



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
13.07.2011 Patentblatt 2011/28

(51) Int Cl.:
B22F 3/105 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **10016083.7**

(22) Anmeldetag: **23.12.2010**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA ME

(30) Priorität: **23.12.2009 DE 102009060141**
29.12.2009 DE 102009060736

(71) Anmelder: **Josch Strahlschweisstechnik Gmbh**
06193 Götschetal - OT Teicha (DE)

(72) Erfinder:
• **Sobisch, Götz**
06193 Petersberg (DE)
• **Ziesemann, Mike**
39126 Magdeburg (DE)

(74) Vertreter: **Schuster, Müller & Partner**
Olvenstedter Strasse 15
39108 Magdeburg (DE)

(54) **Verfahren zur Fertigung von Bauteilen aus Refraktärmetallen**

(57) Die Erfindung geht aus von einem Verfahren zur Fertigung von Bauteilen aus Refraktärmetallen, wobei der stoffschlüssige Übergang zur Herausbildung der Bauteile durch Schmelzen hergestellt ist.

Erfindungsgemäß werden pulverförmige Bestandteile (4, 9, 10, 16, 17) von Refraktärmetallen mittels Elektronenstrahlschmelzen punktwise aufgeschmolzen und die Bauteile (6, 12, 15, 18) in ihrer Endform oder in einer endformnahen Kontur herausgebildet.

Aufgrund seiner hohen Energiedichte und flexiblen Steuerbarkeit eignet sich das Elektronenstrahlschmel-

zen zur Erschmelzung von Bauteilen aus Molybdän, Tantal, Rhenium und Wolfram sowie deren Legierungen, so dass aus diesen an sich schwer verarbeitbaren Metallen Bauteile oder auch Halbzeuge in ihrer Gesamtheit aus den in Pulverform vorliegenden Refraktärmetallen herausgebildet werden.

Im Gegensatz zum Laserstrahlschmelzen können wesentlich höhere Strahlablenkraten und geringere Temperaturgradienten innerhalb der Arbeitskammer erreicht werden. Dies führt zu homogenen Schmelzbildern und ermöglicht grundsätzlich die Verarbeitung von Refraktärmetallen.

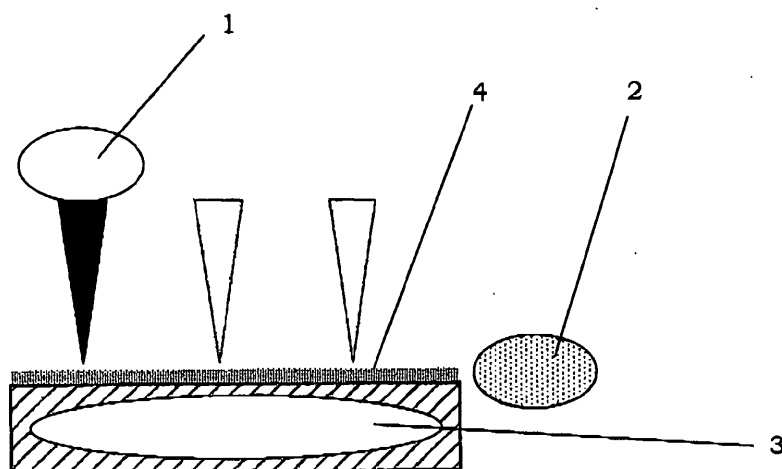


Fig. 1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung geht aus von einem Verfahren zur Fertigung von Bauteilen aus Refraktärmetallen, wobei der stoffschlüssige Übergang zur Herausbildung der Bauteile durch Schmelzen hergestellt ist.

[0002] Es sind verschiedene Wege zur Fertigung von Bauteilen mit besonderen Eigenschaften für anspruchsvolle mechanische, thermische, elektrische, strahlenlenkende und -absorbierende sowie chemisch-korrosive Anwendungen bekannt.

[0003] Ausgehend von einem Halbzeug werden die notwendigen Bauteile durch trennende, beispielsweise spanabhebende oder elektroerodierende Verfahren mit der gewünschten Endkontur und Oberflächenqualität erzeugt. Dieser Weg wird von allen bekannten Verfahren beschränkt.

