

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges  
Eigentum

Internationales Büro

(43) Internationales  
Veröffentlichungsdatum

27. Juni 2013 (27.06.2013)



W I P O I P C T



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2013/092123 AI**

(51) Internationale Patentklassifikation:

**B22F 3/105** (2006.01) **B29C 67/00** (2006.01)  
**B22F 7/06** (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2012/073672

(22) Internationales Anmeldedatum:  
27. November 2012 (27. 11.2012)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:  
10 201 1 089 194.3  
20. Dezember 2011 (20. 12.2011) DE

(71) Anmelder: **FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG E.V.** [DE/DE]; Hansastraße 27c, 80686 München (DE).  
**BAM BUNDESANSTALT FÜR MATERIALFORSCHUNG UND -PRÜFUNG** [DE/DE]; Unter den Eichen 87, 12205 Berlin (DE).

(72) Erfinder: **UHLMANN, Eckart**; Erlenweg 12, 25368 Kiebitzreihe (DE). **GÜNSTER, Jens**; Schulstraße 29,

38678 Clausthal-Zellerfeld (DE). **GOMES, Cynthia**; Gritznerstraße 33, 12163 Berlin (DE). **BERGMANN, Andre**; Parkstraße 69, 13086 Berlin (DE). **URBAN, Kamilla**; Agricolastraße 19, 10555 Berlin (DE).

(74) Anwalt: **GULDE HENGELHAUPT ZIEBIG & SCHNEIDER**; Wallstraße 58/59, 10179 Berlin (DE).

(81) **Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) **Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) **Title:** METHOD FOR MANUFACTURING A COMPACT COMPONENT, AND COMPONENT THAT CAN BE PRODUCED BY MEANS OF THE METHOD

(54) **Bezeichnung :** VERFAHREN ZUR FERTIGUNG EINES KOMPAKTEN BAUTEILS SOWIE MIT DEM VERFAHREN HERSTELLBARES BAUTEIL

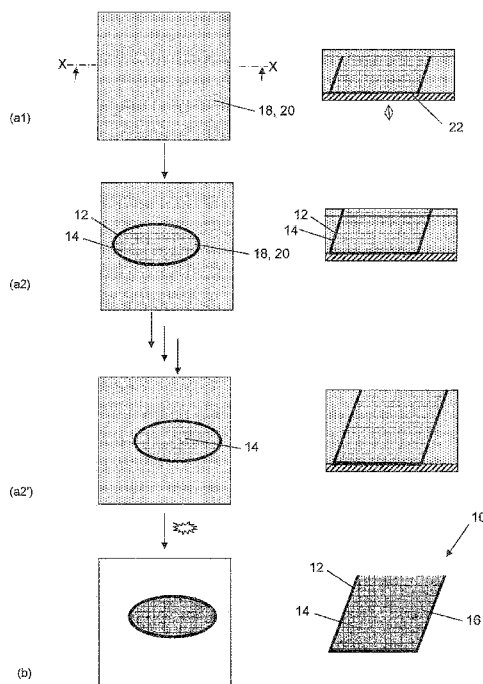


Fig. 2

(57) **Abstract:** The invention relates to a method for manufacturing a compact component (10) comprising a shell (12), optionally a grid structure (14) that is situated inside the shell (12) and consists of a shell material, and a core structure (16) that fills the interior of the shell (12) and consists of a core material. The method comprises the following Steps: (a) generative construction of at least one layer of the shell (12) that runs along a sectional plane of the component (10) and optionally at least one layer of the grid structure (14) consisting of a particulate material (18) of the shell material or at least of a reagent of the same by means of a beam melting method; and (b) melting, sintering and/or solidification of a nanoparticulate material (20) of the core material, which is situated in the interior of the at least one layer of the shell (12) or of at least one reagent of the same, for forming the core structure (14) of the component (10). The invention further relates to a corresponding compact component that can be produced by means of the method.

