



(11)

EP 2 136 927 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
21.03.2012 Patentblatt 2012/12

(51) Int Cl.:
C23C 4/12 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **08735291.0**

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/EP2008/003055

(22) Anmeldetag: **16.04.2008**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2008/125356 (23.10.2008 Gazette 2008/43)

(54) **EXPANSIONSDÜSE ZUM THERMISCHEN SPRITZEN UND VERFAHREN ZU DEREN HERSTELLUNG**

EXPANSION NOZZLE FOR THERMAL SPRAYING AND METHOD FOR THE PRODUCTION THEREOF

DIVERGENT POUR L'EXTRUSION THERMIQUE ET PROCÉDÉ DE FABRICATION DE CELUI-CI

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

(72) Erfinder: **DIRSCHERL, Markus**
81547 München (DE)

(30) Priorität: **16.04.2007 DE 102007017766**

(74) Vertreter: **Hager, Thomas Johannes**
Hoefer & Partner
Patentanwälte
Pilgersheimer Strasse 20
81543 München (DE)

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
30.12.2009 Patentblatt 2009/53

(73) Patentinhaber: **Hermle Maschinenbau GmbH**
78559 Gosheim (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
DE-A1- 10 001 983 DE-A1- 10 126 320
DE-A1-102005 038 453 FR-A- 2 500 331
US-A1- 2003 219 544 US-A1- 2005 173 556

EP 2 136 927 B1

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung einer Expansionsdüse, die insbesondere zum thermischen Spritzen eingesetzt wird. Nach diesem Verfahren hergestellte Düsen können jedoch auch in einer Vielzahl anderer Anwendungen eingesetzt werden.

[0002] Beim thermischen Spritzen werden pulverförmige Spritzpartikel in einen Strahl aus Gasen injiziert und dann in einer Expansionsdüse auf hohe Geschwindigkeiten beschleunigt. Derartige Expansionsdüsen sind hinlänglich bekannt. Sie weisen einen konvergenten und einen divergenten Bereich auf, die stetig über einen engsten Querschnitt ineinander übergehen.

[0003] Beim Einsatz derartiger Düsen zur Erzeugung einer Überschallströmung muss die Form im divergenten Bereich der Düse so gestaltet sein, dass die Querschnittszunahme stetig und mit einem nicht zu großen Gradienten erfolgt, um schiefe Stöße zu vermeiden. Dem entsprechend gibt es eine Vielzahl von Formen ausgehend von der kegelförmigen Erweiterung bis hin zur nach dem Charakteristikerverfahren optimierten Parallelstrahldüse wie in EP 1506816A1 beschrieben. Ebenfalls bekannt sind Formen bei denen der konvergent divergente Übergang durch einen in einem zylindrischen Rohr angebrachten Verdrängungskörper gebildet wird (EP 1369498B1). Die Herstellung derartiger Düsen, vor allem, wenn sie einen kleinen engsten Querschnitt aufweisen, führt aufgrund der oben genannten Anforderung zu erheblichen technischen Problemen. Die Längsteilung in einen konvergenten und einen divergenten Bereich vereinfacht zwar die Herstellung, birgt aber das Risiko einer Unstetigkeit an der Kontaktfläche mit der Gefahr der Ausbildung von Stößen. Dasselbe gilt für Düsen, die in der Symmetrieachse geteilt und durch konventionelle spanabhebende Fertigung hergestellt werden. Darüber hinaus führt die geteilte Ausführung der Düsen zu erheblichen Dichtungsproblemen, insbesondere wenn diese bei hohen Drücken und Temperaturen betrieben werden.

[0004] Sinterverfahren erlauben zwar das Herstellen komplexer Geometrien aus einem Stück; wenn die innere Oberfläche der Düse jedoch eine besondere Qualität aufweisen soll, bereitet die Nachbehandlung erhebliche Schwierigkeiten.

[0005] Weitere vorbekannte Expansionsdüsen werden in US 2005 01 73556, wo eine Düse gezeigt wird, die nach dem Verfahren gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1 hergestellt wurde, und DE 101 26 320 vorgestellt.