[0004] Pulvermetallurgische Herstellung:

Die durch Reduktion (an z. B. Wasserstoffatmosphäre) gewonnenen Pulver werden dotiert bzw. mit den gewünschten Legierungselementen versetzt und gemischt, um die gewünschten Legierungszusammensetzungen zu erreichen. Die Pulverbasis wird anschließend gesiebt, homogenisiert und durch diverse Pressverfahren in die gewünschten Ausgangsformen der Halbzeuge überführt. Anschließend werden die Presslinge gesintert und umgeformt. Evtl. schließt sich eine zusätzliche Wärmebehandlung an. Damit sind die Voraussetzungen für einfache Formgeometrien geschaffen, wie z. B. Drähte und Stangen sowie Bleche und Platten, die die gewünschten Eigenschaften aufweisen.

[0005] Schmelzmetallurgische Herstellung:

Ausgehend vom Erschmelzen der refraktären Metallausgangsstoffe in beispielsweise Elektronenstrahlöfen und weiterführender Tröpfchenerstarrung in Kühlkokillen werden die so gewonnenen Blöcke anschließend geschmiedet und spanend bearbeitet, um anschließend durch Umformen und evtl. Wärmebehandlung die gewünschten Halbzeuge abzubilden.

[0006] So besteht auch ein umfangreicher Kenntnisstand zum thermischen Materialspritzen metallischer und keramischer Hochtemperaturschutzschichten auf verschiedenste Grundkörpermaterialien.

[0007] Diese Lösungen beziehen sich insbesondere auf das Beschichten von Bauteilen und Halbzeugen. So beschreibt die EP 0 880 607 A 1 die Herausbildung einer Oxidationsschutzschicht zwischen Siliziden oder Aluminiden für Refraktärmetalle. Zwischen einem Grundkörper aus einem Refraktärmetall und der Oxidationsschutzschicht ist dabei eine Reaktionssperrschicht angeordnet, die vor dem Hintergrund langzeitiger Temperatureinwirkung

eine Diffusion an der Grenzfläche und die Bildung intermetallischer Phasen, auch wenn diese haftungsfördernd sind, verhindern soll.

[0008] Die Oxidationsschutzschicht kann mit einem oder mehreren Metallen aus der Gruppe Molybdän, Niob, Tantal und Hafnium in einem bestimmten Gewichtsprozentanteil legiert sein und z. B. durch Plasmaspritzen aufgetragen werden.

[0009] Die DE 10 2007 016 411 A 1 beschreibt ein Halbzeug aus Refraktärmetallen, insbesondere aus Molybdän, dessen Grundkörper mit einer Schutzschicht versehen ist und sich dadurch auszeichnet, dass die Schutzschicht eine fest haftende und eine Umformbarkeit gewährleistende Oxidationsschutzschicht und/oder eine Wärmedämmschicht ist.

[0010] Das gleichfalls beschriebene Verfahren zur Herstellung eines Halbzeuges aus Refraktärmetallen ist dadurch gekennzeichnet, dass die als Oxidationsschutzschicht und/oder eine Wärmedämmschicht wirkende Schutzschicht durch thermisches Spritzen auf dem Grundkörper aufgebracht wird.

[0011] Die Nachteile dieser bekannten Lösungen sind, dass zur Herausbildung einer Schutzschicht einem Halbzeug oder Grundkörper eine Oxidationsschicht aufgespritzt wird, jedoch der Grundkörper des Halbzeuges nicht aus Refraktärmetallen besteht.

[0012] Ausgehend von den Erkenntnissen, dass vieltufige, energie- und kostenaufwendige Fertigungsprozesse, die bei geometrisch komplexen Bauteilen keine zufrieden stellende ökonomische und technische Basis liefern können und dennoch die so erzeugten Bauteile hohe Festigkeits- und Qualitätseigenschaften besitzen, sind häufig diese hohen Eigenschaften nicht erforderlich, sondern nur bestimmte, wie Korrosionsbeständigkeit, Biegebruchfestigkeit oder Kerbschlagzähigkeit.

[0013] Werkstoffe, wie Stahl, Titan und ihre Legierungen sowie CoCr, können mit dem Verfahren des generativen Elektronenstrahlschmelzens für verschiedene Zwecke, insbesondere der Medizin (Prothesen) und der Luftfahrt verarbeitet werden.