(57) **Zusammenfassung:** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Fertigung eines kompakten Bauteils (10), welches eine Hülle (12) und optional eine innerhalb der Hülle (12)

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2013/092123 A1



TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Veröffentlicht:**

- mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz V
- vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eingehen (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe h)

---

befindliche Gitterstruktur (14) aus einem Hüllmaterial umfasst sowie ferner eine, einen Innenraum der Hülle (12) füllende Kernstruktur (16) aus einem Kernmaterial. Das Verfahren umfasst die Stufen: (a) generativer Aufbau zumindest einer, entlang einer Schnittebene des Bauteils (10) verlaufenden Schicht der Hülle (12) und optional zumindest einer Schicht der Gitterstruktur (14) aus einem partikulären Werkstoff (18) des Hüllmaterials oder zumindest eines Edukts desselben mittels eines Strahlschmelzverfahrens; und (b) Erschmelzen, Sintern und/oder Verfestigen eines in dem Innenraum der zumindest einen Schicht der Hülle (12) befindlichen nanopartikulären Werkstoffs (20) des Kernmaterials oder zumindest eines Edukts desselben zur Ausbildung der Kernstruktur (14) des Bauteils (10). Die Erfindung betrifft ferner ein entsprechendes, mit dem Verfahren herstellbares kompaktes Bauteil.

## **Verfahren zur Fertigung eines kompakten Bauteils sowie mit dem Verfahren herstellbares Bauteil**

- 5 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Fertigung, insbesondere zur zumindest teilweisen generativen Fertigung, eines kompakten Bauteils, welches eine Hülle umfasst sowie ferner eine, einen Innenraum der Hülle füllende Kernstruktur. Ein weiterer Aspekt der Erfindung betrifft ein solches, durch das Verfahren herstellbares Bauteil.
- 10 Generative Fertigungsverfahren zeichnen sich durch den Aufbau von Bauteilen aus formlosen, insbesondere pulverförmigen Werkstoffmaterialien aus. Es handelt sich somit um materialaufbauende Verfahren, wohingegen materialabtragende Fertigungsverfahren das Bauteil grundsätzlich aus Halbzeugen oder kompakten Werkstücken herstellen. Darüber hinaus kommen generative Fertigungsverfahren ohne Formwerkzeugen aus. Die generativen Fertigungsverfahren der Gruppe der Strahlschmelzverfahren sind in der Lage, hoch-
- 15 komplexe Bauteilgeometrien zu erzeugen. Laut VDI-Richtlinie 3404 werden folgende Verfahren unter dem Oberbegriff des Strahlschmelzens zusammengefasst: Laser Forming, Selective Laser Melting (SLM), Laser-Cusing, Electron Beam Melting (EBM) und Direktes-Metall-Laser-Sintern (DMLS).
- 20 Insbesondere ist bekannt, die gesamte Bauteilgeometrie generativ in einem Strahlschmelzprozess aufzubauen. Im Vorfeld der eigentlichen Fertigung werden hierfür zunächst die notwendigen Bauteilinformationen in Form von 3D-CAD-Daten bereitgestellt. Sodann wird das CAD-Bauteilmodell mittels spezieller Software rechnerisch in übereinander liegende Schichten (Schichtebenen) definierter Schichtdicke zerlegt (dieser Vor-
- 25 gang wird auch als Slicen bezeichnet) und die Schichten in einzelne Laservektoren zerlegt (Hatchen). Der sich anschließende Strahlschmelzprozess umfasst drei sich zyklisch wiederholende Phasen. In der ersten Phase wird eine Substratplatte um die vordefinierte Schichtdicke gemäß dem zuvor durchgeführten Slice-Vorgang abgesenkt. In der zweiten
- 30 Phase wird eine Schicht des Werkstoffpulvers mit einem Beschichter auf die Substratplatte aufgebracht. In der dritten Phase werden gemäß den ermittelten Laservektoren die Konturflächen des Bauteils in der aufgetragenen Pulverschicht unter Verwendung eines Lasers, etwa eines diodengepumpten Festkörper-Faserlasers, vollständig lokal aufgeschmolzen. Abhängig vom Werkstoff kommt es dabei zum Erschmelzen oder Sintern des
- 35 Materials und somit zu einer Verfestigung des pulverförmigen Materials entsprechend der Bauteilgeometrie der Schicht. Diese Schritte werden wiederholt, bis die letzte Bauteilschicht erzeugt ist. Abschließend wird die verfestigte Struktur von dem nicht-verfestigten

Pulver befreit, welches aufbereitet und erneut dem generativen Prozess zugeführt werden kann.

In Weiterentwicklung der zuvor beschriebenen Vorgehensweise kann in die so erzeugte  
5 äußere Hülle eines Bauteils die Schmelze eines reinen Metalls oder einer Metalllegierung gegossen werden, um eine Kernstruktur auszubilden. In diesem Zusammenhang ist beispielsweise bekannt, dass Kupfer- oder Aluminiumlegierungen als Kernwerkstoff verwendet werden. Das Ergebnis sind beispielsweise Werkzeugeinsätze, die aufgrund der guten Wärmeleitfähigkeit des Kerns eine gleichmäßig hohe Kühlwirkung erreichen.