[0006] Es ist daher Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine strömungsmechanisch möglichst optimale Expansionsdüse der eingangs genannten Art zu schaffen, welche aus einem Stück auf einfache Weise hergestellt werden kann.

[0007] Diese Aufgabe wird gelöst durch die Merkmale des Anspruchs 1.

[0008] Der Innenbereich der gesamten Düse weist die Kontur eines einschaligen Hyperboloiden auf, dessen Er-

zeugende eine Gerade ist.

[0009] Dies geschieht erfindungsgemäß dadurch, dass die Innenkontur der Expansionsdüse durch Drahterodieren hergestellt wird, wobei der Schneiddraht windschief um die Rotationsachse der Expansionsdüse rotiert.

[0010] Durch dieses Herstellungsverfahren kann die Expansionsdüse besonders einfach und auch relativ kostengünstig hergestellt werden.

[0011] Die Unteransprüche beinhalten vorteilhafte Weiterbildungen und Ausgestaltungen der Erfindung.

[0012] Aufgrund dieses Verfahrens muss das Material für die Expansionsdüse elektrisch leitfähig sein. Dazu eignet sich besonders ein Metall, insbes, ein Hartmetall, oder ein keramikähnlicher Werkstoff, z. B. kohlenstofffaserverstärktes Siliziumcarbid (C-SiC).

[0013] Um eine noch höhere Oberflächenbeschaffenheit und eine bessere Beständigkeit gegen Abrasion zu erreichen, kann zusätzlich die Innenkontur der Expansionsdüse auch einer Oberflächenbehandlung, wie z. B. Polieren und/oder Beschichten, unterzogen werden.

[0014] Durch geeignete Wahl des Rotationspunktes des Drahtes kann das Verhältnis der Länge des konvergenten zum divergenten Bereich beliebig eingestellt werden. Durch Veränderung der Steigung des Drahtes während einer Rotation können jedoch auch ellipsoide Hyperboloide erzeugt werden, die einen flächigen Gasstrahl erzeugen können.

[0015] Um das Strömungsverhalten weiter zu verbessern, kann der divergente und/oder der konvergente Bereich mit einem Vorsatzelement verlängert werden.

[0016] Dieses Vorsatzelement kann nach einer Ausgestaltungsvariante eine den Hyperboloiden fortsetzende Innenkontur oder auch eine von dem Hyperboloiden abweichende Innenkontur aufweisen.

[0017] Nach einer bevorzugten Ausgestaltung ist der konvergente Bereich mit einem gasförmigen oder flüssigen wandbenetzenden Film überzogen. Die Hauptaufgabe dieses Films besteht darin, die Expansionsdüse zu kühlen, um so die Standzeit zu erhöhen und die Temperatur der Kernströmungen an die Grenze der Temperaturbeständigkeit des Düsenmaterials heranzuführen.

[0018] Um zu verhindern, dass es bedingt durch die Grundgeometrie der Expansionsdüse, die sich mit zunehmender Länge immer mehr aufweitet, zu einer Strömungsablösung kommen kann, sind vorteilhafterweise im divergenten Bereich am Umfang Bohrungen angebracht, über die ein Stützstrahl eingeblasen werden kann, der bei geeigneter Ausführung eine freie Wandoberfläche für den Überschallstrahl bildet und die Ausbildung eines Parallelstrahles ermöglicht. Bei einer asymmetrischen Einblasung können damit auch die Form und die Ablenkung des Überschallstrahles variiert werden.

[0019] Weitere Einzelheiten, Merkmale und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung anhand der Zeichnungen. Es zeigen:

- Figur 1 ein Längsschnitt durch eine erfindungsgemäße Expansionsdüse zur Veranschaulichung der Innenkontur,
- Figur 2 eine perspektivische Ansicht der Innenkontur der erfindungsgemäßen Expansionsdüse, und
- Figur 3 eine schematische Ansicht, welche verdeutlicht, wie die Expansionsdüse hergestellt wird.

[0020] In den Figuren ist die Innenkontur einer erfindungsgemäßen Expansionsdüse 1 dargestellt.