[0014] Es ist daher Aufgabe der vorliegenden Erfindung, Bauteile in ihrer Ganzheit aus Refraktärmetallen herzustellen und gleichfalls ist es Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren zur Herstellung von Bauteilen aus Refraktärmetallen anzugeben.

[0015] Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst.

[0016] Besondere Ausgestaltungen und vorteilhafte Lösungen sind Gegenstände der Unteransprüche.

[0017] So besteht ein nach der Erfindung hergestelltes Bauteil aus pulverförmigen Refraktärmetallen, die durch Elektronenstrahlschmelzen untereinander verbunden werden und so Bauteile oder auch Halbzeuge in ihrer Gesamtheit aus einem pulverförmigen Refraktärmetall herausgebildet werden.

[0018] Die Herstellung eines derartigen Bauteiles erfolgt unter Vakuum, so in einer doppelwandigen Vakuumkammer durch punktwises Schmelzen der pulverför-

migen Refraktärmetalle. Eine hochfrequente digitale Ablenktechnik gibt die Gewähr zur Herausbildung qualitativer Bauteile.

[0019] Ausschließlich das Elektronenstrahlschmelzen eignet sich, aufgrund der hohen Energiedichte und flexiblen Steuerbarkeit zur Erschmelzung von Bauteilen aus Molybdän, Tantal, Rhenium und Wolfram sowie deren Legierungen.

[0020] Im Gegensatz zum Laserstrahlschmelzen können wesentlich höhere Strahlablenkkraten erreicht werden, um somit einen möglichst geringen Temperaturgradienten innerhalb der Arbeitskammer zu sichern. Dies führt zu homogenen Schmelzbildern und ermöglicht grundsätzlich die Verarbeitung von Refraktärmetallen.

[0021] Mit dem erfindungsgemäß vorgeschlagenen Verfahren des generativen Elektronenstrahlschmelzens für die Fertigung von Bauteilen aus den Werkstoffen, Mo, Ta, Re und W und ihren Legierungen werden folgende Vorteile erreicht:

Die Bauteile werden in einem einzigen Arbeitsgang aus dem Pulver in die Endform oder in eine endformnahe Gestalt gebracht.

[0022] Es ist möglich, Hinterschneidungen und Hohlräume zu fertigen, die mit anderen trennenden Verfahren nicht oder nur mit großem Aufwand zu fertigen sind.

[0023] Es ist möglich, durch den Pulverauftrag unterschiedliche Materialzusammensetzungen innerhalb eines Bauteils und damit gradierte Eigenschaften zu erzeugen.

[0024] Es ist möglich, homogene "eingefrorene" Werkstoffzustände zu erzeugen.

[0025] Die Bauteile können mit einer beliebigen Struktur gefertigt werden, die ein Ausfüllen mit anderen Werkstoffen, z. B. ein Eingießen in andere Werkstoffe oder das Umgießen mit anderen Werkstoffen ermöglicht.

[0026] Bereits hergestellte - auch verfahrensfremd erzeugte - Bauteile können mit Überzügen oder Beschichtungen auf ebenen und nichtebenen Strukturen versehen werden.

[0027] Während der Generierung können unterschiedliche Eigenschaften durch eine in Echtzeit steuerbare, stochastische Punktbelichtungsstrategie innerhalb von definierten Arealen, ohne Verwendung eines weiteren Pulvers, hervorgerufen werden.

[0028] Während der Generierung können mehrere Bauteile mit unterschiedlichen Pulvern und damit verschiedenen mechanischen Eigenschaften hergestellt werden.

[0029] Im Anschluss an die Generierung erfolgt eine exakt steuerbare Abkühlung zum Erhalt oder zur Schaffung von definierbaren Werkstoffeigenschaften.

Zeichnung

[0030] Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung ist in den Zeichnungen dargestellt und im Folgenden näher

beschrieben. In den Zeichnungen zeigen:

- Fig. 1 eine schematische Darstellung des Prinzips des Elektronenstrahlschmelzens,
- Fig. 2 das Auftreten von Schichtablösungen,
- Fig. 3 das Erzeugen komplexer Bauteilgeometrien,
- Fig. 4 das Prinzip der Mehrfachpulverzuführung,
- Fig. 5 ein Bauteil mit gradierten Werkstoffeigenschaften,
- Fig. 6 den gleichzeitigen Aufbau unabhängiger Bauteile,
- Fig. 7 eine Beschichtung gekrümmter Geometrien,
- Fig. 8 einen Schnitt durch die Wandung einer Fertigungskammer und
- Fig. 9 eine Elektronenstrahlschweißung verschiedener generierter Bauteile.