10

Um die Aufbaurate generativer Fertigungsverfahren zu erhöhen, ist ferner bekannt, die Laserleistung gezielt zu erhöhen, wobei derzeit eine Laserleistung von etwa 1 kW erreicht wird. Da die Erhöhung der Leistung bei konstantem Laserstrahldurchmesser zu einer vermehrten Spritzerbildung führt, wird bei diesem Lösungsansatz der Strahldurchmesser auf  
15 bis zu 1 mm vergrößert und das bestehende Strahlprofil, welches einer Gauß'schen Verteilung entspricht, gestreut. Um der hierbei sinkenden Oberflächengüte zu begegnen, kann ein Mehrstrahlkonzept eingesetzt werden, welches die Bearbeitung mit unterschiedlichen Laserleistungen und Fokusburchmessern ermöglicht.

20

Abhängig vom verarbeiteten Materialsystem, ist ferner bekannt, so genannte Grünkörper mittels generativer Fertigungsverfahren aufzubauen, die in einem anschließenden Prozessschritt zur Festigkeitserhöhung einer thermischen Behandlung unterzogen werden. Eine solche thermische Behandlung ist für die meisten Verbundwerkstoffe oder keramischen Werkstoffsysteme unumgänglich, was für den Einsatz dieser Verfahren in der Massenproduktion abträglich ist.  
25

DE 10 2005 055 524 A beschreibt ein Verfahren zur Herstellung eines Hohlkörpers beispielsweise für Zahnkeramiken, wobei ein Grünkörper aus einem Werkstoffpulver wie beispielsweise  $\text{SiO}_2$  mit einer profilierten Oberflächenkontur durch herkömmliche Umformungsverfahren, wie Pressen oder Gießen, durch materialabtragende Verfahren oder durch auftragende Verfahren, wie 3D-Printen oder Abscheiden, hergestellt wird und anschließend die Oberfläche durch Laserbestrahlung gesintert und somit verfestigt wird. Abschließend wird loses, nicht gesintertes Werkstoffpulver entfernt.

30

Darüber hinaus sind nanopartikuläre oder nanostrukturierte Werkstoffe als Fügematerialien zum Verbinden von Bauteilen bekannt.

So ist aus DE 10 2007 020 389 A 1 ein Fügeverfahren zum Verbinden zweier Bauteile bekannt, bei dem zwischen die Fügeflächen der Bauteile eine Schicht eines nano- oder mikrostrukturierten Werkstoffs aufgebracht wird und anschließend eine exotherme Reaktion des nano- oder mikrostrukturierten Werkstoffs ausgelöst wird. Infolge der Wärmefreisetzung kommt es zu einem partiellen Aufschmelzen und Verbinden des Bauteilmaterials. Optional können zwischen dem nano- oder mikrostrukturierten Werkstoff und den Fügeflächen der Bauteile noch Schichten eines verbindenden Materials aufgebracht werden.

Bei dem aus DE 10 2006 009 159 A bekannten Fügeverfahren zur Herstellung eines Metall-Keramik-Verbundsubstrats wird zwischen die zu verbindenden Bauteile eine Schicht eines Sintermaterials aufgebracht und dieses nachfolgend bei erhöhter Temperatur und erhöhtem Druck gesintert.

Aus DE 10 2008 037 263 A ist ein Lot-Werkstoff in Form einer Dispersion bekannt, die ein Dispersionsmittel und ein in diesem dispergiertes Lot-Pulver aufweist. Das Lot-Pulver besteht aus Nanopartikeln eines Metalls mit mittleren Partikeldurchmessern im Bereich von 20 nm bis 40 nm. Optional kann das Dispersionsmittel ein polymeres Reaktionsharz aufweisen, das unter Wärmeeinwirkung eine Vernetzungsreaktion eingeht. Der Lot-Werkstoff wird zum Verbinden zweier Baueile unter Wärmebehandlung verwendet.

US 6,033,624 beschreibt verschiedene Verfahren zur Herstellung nanopartikulärer Pulver aus Metallen, Metallcarbiden oder Metallegierungen sowie ihre Verfestigung zu einem nanostrukturierten Material in einem Formwerkzeug durch Verdichtung, insbesondere durch Vakuumheißverpressen.