[0021] Die erfindungsgemäße Expansionsdüse 1 weist einen konvergenten Bereich 2, einen divergenten Bereich 3 und einen stetigen Übergangsbereich 4 auf.

[0022] Beim Durchströmen des Expansionsdüse 1 werden die Spritzpartikel im konvergenten Bereich 2 auf Unterschallgeschwindigkeit beschleunigt. Am engsten Querschnitt, d. h. im Übergangsbereich 4 erreicht das Gas Schallgeschwindigkeit und im divergenten Bereich 3 schließlich werden die Spritzpartikel weiter beschleunigt und erreichen Überschallgeschwindigkeit.

[0023] Um die Düse einfach aus einem Stück fertigen zu können, ist der Übergangsbereich 4 zwischen dem konvergenten Bereich 2 und dem divergenten Bereich 3 derart bogenförmig ausgebildet, dass die gesamte Innenkontur von konvergentem Bereich 2, divergentem Bereich 3 und Übergangsbereich 4 als einschaliger Hyperboloid ausgebildet ist, dessen Nebenachse 5 im engsten Querschnitt 4 liegt und dessen Hauptachse die Rotationsachse 6 der Expansionsdüse 1 bildet.

[0024] Der konvergente und/oder der divergente Bereich 2, 3 kann mit einem Vorsatzelement verlängert werden, welches entweder eine den Hyperboloiden fortsetzende Innenkontur oder eine von dem Hyperboloiden abweichende Innenkontur aufweisen kann.

[0025] Weiterhin kann im konvergenten Unterschallbereich 2 der Expansionsdüse 1 ein gasförmiger oder flüssiger wandbenetzender Film aufgegeben werden, um die Expansionsdüse 1 zu kühlen, um so die Standzeit zu erhöhen und die Temperatur der Kernströmungen an die Grenze der Temperaturbeständigkeit des Düsenmaterials heranzuführen. Weiterhin können damit Ablagerung von Partikel verhindert werden.

[0026] Bedingt durch ihre Grundgeometrie weitet sich die Expansionsdüse 1 mit zunehmender Länge immer mehr auf, was zur Strömungsablösung führen kann. Um dies zu verhindern, können im divergenten Bereich 3 am Umfang Bohrungen angebracht sein, über die ein Stützstrahl eingeblasen wird, der bei geeigneter Ausführung eine freie Wandoberfläche für den Überschallstrahl bildet. Bei einer asymmetrischen Einblasung können damit auch die Form und die Ablenkung des Überschallstrahles variiert werden.

[0027] Im folgenden wird ein einfaches Herstellungsverfahren für eine Expansionsdüse sowie darauf aufbauend die spezielle Optimierung der Strömung beschrieben.

ben.

[0028] Basisform der erfindungsgemäßen Expansionsdüse 1 ist einschaliges Hyperboloid, eine dreidimensionale geometrische Fläche, die durch Rotation einer aus der Mittelachse versetzten Geraden erzeugt wird (vgl. Fig. 3). Die erfindungsgemäße Expansionsdüse 1 wird durch Drahterodieren hergestellt, wobei der Schneiddraht 7 windschief um die Rotationsachse 6 der Expansionsdüse 1 rotiert. Dadurch wird eine hyperbelförmige Innenkontur der Expansionsdüse 1 erzeugt, bei welcher der konvergente Bereich 2, der divergente Bereich 3 ohne Unstetigkeitsstellen ineinander übergehen.

[0029] Die Expansionsdüse 1 besteht aus einem elektrisch leitfähigen Material, z. B. ein Metall, vorzugsweise ein Hartmetall, oder einem keramikähnlichen Werkstoff, z. B. kohlenstofffaserverstärktes Siliziumcarbid (C-SiC).

[0030] Zusätzlich kann die Innenkontur der Expansionsdüse 1 auch noch einer Oberflächenbehandlung, wie z. B. Polieren und/oder Beschichten, unterzogen werden. Dies kann ebenfalls über einen geradlinigen Polierkörper erfolgen, der dieselbe Rotationsbewegung durchführt wie der Schneiddraht 7.

