jr., Richard Roy, Cincinnati, Ohio 45240, US; Roedl, Lawrence Joseph, West Chester, Ohio 45069, US; Powers, John Matthew, Independence, Kentucky 41051, US; Broderick, Thomas Froats, Springboro, Ohio 45066, US

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Vorrichtung zum Schweißen**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

Beschreibung

[0001] Diese Erfindung betrifft Schweißvorrichtungen und Verfahren zum Schweißen eines Gegenstandes aus einer Superlegierung (siehe beispielsweise US-A-5 554 837). Insbesondere befasst sich diese Erfindung mit einer Vorrichtung und einem Verfahren zum Schweißen eines Gegenstandes aus einer Superlegierung unter Anwendung einer Plasmalichtbogenschweißtechnik mit Polaritätswechsel, die den Bereich des Gegenstandes minimiert, der während des Schweißens erhitzt wird.

[0002] Kobalt- und Nickelbasis-Hochtemperatur-Superlegierungen werden in großem Umfang zum Herstellen bestimmter Komponenten von Gasturbinentriebwerken einschließlich Brennkammern und Turbinenleit- und Laufschaufeln verwendet. Obwohl Hochtemperatur-Superlegierungskomponenten oft durch Gießen hergestellt werden, gibt es Umstände, in welchen Superlegierungskomponenten bevorzugt oder notwendigerweise durch Schweißen hergestellt werden. Beispielsweise können Komponenten mit komplexen Konfigurationen, wie z.B. Turbinenmittelrahmen und Mantelunterstützungsringe leichter durch Verschweißen getrennter Gussteile miteinander hergestellt werden. Schweißen wird auch in einem großen Umfang als ein Verfahren zum Wiederherstellen von Laufschaufelspitzen und zum Reparieren von Rissen und anderen Oberflächendiskontinuitäten in Superlegierungskomponenten verwendet, die durch Wärmezyklen oder Aufprall von Fremdobjekten verursacht werden. Da die Kosten von aus Kobalt und Nickel-basierenden Hochtemperatur-Superlegierungen hergestellten Komponenten relativ hoch sind, ist eine Wiederherstellung/Reparatur dieser Komponenten typischerweise erwünschter als eine Ersetzung dieser, wenn sie verschlissen oder beschädigt sind.

[0003] In der Vergangenheit wurden Superlegierungskomponenten von Gasturbinentriebwerken bei einer höheren Temperatur (bis zu etwa 815°C (1500°F)) geschweißt, um die Schweißausbeute zu verbessern. Das Schweißen wird oft in einer Umhüllung durchgeführt, die eine kontrollierte Atmosphäre (z.B. ein Inertgas) enthält, unter Verwendung solcher Schweißtechniken wie z.B. Wolfram-Inertgas-(TIG)- und Laserschweißprozessen ausgeführt. Die Aufheizung wird typischerweise durch Induktion oder unter Verwendung von Lampen, wie z.B. Quarzhalogenlampen, erzeugt. Superlegierungskomponenten von Gasturbinentriebwerken werden typischerweise vor dem Schweißen thermisch entspannt, um aus dem Triebwerksbetrieb vorhandene Restspannungen abzubauen, und dann nach dem Schweißen entspannt, um während des Abkühlprozesses aus dem Schweißvorgang induzierte Restspannungen abzubauen. Die Wärmebehandlung erzeugt auch eine Entspannung durch Auflösung eines Teils des här-

tenden γ' in einer γ' -verfestigten Nickelbasissuperlegierung. Im Allgemeinen variieren die Wärmebehandlung und die Schweißparameter abhängig von der interessierenden Legierung, dem Betrag der Restentspannung und der erforderlichen Auflösung, der Ofenkonstruktion, der Komponentengeometrie und vielen anderen Faktoren.