Hinderlich für den Einsatz der modernen generativen Fertigungsverfahren für die Serienfertigung sind die derzeit niedrigen Aufbauraten im Bereich von 5 bis 20 cm<sup>3</sup>/h. Um das Einsatzgebiet der Verfahren über die Prototypen- und Einzelteilerfertigung hinaus auszuweiten, ist eine Erhöhung der Aufbauraten wünschenswert. Darüber hinaus erreichen die mit heutigen Verfahren generativ aufgebauten Werkstücke aus ausgewählten Werkstoffsystemen, wie beispielsweise keramischen Werkstoffen, häufig nicht die für eine Serienfertigung von Endprodukten erforderlichen Bauteileigenschaften.

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zum generativen Aufbau eines kompakten Bauteils vorzuschlagen, das sich durch eine erhöhte Aufbau rate sowie durch verbesserte Materialeigenschaften auszeichnet.

Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren zur Fertigung eines kompakten Bauteils sowie durch ein mit dem Verfahren herstellbares Bauteil mit den Merkmalen der unabhängigen Ansprüche gelöst.

- 5 Das erfindungsgemäße kompakte Bauteil weist eine Hülle und optional eine innerhalb der Hülle befindliche Gitterstruktur jeweils aus einem Hüllmaterial auf. Das Bauteil umfasst erfindungsgemäß ferner eine Kernstruktur aus einem Kernmaterial, welche einen Innenraum der Hülle im Wesentlichen vollständig ausfüllt. Bei dem Kernmaterial der Kernstruktur handelt es sich insbesondere um ein aus einem nanopartikulären Werkstoff erzeugtes
- 10 Material. Das Hüllmaterial und/oder das Kernmaterial können identisch oder unterschiedlich sein. Sie sind vorzugsweise aus der Gruppe bestehend aus metallischen Materialien, keramischen Materialien und/oder Gläsern ausgewählt.

Durch die Füllung des Innenraums des Bauteils mit einem aus einem nanopartikulären

15 Werkstoff gebildeten Kernmaterial wird ein kompaktes Bauteil erhalten, das gegenüber aus herkömmlichen Pulvermaterialien mit Partikeldurchmessern im Bereich von Mikrometern gefertigten Bauteilen hinsichtlich seiner physikalischen und mechanischen Eigenschaften deutlich überlegen ist. Insbesondere werden Bauteile mit herausragender Stabilität und Festigkeit erzeugt. Vor allem durch die Integration metallischer Gitterstrukturen

20 hoher Zugfestigkeiten innerhalb eines harten und/oder spröden Kernmaterials wird die Fertigung von Bauteilen, die die Vorteile beider Werkstoffgruppen in sich vereinen, möglich. Hohe Dichte, geringere Porosität, hohe Festigkeit sowie verbesserte optische und thermische Eigenschaften der aufzubauenden Werkstücke können mit dem vorliegenden Verfahren erreicht werden.

25 Die Differenzierung des Bauteils in eine Hülle (oder Schale) und gegebenenfalls der inneren Gitterstruktur einerseits sowie der Kernmatrix andererseits erlaubt die Fertigung dreidimensionaler Werkstücke hochkomplexer Geometrie aus komplexen Verbundwerkstoffen. Diese Kombination ermöglicht, die Bauteileigenschaften gezielt einzustellen und

30 an unterschiedliche Anforderungen anzupassen. Im Sinne von Multifunktionsbauteilen kann die Hülle und gegebenenfalls die innere Gitterstruktur durch geeignete Auswahl der Werkstoffe und der dreidimensionalen Form auf eine bestimmte Funktionalität des aufzubauenden Werkstücks abgestimmt werden. Dabei können der Werkstoff sowie die Form der Kernstruktur entsprechend von der Hülle abweichen.