Beschreibung des Ausführungsbeispiels

[0031] Fig. 1 zeigt eine schematische Darstellung des Prinzips des Elektronenstrahlschmelzens. Die gewünschten Bauteile werden mittels eines Elektronenstrahls 1 direkt aus pulverförmigen Refraktärmetallen erschmolzen. Das Elektronenstrahlschmelzen folgt dabei der einstufigen, generativen Technologie, d. h. es wird schichtweise Refraktärmetallpulver 2 auf eine Substratplatte 3 aufgetragen und punktwise konturangepasst verschmolzen. Die aus dem Refraktärmetallpulver 2 aufgetragene Schicht wurde mit der Bezugszahl 4 gekennzeichnet. Das punktwise Verschmelzen ist durch die drei oberhalb dieser Schicht 4 nebeneinander dargestellten Elektronenstrahlen 1 schematisch veranschaulicht.

[0032] Die Erschmelzung des Refraktärmetallpulvers 2, 4 erfolgt dabei mittels einer in Echtzeit steuerbaren, stochastischen Punktbelichtungsstrategie, um eine gleichmäßige Schmelzstruktur, d. h. Schmelzbadenthalpie und -oberflächenspannung zu erreichen und ein thermisches Gleichgewicht zu sichern. Dadurch ist es auch möglich, die Ablösung bzw. Aufwölbung bereits aufgeschmolzener Refraktärmetallpulverschichten 5, wie sie in Fig. 2 dargestellt sind, zu minimieren. Außerdem können durch Variation der Belichtungsparameter unterschiedliche Werkstoffeigenschaften innerhalb von definierten Arealen, unter Verwendung des gleichen Pulvermaterials, erzeugt werden.

[0033] Aufgrund des schichtweisen Aufbaus ist es möglich, komplexe Bauteilgeometrien zu erzeugen. Hierzu zeigt Fig. 3 ein Bauteil 6 mit einer definierten Hinterschneidung 7 und einem Hohlraum 8 innerhalb des Bauteils 6. Die beliebigen Strukturen können anschließend

mit anderen Werkstoffen umgossen bzw. als Gesamtheit eingegossen werden.

[0034] Fig. 4 zeigt das Prinzip der Mehrfachpulverzuführung. Im vorliegenden Beispiel wird von einer Seite Molybdänpulver 9 und von der anderen Seite Wolframpulver 10 zugeführt. Die Pulverzuführung erfolgt über Hohlwellen 11, welche über Einspritzdüsen mit definierbaren Pulvermengen beschickt werden können. Durch diese zweiseitige Pulverzuführung wird es möglich, unterschiedliche Materialzusammensetzungen innerhalb eines Bauteils und damit gradierte Werkstoffeigenschaften zu erzeugen. Hierzu zeigt Fig. 5 ein Bauteil 12, das aus einer im Querschnitt keilförmigen Molybdänschicht 13 und einer so auf diese aufgetragenen Wolframschicht 14 besteht, dass das Bauteil 12 in diesem Bereich einen rechteckigen Querschnitt aufweist. Auf diese Weise sind die Werkstoffeigenschaften im Raum frei variierbar.

[0035] Ebenfalls können mehrere Bauteile 15 mit unterschiedlichen Refraktärmetallpulvern 16, 17 (Fig. 6) und damit verschiedenen mechanischen Eigenschaften hergestellt werden.

[0036] Aufgrund der punkweisen Belichtung, bei der die Pulververschmelzung mittels definierter Parametersätze erfolgt, wird eine hohe Endkonturnähe erreicht, wodurch homogene "eingefrorene" Werkstoffzustände erzeugt werden können.

[0037] Wie aus Fig. 7 erkennbar, können ferner bereits hergestellte - auch verfahrensfremd erzeugte - Bauteile 18 mit partiellen Beschichtungen 19 auf ebenen und nichtebenen Strukturen versehen werden.