[0004] TIG- und Laser-Schweißtechniken gemäß vorstehender Beschreibung wurden bereits erfolgreich mit Superlegierungskomponenten praktiziert. Bei diesen Techniken wird jedoch, obwohl ziemlicher Aufwand zur Einschränkung der Aufheizung des zu schweißenden Bereichs getrieben wird, oft ein großer Bereich der Komponente erhitzt. In der Regel müssen sehr hohe Schweißtemperaturen vermieden werden, um eine unerwünschte Kristallisierung oder ein Schmelzen einer Komponente zu verhindern, während die minimale Komponententemperatur ausreichend hoch z.B. 815°C (1500°F) sein muss, um eine Rissbildung während des Schweißens zu vermeiden. Bei derartig hohen Temperaturen können Erhitzungs- und Abkühlungszyklen ziemlich lange sein und der Komfort für den Bediener der Schweißvorrichtung kann ein Problem sein.

[0005] Die vorliegende Erfindung stellt ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Schweißen eines Gegenstandes aus einer Superlegierung gemäß Definition in den Ansprüchen 1 bzw. 7 bereit. Insbesondere sorgen die Vorrichtung und das Verfahren dieser Erfindung für eine genaue Regelung der Temperatur eines örtlich sehr begrenzten Bereiches eines Gegenstandes, so dass eine optimale Temperatur in dem örtlich begrenzten Bereich während dem Schweißen eingehalten werden kann, um eine kleine kontrollierte Schweißung zu erzeugen und die gewünschten physikalischen und mechanischen Eigenschaften des Gegenstandes zu fördern.

[0006] Die Vorrichtung dieser Erfindung umfasst im Allgemeinen eine für die Aufnahme eines Gegenstandes aus einer Superlegierung angepasste Umhüllung, Mittel zum Schweißen eines örtlich begrenzten Bereichs des Artikels, Mittel zum Aufheizen des örtlich begrenzten Bereichs, Mittel zum Erfassen der Temperatur des örtlich begrenzten Bereichs und Mittel zum Regeln der Ausgangsleistung der Aufheizungsmittel auf der Basis der Temperatur des örtlich begrenzten Bereichs und entsprechend einem vorgegebenem Schweißtemperaturprofil. Erfindungsgemäß ist das Aufheizungsmittel eine Induktionsspule, die in unmittelbarer Nähe zu dem örtlich begrenzten Bereich des Gegenstandes platziert wird, und das Erfassungsmittel erfasst die Temperatur des örtlich begrenzten Bereichs, so dass die Temperatur des örtlich begrenzten Bereichs großräumig ermittelt und schnell durch die Ausgangsleistung der Spule verändert wird. Ferner bestehen erfindungsgemäß die Schweißmittel aus einer Plasmalichtbo-

gen-(PTA)-Schweißvorrichtung, die bei sehr niedrigen Strömen von nicht mehr als 45 Ampere, bevorzugt nicht mehr als 5 Ampere betrieben wird, so dass die Schweißvorrichtung nur einen sekundären Aufheizungseffekt im Vergleich zu der Induktionsspule hat. Die Vorrichtung verwendet auch eine Speichervorrichtung, die ein geeignetes Schweißtemperaturprofil für den örtlich begrenzten Bereich des Gegenstandes speichert.

[0007] Das durch die vorstehend beschriebene Vorrichtung ermöglichte Verfahren umfasst die Voreinstellung des gewünschten Schweißtemperaturprofils für den Gegenstand aus einer Superlegierung und dann den Betrieb der Induktionsspule und der Erfassungs- und Regelungsmittel, um den örtlich begrenzten Bereich des Gegenstandes gemäß dem Temperaturprofil aufzuheizen. Der örtlich begrenzte Bereich des Gegenstandes wird dann mittels einer bei niedrigem Strom schweißenden PTA mit Polaritätswechsel geschweißt, während gleichzeitig die Temperatur des örtlich begrenzten Bereichs entsprechend dem Schweißtemperaturprofil beibehalten wird.

[0008] Wie es vorstehend beschrieben wurde, koppeln die Vorrichtung und das Verfahren der vorliegenden Erfindung eine Induktionsaufheizung mit einem PTA-Schweißprozess mit niedriger Aufheizung und Polaritätswechsel, um eine genaue Regelung der Temperatur eines extrem örtlich begrenzten Bereiches eines Superlegierungsgegenstandes während der Fertigung, Wiederherstellung oder Reparatur zu ermöglichen. Demzufolge kann die Temperatur des örtlich begrenzten Bereiches genauer innerhalb eines beschränkten Temperaturbereichs über den gesamten Schweißvorgang hinweg beibehalten werden, was eine thermische Beschädigung des Gegenstandes verhindert. Zusätzliche Vorteile dieser Erfindung umfassen eine reduzierte Schweißzeit, eine geringere Wärmeeingabe, die eine Substrat- und Schweißrissebildung reduziert, einen geringeren Energieverbrauch und die Fähigkeit, eine endformnahe Form während des Aufbaus mit geringer oder keiner nachfolgenden Schweißnahtprofilierung zu erzeugen. Eine Ausführungsform der Erfindung wird nun im Rahmen eines Beispiels unter Bezugnahme auf die beigefügte Zeichnung beschrieben, in welcher:

[0009] [Fig. 1](#) eine schematische Darstellung einer Schweißvorrichtung gemäß dieser Erfindung ist.

[0010] Die vorliegende Erfindung befasst sich im Allgemeinen mit Gegenständen aus einer Superlegierung, die während ihrer Fertigung, Wiederherstellung oder Reparatur einer Schweißoperation unterzogen werden. Obwohl die Vorteile dieser Erfindung unter Bezugnahme auf Komponenten von Gasturbinentriebwerken beschrieben werden, ist die Erfindung auch auf eine Vielfalt von Anwendungen anwendbar, in welchen die Temperatur eines Gegen-

standes genau während des Schweißvorgangs eingehalten werden muss.

[0011] Eine Vorrichtung **10** zum Durchführen eines Schweißvorgangs gemäß dieser Erfindung ist schematisch in [Fig. 1](#) dargestellt. Die Vorrichtung **10** umfasst im Allgemeinen eine Umhüllung **12** eines Typs, der für die Ausführung eines Schweißvorgangs wie z.B. einer TIG- oder Laserschweißvorgangs in einer kontrollierten Atmosphäre bekannt ist. Innerhalb der Vorrichtung **10** ist schematisch eine Induktionsspule **14** für die Aufheizung eines (nicht dargestellten) Gegenstandes aus einer Superlegierung dargestellt. Die Spule **14** ist bevorzugt so bemessen und geformt, dass sie eng einen örtlich sehr begrenzten Bereich des Artikels umgibt, so dass eine gleichmäßige und rasche Aufheizung des örtlich begrenzten Bereichs erfolgt. Die Umhüllung **12** ist mit einem Einlass **18** ausgestattet dargestellt, durch welchen ein Inertgas, wie z.B. Argon, dem Inneren der Umhüllung **12** zugeführt wird, um eine Oxidation des Gegenstandes aus einer Superlegierung zu verhindern, während er sich auf den durch den Schweißvorgang erforderlichen erhöhten Verarbeitungstemperaturen befindet.

[0012] In der Vergangenheit erforderten mit einer Umhüllung des in [Fig. 1](#) dargestellten Typs ausgeführte Schweißvorgänge eine Aufheizung eines Gegenstandes auf eine erhöhte Temperatur typischerweise bis zu etwa 815°C (1500°F), jedoch niedriger als die Rekristallisierungstemperatur des Gegenstandes, während gleichzeitig die Volumentemperatur des Gegenstandes überwacht wurde. Die Aufheizungsrate war im Allgemeinen von dem Typ des verwendeten Aufheizungselementes und der Größe der Umhüllung und des zu aufheizenden Gegenstandes abhängig. Sobald die Schweißtemperatur erreicht war, wurde die Schweißung mittels TIG oder Laser mit einer auftretenden zusätzlichen Aufheizung gestartet, wenn ein ausreichender Temperaturabfall auftrat.

[0013] Im Gegensatz dazu ermöglicht die Schweißvorrichtung **10** dieser Erfindung eine genaue Regelung des Temperaturprofils eines örtlich extrem begrenzten Bereiches eines Gegenstandes, der einer Schweißoperation innerhalb der Umhüllung **12** unterzogen wird, und bietet dadurch die Möglichkeit, einen rascheren Schweißvorgang auszuführen, während gleichzeitig die Temperaturregelung des Gegenstandes verbessert wird. Diese Vorteile werden zum Teil durch die Erfassung der Temperatur des örtlich begrenzten Bereiches des Gegenstandes mit einem geeigneten Temperatursensor **24**, wie z.B. einem optischen Pyrometer oder einem standardmäßigen K-Thermoelement erzielt. Das Temperatursignal aus dem Sensor **24** wird als ein Eingangssignal in eine programmierbare Temperaturregelvorrichtung **26** verwendet, welche das Signal aus dem Sensor **24** mit dem in dem Speicher **28** für den Gegenstand gespei-