35 Das erfindungsgemäße Verfahren zur Fertigung eines solchen kompakten Bauteils umfasst die Stufen:

- (a) Generativer Aufbau zumindest einer, entlang einer Schnittebene des Bauteils verlaufenden Schicht der Hülle und optional zumindest einer Schicht der Gitterstruktur aus einem partikulären Werkstoff des Hüllmaterials oder zumindest eines Edukts desselben mittels eines Strahlschmelzverfahrens; und
- 5 (b) Erschmelzen, Sintern und/oder Verfestigen eines in dem Innenraum der zumindest einen Schicht der Hülle befindlichen nanopartikulären Werkstoffs des Kernmaterials oder zumindest eines Edukts desselben zur Ausbildung der Kernstruktur des Bauteils.
- 10 Der Einsatz des nanopartikulären Werkstoffs führt aufgrund der großen spezifischen Oberfläche von Nanopartikeln zu einer starken Herabsetzung der Aktivierungsenergie. Infolgedessen wird der Energieeintrag für die Aktivierung der Reaktion des Materials reduziert, welcher für das Erschmelzen, Sintern und/oder Verfestigen in Stufe (b) erforderlich ist. Die damit einhergehende kürzere Zeit für das Erschmelzen, Sintern und/oder
- 15 Verfestigen führt darüber hinaus zu einer deutlichen Vergrößerung der Aufbaugeschwindigkeit des Bauteils. Zudem weisen Nanopartikel eine wesentlich höhere Reaktivität als beispielsweise Mikropartikel auf. Wenn somit nicht das zu erzeugende Kernmaterial in seiner endgültigen chemischen Struktur als Werkstoff eingesetzt wird, sondern ein chemisches Vorläuferprodukt (Edukt), so wird die zur Auslösung der chemischen Umwandlung
- 20 erforderliche Energiemenge noch weiter herabgesetzt. Insgesamt ergeben sich durch die Reduzierung des notwendigen Energieeintrags sowie die Beschleunigung der Aufbaugeschwindigkeit (Senkung der gesamten Fertigungszeit) signifikante wirtschaftliche Vorteile in der Fertigung.
- 25 Unter Gitterstruktur wird im Rahmen der vorliegenden Erfindung eine relativ zu einer mittleren Wandstärke der Hüllstruktur filigrane, zwei- oder dreidimensionale, regelmäßige oder unregelmäßige Struktur verstanden, die aus feinen, periodischen, beispielsweise stab-, faden- oder bandförmigen Elementen oder nicht-periodischen Elementen, wie zelluläre und schaumartige Strukturen zusammengesetzt ist. Die Gitterstruktur kann
- 30 beispielsweise eine netz- oder maschenartige Struktur aufweisen. Die Gitterstruktur durchsetzt die Hülle vorzugsweise vollständig, d.h. von einem Ende bis zum anderen Ende der Hülle. Die innerhalb der Gitterstruktur vorhandenen Zwischenräume sind vorzugsweise miteinander verbunden und mit dem Kernmaterial vorzugsweise vollständig gefüllt.
- 35 Es versteht sich, dass der Begriff Werkstoff auch aus mehreren Komponenten bestehende Werkstoffgemische umfassen kann. Unter anderem können auch Vorlegierungen

genutzt werden. Sie besitzen den Vorteil, dass der Schmelzpunkt stark reduziert werden kann. Infolgedessen, kann die Aktivierungsenergie weiter reduziert werden.

5 Nach einer vorteilhaften Ausgestaltung des Verfahrens wird auch der Werkstoff des Hüllmaterials, welches für den generativen Aufbau der Hülle sowie der Gitterstruktur verwendet wird, in nanopartikulärer Form eingesetzt. Hieraus ergeben sich weitere Vorteile hinsichtlich des Energiebedarfs und der Aufbaugeschwindigkeit des Verfahrens sowie der Materialeigenschaften des Bauteils, welche vorstehend bereits angesprochen wurden. Demgegenüber werden herkömmlich für den generativen Aufbau von Bauteilen mittels  
10 Strahlschmelzverfahren Pulverwerkstoffe mit mittleren Partikeldurchmessern im Bereich von 10  $\mu\text{m}$  oder größer verwendet.

Der nanopartikuläre Werkstoff des Hüllmaterials und/oder des Kernmaterials weist mit Vorzug einen mittleren Partikeldurchmesser im Bereich von 1 bis 500 nm auf. Besonders  
15 bevorzugt werden Werkstoffe mit mittlerem Partikeldurchmesser im Bereich von 1 bis 100 nm, vorzugsweise im Bereich von 5 bis 50 nm, eingesetzt, womit gemeint ist, dass wenigstens eine externe Abmessung eines Partikels in diesen Bereichen liegt. Dabei können bezogen auf die Partikelanzahl wenigstens 50 %, insbesondere wenigstens 60 %, vorzugsweise wenigstens 70 % des nanopartikulären Werkstoffs des Hüll- und/oder des  
20 Kernmaterials die genannten mittleren Partikeldurchmesser aufweisen. Die Nanopartikel können eine im Wesentlichen sphärische Form aufweisen aber auch beliebige andere Ausgestaltungen aufweisen, in einem freien ungebundenen Zustand vorliegen oder als Aggregat oder Agglomerat.