[0038] Die punkweise Belichtung basiert auf einer hochfrequenten digitalen Ablenkeinheit des Elektronenstrahls, welche ausschließlich die notwendige Strahlablenkgeschwindigkeit bereitstellen kann. Die einzelnen, mathematisch bestimmten Schmelzorte werden in einer nicht-linearen Abfolge abgearbeitet. Dadurch werden ein günstigeres thermisches Gleichgewicht und eine homogene Gefügeausbildung gegenüber anderen generativen Verfahren erreicht.

[0039] Nach der Generierung der Bauteile 6, 12, 15 und 18 sind nur wenige Nachbearbeitungsprozesse, beispielsweise Trennverfahren, jedoch keine Wärmebehandlung zur Erreichung der gewünschten Werkstoffeigenschaften notwendig.

[0040] Das Erschmelzen erfolgt unter Vakuum, so dass keine Oxidationsneigung zu erwarten ist und keine anderen Schutzgase zur Minimierung von negativen Erscheinungen notwendig werden. Hierzu zeigt Fig. 8 einen Querschnitt durch eine Arbeitskammer in doppelwandiger Ausführung, zwischen deren beiden Wänden 20 Heiz- und Kühlmedien 21 zum Einsatz kommen können, die eine geregelte Temperierung der Arbeitskammer ermöglichen und die Verluste durch Wärmestrahlung erheblich verringern.

[0041] Fig. 9 zeigt die Generierung von gleichartigen oder verschiedenen Bauteilen 22 durch Elektronenstrahlschweißen. Hierzu werden die mittels Elektronen-

strahlschmelzen erzeugten Bauteile 22 durch Elektronenstrahlschweißnähte 23 zu einer größeren Baugruppe 24 gefügt, wodurch wirtschaftliche Lösungen zur Fertigung von Baugruppen 24 mit größeren Abmessungen sowie von aus gemischten Werkstoffen bestehenden Baugruppen 24 hergestellt werden können.

Bezugszahlenliste

10 [0042]

- | | |
|----|--|
| 1 | Elektronenstrahl |
| 2 | Refraktärmetallpulver |
| 3 | Substratplatte |
| 4 | Aufgetragene Refraktärmetallpulverschicht |
| 5 | Aufgeschmolzene Refraktärmetallpulverschicht |
| 6 | Bauteil |
| 7 | Hinterschneidung |
| 8 | Hohlraum |
| 9 | Molybdänpulver |
| 10 | Wolframpulver |
| 11 | Hohlwelle |
| 12 | Bauteil |
| 13 | Molybdänschicht |
| 14 | Wolframschicht |
| 15 | Bauteil |
| 16 | Refraktärmetallpulver |
| 17 | Refraktärmetallpulver |
| 18 | Bauteil |
| 19 | Partielle Beschichtung |
| 20 | Arbeitskammerwand |
| 21 | Heiz- und Kühlmedium |
| 22 | Bauteil |
| 23 | Elektronenstrahlschweißnaht |
| 24 | Baugruppe |

Patentansprüche

1. Verfahren zur Fertigung von Bauteilen aus Refraktärmetallen, **dadurch gekennzeichnet, dass** pulverförmige Bestandteile (4, 9, 10, 16, 17) von Refraktärmetallen mittels Elektronenstrahlschmelzen punktweise aufgeschmolzen und die Bauteile (6, 12, 15, 18) in ihrer Endform oder in einer endformnahen Kontur herausgebildet werden.
5
10
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Elektronenstrahlschmelzen ein generatives Elektronenstrahlschmelzen ist, dieses für die Fertigung von Bauteilen (6, 12, 15, 18) aus den Werkstoffen Molybdän, Tantal, Rhenium und Wolfram und ihren Legierungen zur Anwendung kommt.
15
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Schmelzen punktweise erfolgt und eine hochfrequente digitale Ablenktechnik für die Ausbildung von Bauteilen (6, 12, 15, 18) zum Einsatz kommt oder auf der Grundlage der digitalen Ablenktechnik diese Bauteile (6, 12, 15, 18) hergestellt werden.
20
25
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Herstellung dieser Bauteile (6, 12, 15, 18) in einer doppelwandigen Vakuumkammer erfolgt.
30