[0031] Selbstverständlich kann die erhaltene Geometrie durch beliebige Verfahren, z. B. Senkerodieren, nachbearbeitet werden, um zumindest bereichsweise eine Form zu erhalten, die von der Form des einschaligen Hyperboloiden abweicht. Solche Modifikationen können z. B. zur Ausgestaltung einer Parallelstrahldüse verwendet werden.

[0032] Die vorhergehende Beschreibung der vorliegenden Erfindung dient nur zu illustrativen Zwecken und nicht zum Zwecke der Beschränkung der Erfindung. Im Rahmen der Erfindung sind verschiedene Änderungen und Modifikationen möglich, ohne den Umfang der Erfindung sowie ihrer Äquivalente zu verlassen.

[0033] Die Offenbarung der Figuren wird als expliziter Inhalt der vorliegenden Beschreibung angesehen.

[0034] Alle oben beschriebenen Komponenten können auch in Alleinstellung oder in beliebiger Kombination in anderen Herstellungsverfahren von metallischen oder Verbundbauteilen zur Anwendung kommen.

Bezugszeichenliste

[0035]

- 1 Expansionsdüse
- 2 konvergenter Bereich
- 3 divergenter Bereich
- 4 Übergangsbereich
- 5 Nebenachse
- 6 Rotationsachse (Hauptachse)

7 Schneiddraht

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung einer Expansionsdüse zum thermischen Spritzen von pulverförmigen Spritzpartikeln, wobei die Expansionsdüse einen konvergenten und einen divergenten Bereich mit einem dazwischen liegenden engsten Querschnitt aufweist, und wobei die Kontur die Form eines einschaligen Hyperboloiden aufweist, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Innenkontur der Expansionsdüse (1) durch Drahterodieren hergestellt wird, wobei der Schneiddraht (7) windschief um die Rotationsachse (6) der Expansionsdüse (1) rotiert.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** als Material für die Expansionsdüse (1) ein elektrisch leitfähiges Material verwendet wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Metall, insbes ein Hartmetall verwendet wird.
4. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein keramikähnlicher Werkstoff, z. B. kohlenstofffaserverstärktes Siliziumcarbid (C-SiC), verwendet wird.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Innenkontur der Expansionsdüse (1) einer Oberflächenbehandlung, wie Polieren und/oder Beschichten, unterzogen wird.

Claims

1. A method for producing an expansion nozzle for thermal spraying of powdery spray particles, the expansion nozzle including a convergent and divergent portion having an intermediate narrowest cross section and the contour comprising the shape of a hyperboloid of one sheet, **characterized in that** the inner contour of the expansion nozzle (1) is created by wire eroding, wherein the cutting wire is rotating skewed around the axis of rotation (6) of the expansion nozzle (1).
2. The method as claimed in claim 1, **characterized in that** an electrically conductive material is used as material for the expansion nozzle (1).
3. The method as claimed in claim 1 or 2, **characterized in that** a metal particularly a hard metal is used.
4. The method as claimed in claim 1 or 2, **character-**

ized in that a ceramics-like material such as carbon-fibre reinforced silicon carbide (C-SiC) is used.

5. The method as claimed in one of claims 1 to 4, **characterized in that** the inner contour of the expansion nozzle (1) is subjected to surface treatment such as polishing and/or coating.

Revendications

1. Procédé de fabrication d'un divergent pour l'extrusion thermique de particules extrudées pulvérulentes, sachant que le divergent présente une zone convergente et une zone divergente avec une section transversale la plus étroite se trouvant entre ces dernières, et sachant que le contour présente la forme d'un hyperboloïde à une nappe, **caractérisé en ce que** le contour intérieur du divergent (1) est fabriqué par étincelage par fil, sachant que le fil de coupe (7) tourne de manière inclinée autour de l'axe de rotation (6) du divergent (1).
2. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce qu'on** utilise comme matériau pour le divergent (1) un matériau électroconducteur.
3. Procédé selon la revendication 1 ou 2, **caractérisé en ce qu'on** utilise un métal, en particulier un métal dur.
4. Procédé selon la revendication 1 ou 2, **caractérisé en ce qu'on** utilise une matière identique à de la céramique, par exemple le carbure de silicium (C-SiC) renforcé en fibres de carbone.
5. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, **caractérisé en ce que** le contour intérieur du divergent (1) est soumis à un traitement de surface, tel que le polissage et/ou l'enduction.