25 Der partikuläre Werkstoff des Kernmaterials und/oder der Werkstoff des Hüllmaterials umfasst grundsätzlich Partikel, insbesondere Nanopartikel. Dabei wird der Werkstoff in Form eines Pulvers eingesetzt, das in unterschiedlichen Formen vorliegen kann. Insbesondere kann das Pulver trocken, als Granulat, in Suspension, als Paste oder in anderen Erscheinungsformen aufgebracht werden.

30 Bei dem in Stufe (a) erfolgenden generativen Aufbau der Hülle und gegebenenfalls der Gitterstruktur kommt ein Strahlschmelzverfahren, vorzugsweise das selektive Laserschmelzverfahren (Selective Laser Melting SLM), zum Einsatz. In diesem Fall umfasst die Stufe (a) die Schritte

35 (a1) Aufbringen einer Schicht des partikulären Werkstoffs des Hüllmaterials oder wenigstens eines Edukts desselben und

(a2) Erschmelzen, Sintern und/oder Verfestigen des ersten Werkstoffs zur Ausbildung einer Schicht der Hülle und gegebenenfalls zumindest der Gitterstruktur durch Einstrahlen von Laserlicht entsprechend einer Kontur des Bauteils entlang der Schnittebene des Bauteils.

5

Es versteht sich, dass der Laser computergesteuert ist, wobei auf 3D-Daten des zu fertigenden Bauteils zugegriffen wird, die durch die eingangs beschriebenen Techniken des Slicens und Hatchens, verarbeitet wurden.

10 Das erfindungsgemäße Verfahren kann prinzipiell nach zwei unterschiedlichen Arbeitsabläufen durchgeführt werden, nämlich durch einen sequentiellen Aufbau, wobei zunächst die Hülle und gegebenenfalls die Gitterstruktur und anschließend die Kernstruktur gebildet werden, oder einem synchronen (parallelen) Aufbau der genannten Komponenten.

15 Gemäß der sequentiellen Verfahrensweise wird bis zu einer bestimmten Bauteilhöhe des Bauteils, vorzugsweise der Endhöhe des Bauteils, zunächst die Hülle und gegebenenfalls die Gitterstruktur schichtweise durch Wiederholungen der oben genannten Schritte (a1) und (a2) generativ aufgebaut. Anschließend wird der (von nicht-verfestigtem Werkstoff des Hüllmaterials befreite) Innenraum der Hülle mit dem nanopartikulären Werkstoff des Kernmaterials oder zumindest seines Edukts befüllt und dieser Werkstoff durch Erschmelzen, Sintern und/oder Verfestigen zur Erzeugung der Kernstruktur des Bauteils umgesetzt. Da nanopartikuläre Werkstoffe in Pulverform nur eine sehr geringe Rieseltendenz aufweisen, kann bei dieser Verfahrensweise das Befüllen der Hülle mit den Nanopartikeln durch Beaufschlagung des Bauteils mit Ultraschall oder durch Luftpindüngung unterstützt werden. Diese Vorgehensweise empfiehlt sich insbesondere im Falle einer feinteiligen inneren Gitterstruktur oder bei sehr komplexen Bauteilgeometrien. Bei der sequentiellen Fertigung kann der gleiche Werkstoff für das Kernmaterial und das Hüllmaterial eingesetzt werden oder es können unterschiedliche Werkstoffe für diese Komponenten verwendet werden.

30

Bei der synchronen Verfahrensweise erfolgt die Fertigung der Hülle und gegebenenfalls der Gitterstruktur sowie die Fertigung der Kernstruktur schichtweise parallel, wobei die Schritte (a) und (b) wiederholt werden, bis eine vorbestimmte Bauteilhöhe des Bauteils erreicht ist. Bei der synchronen Fertigungsweise ist bevorzugt vorgesehen, den gleichen Werkstoff für das Hüllmaterial und für das Kernmaterial zu verwenden. Somit wird aus jeder einzelnen aufgetragenen Schicht des Werkstoffs (Schritt (a1)) zunächst die entsprechende Schicht der Hülle und gegebenenfalls der Gitterstruktur verfestigt (Schritt (a2))