35

40

45

50

55

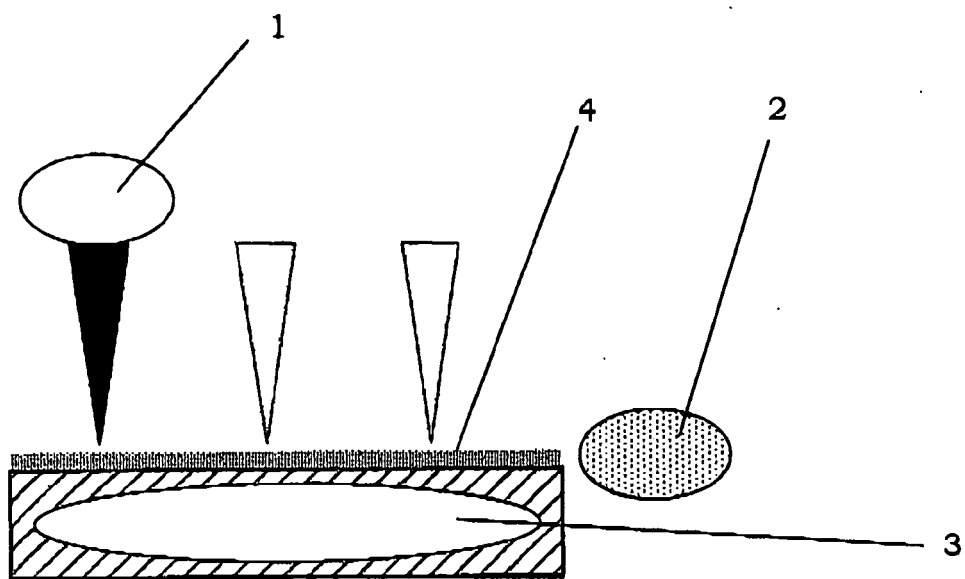


Fig. 1

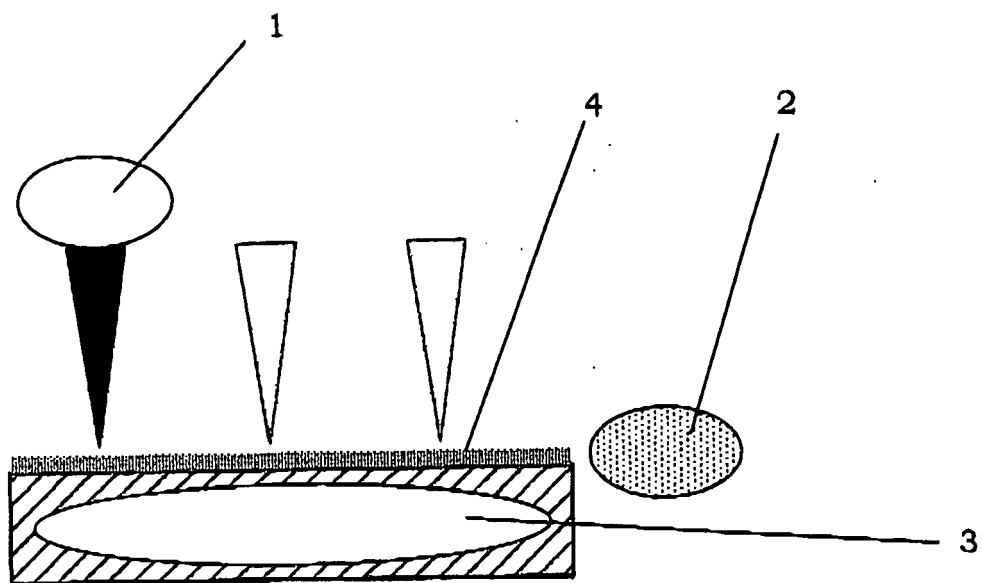


Fig. 1

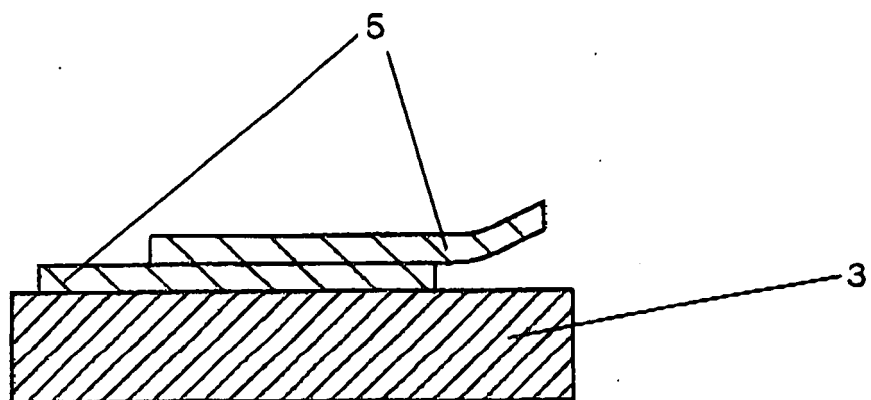


Fig. 2

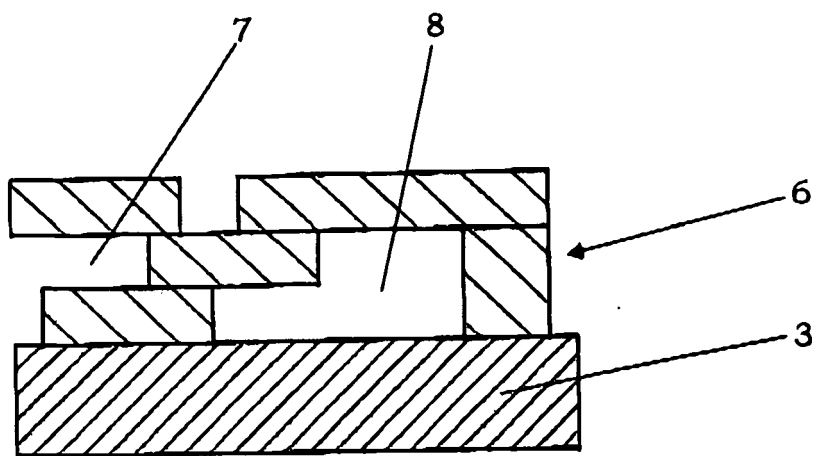