cherten Schweißtemperaturprofil vergleicht. Die Leistung für die Induktionsspule **14** wird dann auf der Basis der Differenz zwischen dem Soll-Temperaturprofil und der Ist-Temperatur des örtlich begrenzten Bereiches geregelt. Auf diese Weise kann im Wesentlichen jedes Schweißtemperaturprofil, das für einen gegebenen Superlegierung und Gegenstand erforderlich ist, programmiert und genau geregelt werden, um die Ziele dieser Erfindung zu erreichen.

[0014] Gemäß dieser Erfindung wird die Schweißung mit einer PTA-Schweißvorrichtung **20** durchgeführt, die bei sehr niedrigen Strömen, bevorzugt wenigstens 0,1 Ampere, aber nicht mehr als 45 Ampere und bevorzugt mit weniger als 5 Ampere betrieben wird. Bei derart niedrigen Strömen tritt nur eine geringe Aufheizung des Gegenstandes als Folge des eigentlichen Schweißvorgangs auf. Stattdessen wird die Temperatur des örtlich begrenzten Bereichs des Gegenstandes primär durch die Induktionsspule **14** bestimmt, deren Ausgangsleistung genau geregelt wird, wie es vorstehend beschrieben wurde. Eine PTA mit Polaritätswechsel-Schweißung in dem U.S. Patent Nr. 5,466,905 an Flowers et al. beschrieben, das dem Zessionar dieser Erfindung erteilt ist.

[0015] Wie es von Flowers et al. gelehrt wird, umfasst eine PTA-Schweißung mit Polaritätswechsel die Erzeugung eines Lichtbogens mit einem elektrischen Gleichstrom zwischen einem Paar von Elektroden, die Übertragung des elektrischen Lichtbogens mit einem inerten Plasmagas (z.B. Argon), auf den Gegenstand, so dass ein Plasmalichtbogen zwischen dem Gegenstand und einer von den Elektroden aufgebaut wird, und dann den Wechsel der Polaritäten des Gegenstandes und der Elektrode mit einer niedrigen Frequenz. In der Praxis werden die von Flowers et al. offenbarten Polaritätszyklusparameter für die Anwendung mit dieser Erfindung – im Allgemeinen ein Polaritätswechsel mit einer Frequenz von etwa 1 bis 1000 Hz, während welcher die Polarität des Gegenstandes während jedes Zyklus für eine kürzere Zeit positiv als negativ ist, bevorzugt. Ein Zusatzwerkstoff wird dann in den Plasmalichtbogen durch irgendein geeignetes Mittel **22** eingeführt. Der Zusatzwerkstoff kann in der Form eines Superlegierungsdrahtes oder eines Pulvers vorliegen, dessen Zusammensetzung metallurgisch mit dem des Gegenstandes kompatibel und für die Betriebsumgebung des Gegenstandes geeignet ist.