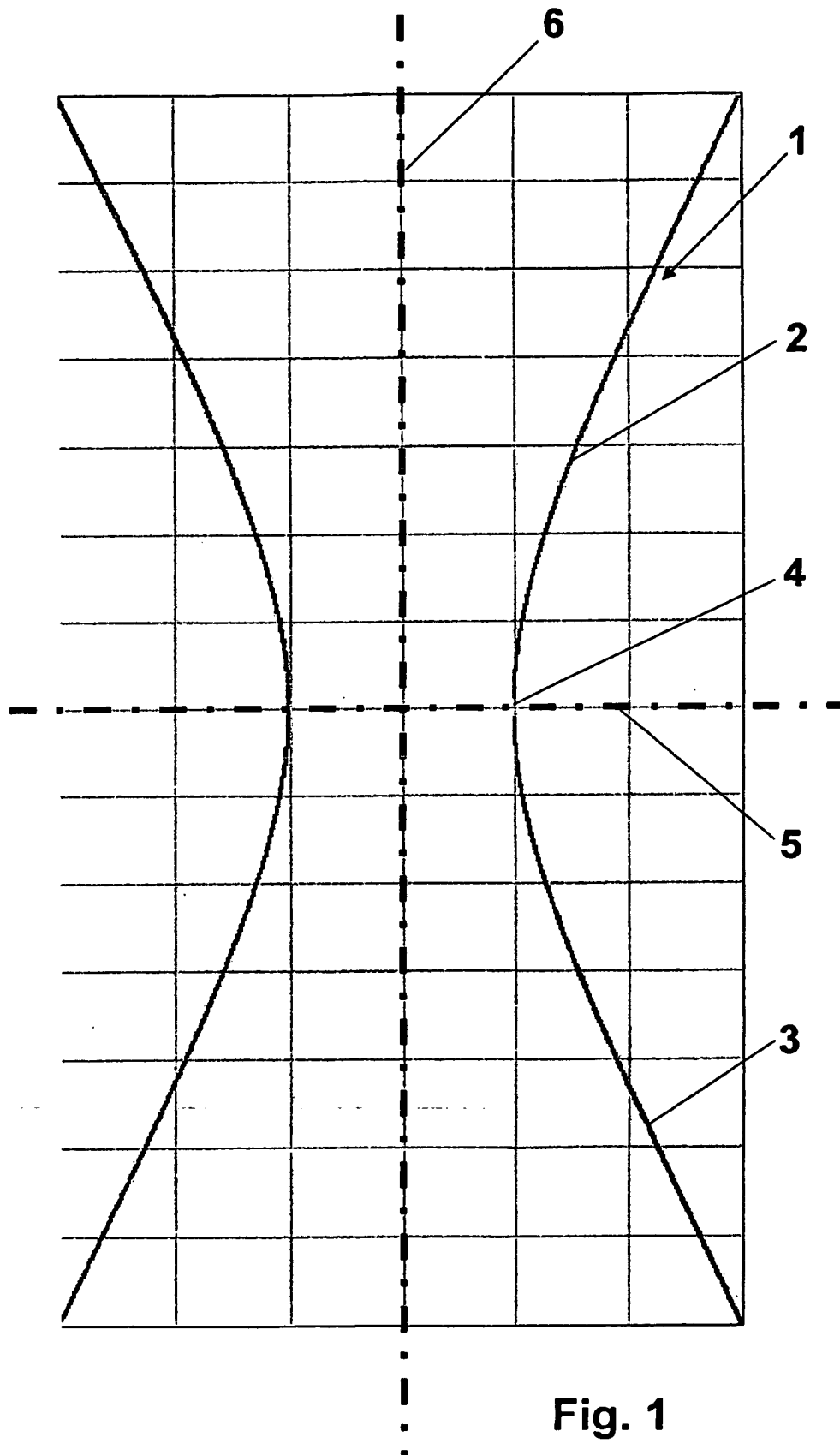