Fig. 3

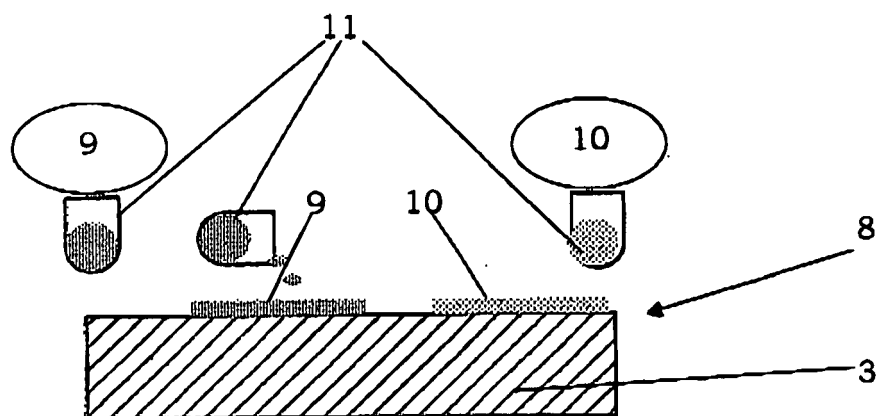


Fig. 4

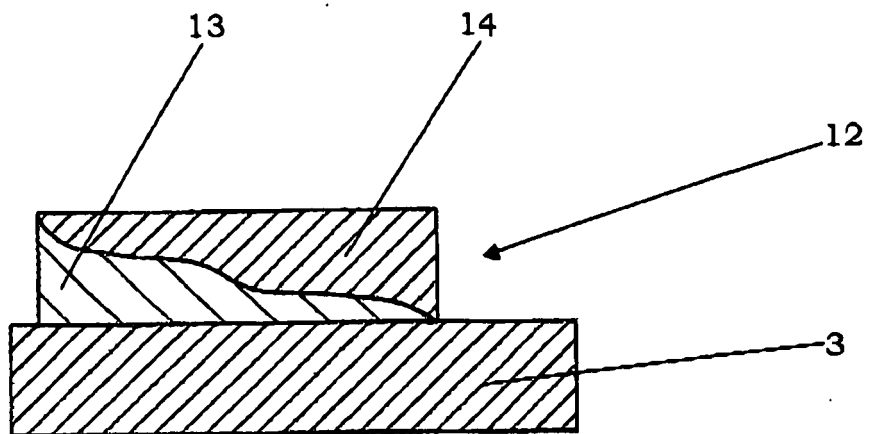


Fig. 5

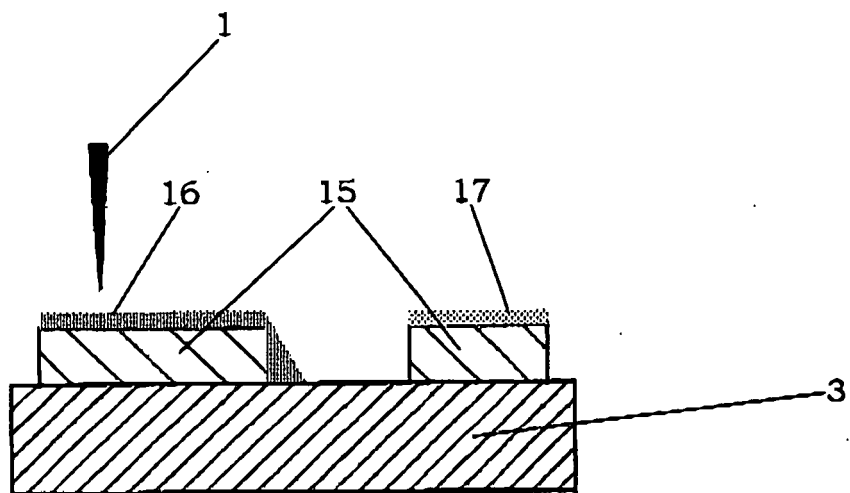


Fig. 6

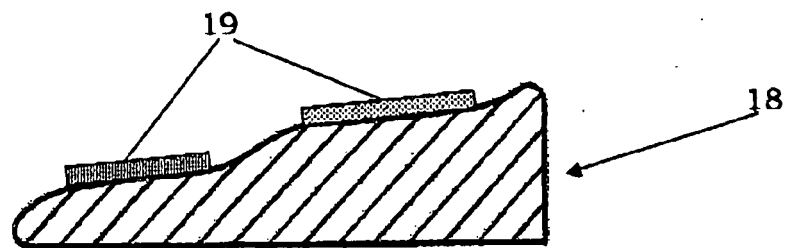