[0016] Obwohl sie in Verbindung mit der Bearbeitung von Gegenständen aus Superlegierungen beschrieben wurde, könnte die Vorrichtung **10** dieser Erfindung auch für die Behandlung und Schweißung anderer Materialien und Gegenstände angewendet werden, deren Verarbeitung eine genaue Regelung bei erhöhten Temperaturen erfordert, um eine Verschlechterung der Eigenschaften der Gegenstände zu vermeiden.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Schweißen eines Superlegierungsartikels, wobei das Verfahren den Schritt umfasst, wonach der Superlegierungsartikel innerhalb einer Umhüllung (**12**) derart platziert wird, dass ein örtlich beschränkter Bereich des Artikels in der Nähe einer Induktionsspule (**14**) innerhalb dieser Umhüllung (**12**) liegt, wobei die Umhüllung (**12**) ferner Mittel (**24**) zur Erfassung einer Temperatur des örtlich beschränkten Bereiches sowie Mittel (**26**) zur Regelung der Wärmeabgabe der Induktionsspule (**14**) basierend auf der Temperatur des örtlich beschränkten Bereiches und entsprechend einem Schweißtemperaturprofil aufweist, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Verfahren die Schritte aufweist, wonach: in einem Speichermittel (**28**) das Schweißtemperaturprofil für einen Superlegierungsartikel im Voraus festgelegt wird; die Induktionsspule (**14**), das Erfassungsmittel (**24**) und das Regelungsmittel (**26**) derart betrieben werden, um den örtlich beschränkten Bereich des Artikels mit der Induktionsspule (**14**) entsprechend dem in dem Speichermittel (**28**) abgespeicherten Schweißtemperaturprofil aufzuheizen; und anschließend der örtlich beschränkte Bereich des Artikels durch Plasmalichtbogenschweißen mit Polaritätswechsel bei einem Strom von 0,1 bis ungefähr 45 Ampere geschweißt wird, während die Temperatur des örtlich beschränkten Bereiches mittels der Induktionsspule (**14**) entsprechend dem Schweißtemperaturprofil aufrechterhalten wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der Schweißschritt eine Festsetzung des Artikels bei einer ersten Polarität und eine Festsetzung einer Elektrode in der Nähe des Artikels bei einer umgekehrten Polarität sowie anschließend eine wiederholende Umkehrung der Polaritäten des Artikels und der Elektrode zur Folge hat.
3. Verfahren nach Anspruch 2, wobei der Schweißschritt eine Zuführung eines Zusatzwerkstoffs zu einem Plasmalichtbogen, der zwischen der Elektrode und dem Artikel erzeugt wird, zur Folge hat.
4. Verfahren nach Anspruch 3, wobei der Zusatzwerkstoff ein aus der Gruppe ausgewählter Werkstoff ist, zu der Superlegierungsdrähte und -pulver gehören.
5. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die Temperatur des örtlich beschränkten Bereiches des Artikels mit einem optischen Pyrometer (**24**) erfasst wird.
6. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der Schweißschritt mit einem Strom von 0,1 bis 5 Ampere durchgeführt wird.

7. Schweißvorrichtung mit einer Umhüllung (12), die dazu eingerichtet ist, einen Superlegierungsartikel aufzunehmen; einer Induktionsspule (14) zur Erhitzung eines örtlich beschränkten Bereiches des Artikels innerhalb der Umhüllung (12); einem Mittel (24) zur Erfassung einer Temperatur des örtlich beschränkten Bereiches des Artikels; einem Speichermittel (28) zur Abspeicherung eines Schweißtemperaturprofils des Artikels; einem Mittel (26) zur Regelung der Induktionsspule (14) basierend auf der Temperatur des örtlich beschränkten Bereiches entsprechend dem Schweißtemperaturprofil; dadurch gekennzeichnet, dass die Vorrichtung ferner aufweist: ein Mittel (20) zur Schweißung des örtlich beschränkten Bereiches durch Plasmalichtbogenschweißen mit Polaritätswechsel bei einem Strom von 0,1 Ampere bis ungefähr 45 Ampere unter gleichzeitiger Aufrechterhaltung der Temperatur des örtlich beschränkten Bereiches mittels der Induktionsspule entsprechend dem Schweißtemperaturprofil.

8. Schweißvorrichtung nach Anspruch 7, wobei das Schweißmittel (20) ein Mittel zur Einrichtung des Artikels bei einer ersten Polarität und zur Einrichtung einer Elektrode in der Nähe des Artikels bei einer umgekehrten Polarität sowie Mittel zur wiederholenden Umkehr der Polaritäten des Artikels und der Elektrode aufweist.

9. Schweißvorrichtung nach Anspruch 8, wobei das Schweißmittel (20) ein Mittel (22) zur Zuführung eines Zusatzwerkstoffes zu einem Plasmalichtbogen aufweist, der zwischen der Elektrode und dem Artikel erzeugt wird.

10. Schweißvorrichtung nach Anspruch 9, wobei der Zusatzwerkstoff durch ein Material gebildet ist, das aus der Gruppe ausgewählt ist, zu der Superlegierungsdrähte und -pulver gehören.