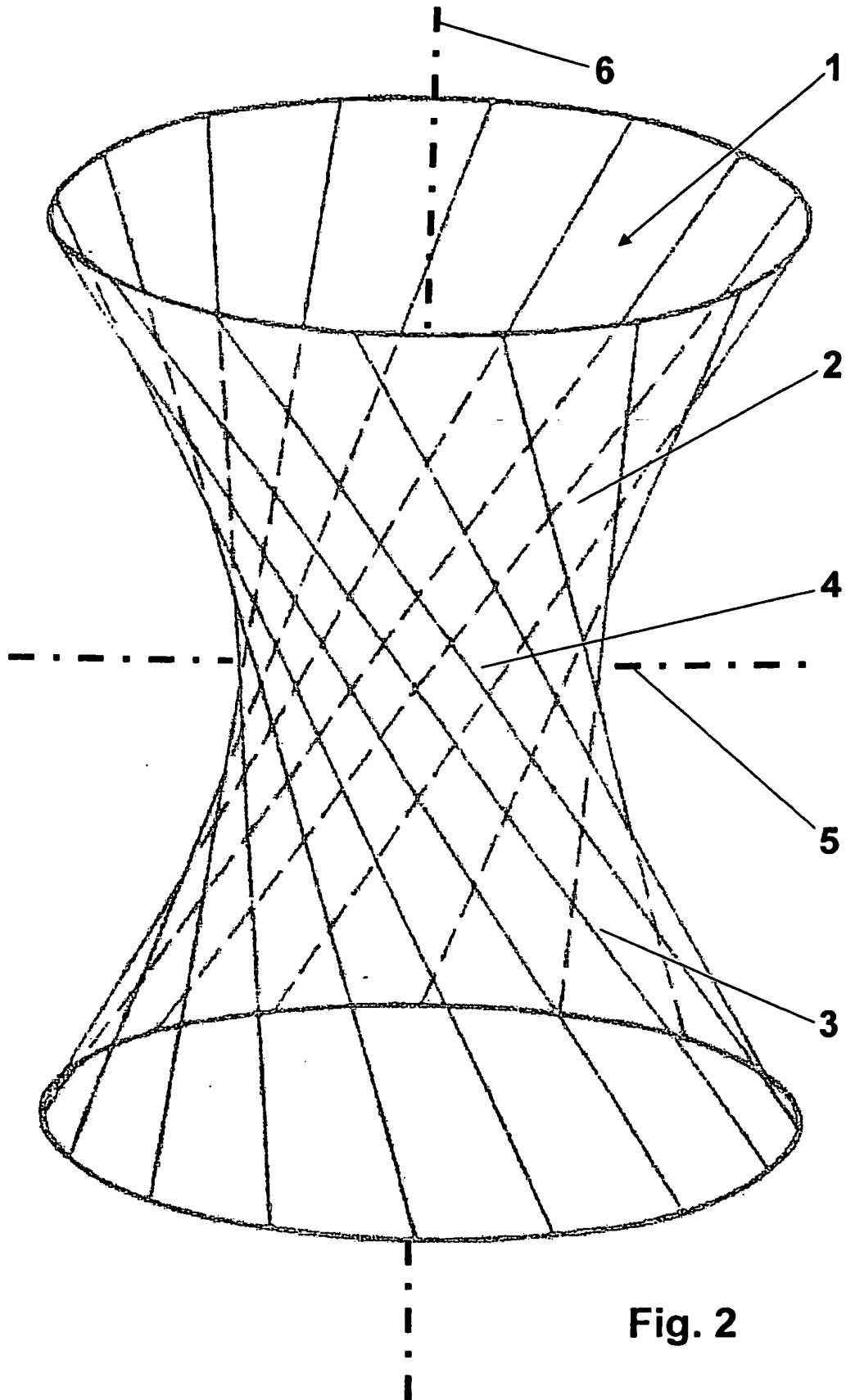