Fig. 7

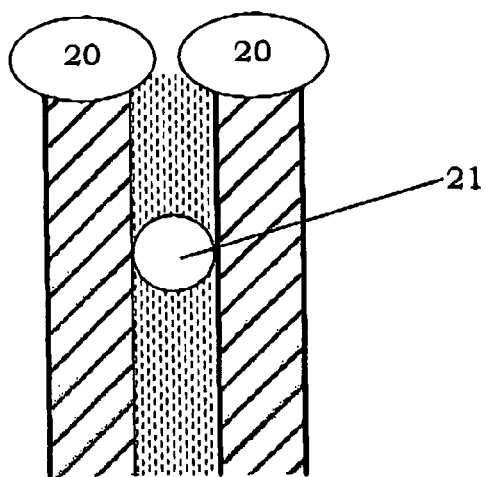


Fig. 8

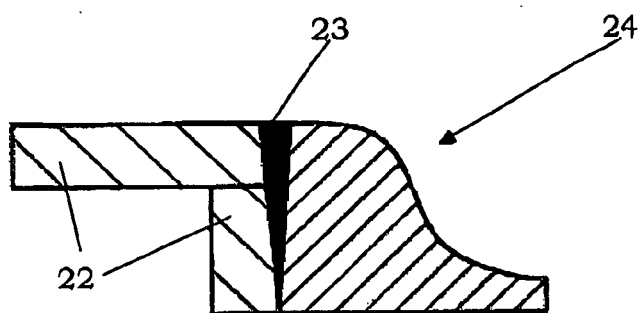


Fig. 9

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- EP 0880607 A1 [0007]
- DE 102007016411 A1 [0009]