11. Schweißvorrichtung nach Anspruch 7, wobei das Erfassungsmittel (24) durch ein optisches Pyrometer gebildet ist.

12. Schweißvorrichtung nach Anspruch 7, wobei im Gebrauch das Schweißmittel (20) bei einem Strom von 0,1 Ampere bis ungefähr 5 Ampere betrieben wird.

Es folgt ein Blatt Zeichnungen

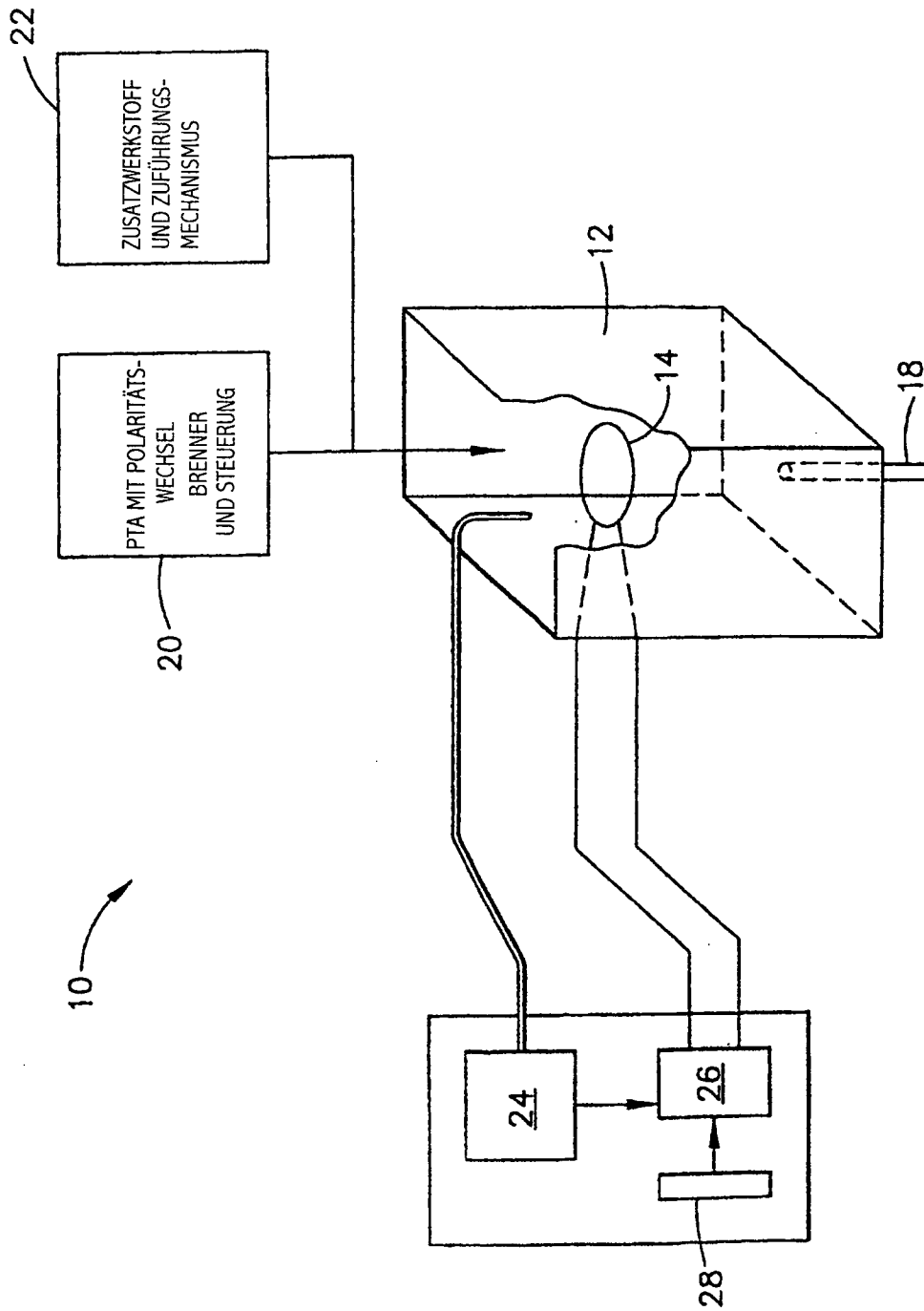


FIG. 1