Fig. 1



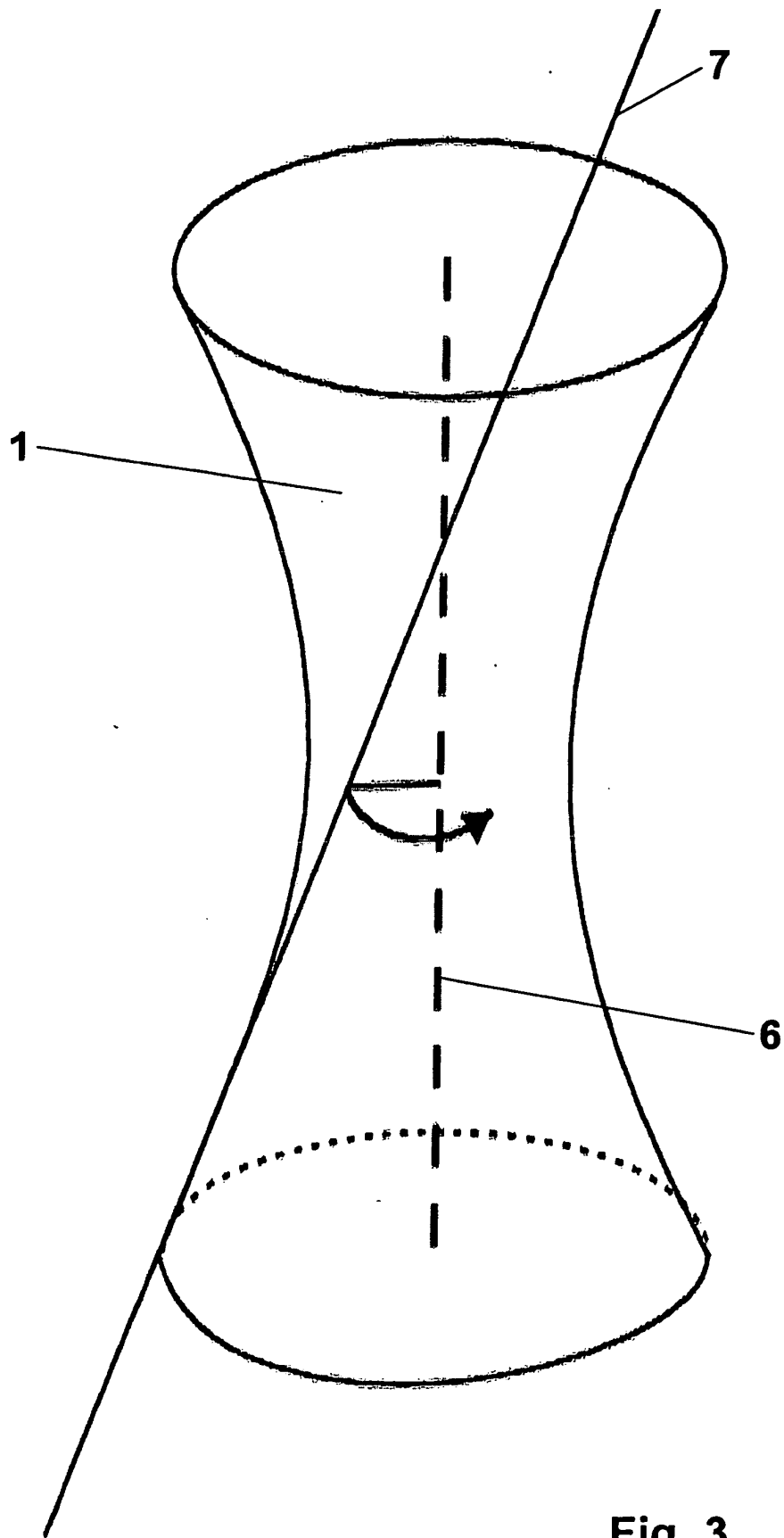


Fig. 3

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 1506816 A1 [0003]
- EP 1369498 B1 [0003]
- US 20050173556 A [0005]
- DE 10126320 [0005]