35

und anschließend die restliche, in dem Innenraum verbleibende Werkstoffschicht verfestigt (Schritt (b)). Diese Schritte werden wiederholt, bis das Bauteil fertig gestellt ist, wobei die Fertigung vorzugsweise mit Schritt (a) abschließt, wenn eine geschlossene Hülle gefertigt werden soll. Die Fertigung der Kernstruktur aus einem anderen Material als das Hüllmaterial ist zwar grundsätzlich auch bei der synchronen Verfahrensweise nicht ausgeschlossen, wegen des Erfordernisses der Entfernung des Werkstoffs des Hüllmaterials jeweils im Anschluss an die Verfestigung der Hülle und gegebenenfalls der Gitterstruktur jedoch deutlich aufwendiger und deswegen weniger bevorzugt.

5 Grundsätzlich bei allen Verfahrensvarianten kann der eingesetzte Werkstoff aus dem eigentlichen Kern- beziehungsweise Hüllmaterial bestehende Partikel enthalten, das heißt in der endgültigen chemischen Form der jeweiligen herzustellenden Materialien. In diesem Fall erfolgt die Verfestigung in Schritt (b) beziehungsweise Schritt (a2) durch Erschmelzen und/oder Sintern und anschließendes Erstarren, ohne dass eine chemische  
15 Veränderung des Werkstoffs stattfindet.

Nach einer bevorzugten Ausführungsform jedoch umfasst der Werkstoff des Kern- und/oder des Hüllmaterials wenigstens ein Edukt des Kernmaterials beziehungsweise des Hüllmaterials. In diesem Fall wird durch geeigneten Energieeintrag eine exotherme chemische Reaktion des Edukts zu dem Kern- beziehungsweise Hüllmaterial ausgelöst,  
20 wodurch das Erschmelzen, Sintern und/oder Verfestigen in Schritt (b) beziehungsweise in Schritt (a2) erfolgt. Beispielsweise kann das wenigstens eine Edukt zwei oder mehr Metalle umfassen, die im Wege der exothermen Reaktion eine intermetallische Phase miteinander ausbilden. Beispielsweise kann der Werkstoff eine Mischung aus Titan und Aluminium umfassen, welche zu einem Titanaluminid wie  $Ti_3Al$ ,  $TiAl$  oder  $TiAl_3$  reagiert. Weitere Beispiele umfassen eine Nickel/Aluminiummischung, die zu  $Ni_3Al$  reagiert, eine Nickel/Titanmischung, die zu  $NiTi$  reagiert, eine Kupfer/Zinnmischung, die zu  $Cu_3Sn$  oder  $Cu_5Sn$  reagiert, eine Niob/Zinnmischung, welche die intermetallische Phase  $Nb_3Sn$  ausbildet und viele dergleichen mehr. Ebenfalls ist möglich, dass der Werkstoff des Kern- und/oder des Hüllmaterials ein Metall als Edukt umfasst, welches in Gegenwart von Luft-  
30 sauerstoff ein Oxid auszubilden vermag. Beispielsweise kann hier partikuläres Silber eingesetzt werden, welches zu Silberoxid  $Ag_2O$  reagiert. Im Falle der Verwendung von reaktiven Edukten als Werkstoff kommt die nanopartikuläre Struktur besonders vorteilhaft zum Tragen, da Nanopartikel eine wesentlich höhere Reaktivität aufweisen und somit weniger  
35 Energieeintrag zum Auslösen der chemischen Umwandlung erforderlich ist.

Das Erschmelzen, Sintern und/oder Verfestigen in Schritt (b) erfolgt insbesondere im Falle der Verwendung eines Edukts des Endmaterials als Werkstoff durch lokale, initiale Zündung und Auslösung einer exothermen chemischen Reaktion, die sich durch das gesamte Material selbsterhaltend fortsetzt. Durch die Wärmefreisetzung im Wege der exothermen Reaktion kommt es zu einem Aufschmelzen und gegebenenfalls Sintern des nanopartikel-  
 5 lären Materials und seiner Verfestigung. Die Auslösung einer solchen Reaktion durch Zündung ist allgemein bekannt (siehe beispielsweise DE 10 2007 020 389 A1). Grundsätzlich bei sämtlichen einsetzbaren Werkstoffen kann das Erschmelzen, Sintern und Verfestigen auch durch externe Wärme- beziehungsweise Druckzuführung etwa in einem  
 10 Ofen gegebenenfalls in kontrollierter Atmosphäre verursacht werden.

Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind Gegenstand der übrigen Unteransprüche. Die Erfindung soll nachfolgend in Ausführungsbeispielen anhand der zugehörigen Zeichnungen näher erläutert werden. Es zeigen:

15

Figur 1 Beispiel für einen Verfahrensablauf zur Fertigung eines kompakten Bauteils mit sequentieller Fertigung der Hülle und der Kernstruktur nach einer ersten Ausgestaltung der Erfindung

20

Figur 2 Beispiel für einen Verfahrensablauf zur Fertigung eines kompakten Bauteils mit sequentieller Aufbau der Hülle und der Kernstruktur nach einer zweiten Ausgestaltung der Erfindung und

25

Figur 3 Beispiel für einen Verfahrensablauf zur Fertigung eines kompakten Bauteils mit synchronem Aufbau der Hülle und der Kernstruktur nach einer dritten Ausgestaltung der Erfindung.

Figur 1 zeigt in schematischer Darstellung die verschiedenen Verfahrensstufen des Verfahrens nach einer ersten Ausgestaltung der Erfindung, bei der die Hülle und gegebenenfalls die Gitterstruktur sowie die Kernstruktur des Bauteils sequentiell aufgebaut werden. Dabei ist in der linken Spalte jeweils eine Draufsicht auf den Arbeitsbereich dargestellt und in der rechten Spalte eine Schnittansicht gemäß Ebene X-X (siehe Schritt (a1)).  
 30

Zunächst soll der Aufbau des fertigen Bauteils erläutert werden, welches im letzten Verfahrensschritt (b2) auf der rechten Seite dargestellt ist. Bei dem insgesamt mit 10 bezeichneten Bauteil handelt es sich im dargestellten Beispiel um ein im Wesentlichen kugelförmiges Gebilde. Es umfasst eine im Wesentlichen kugelschalenförmige Hülle 12, welche  
 35

das gesamte Volumen mit Ausnahme eines oben dargestellten offenen Abschnitts umhüllt. Innerhalb der Hülle 12 ist eine Gitterstruktur 14 angeordnet, welche im Wesentlichen den gesamten Innenraum der Hülle durchsetzt. Die Hülle 12 sowie die Gitterstruktur 14 bestehen aus dem gleichen Material, welches vorliegend als Hüllmaterial bezeichnet wird.

5 Der Innenraum der Hülle 12 beziehungsweise die Zwischenräume der Gitterstruktur 14 ist im Wesentlichen vollständig mit einer Kernstruktur 16 ausgefüllt, die im vorliegenden Beispiel aus einem unterschiedlichen Material besteht, als die Hülle 12 beziehungsweise die Gitterstruktur 14. Alternativ kann die Kernstruktur 16 jedoch auch aus dem gleichen Material bestehen wie die Hülle 12.

10

Es versteht sich, dass die relativ einfachen Bauteilgeometrien der Bauteile nach Figur 1 und 2 lediglich Beispiele zur Erläuterung des Verfahrensprinzips darstellen. Selbstverständlich können auch wesentlich komplexere Bauteilgeometrien mit den vorgestellten Verfahrensweisen hergestellt werden.

15

Der in Schritt (a1) der Figur 1 gezeigte Verfahrensabschnitt stellt eine Phase dar, in der bereits einige Verfahrenszyklen durchlaufen sind und somit bereits eine gewisse Bauteilhöhe aufgebaut wurde. In Schritt (a1) wird eine Schicht eines partikulären Werkstoffs 18 des Hüllmaterials oder eines (reaktiven) Edukts desselben auf eine vertikal bewegliche Arbeitsplatte 22 aufgebracht. Der Werkstoff 18 kann nanopartikulär sein. Der partikuläre Werkstoff 18 kann dabei als trockenes Pulver, als Granulat, als Suspension, als Paste oder dergleichen eingesetzt werden. Geeignete Materialien sind, Metalle und Metalllegierungen, Metalloxide, Keramiken oder Glasmaterialien oder deren chemische Vorläuferverbindungen (Edukte). Eine typische Schichtdicke einer in Schritt (a1) aufgetragenen Schicht liegt im Bereich von 10 bis 100  $\mu\text{m}$  und beträgt in einem typischen Fall beispielsweise 30  $\mu\text{m}$ . Auf der rechten Seite des Schritts (a1) ist erkennbar, dass die Schicht des Werkstoffs 18 noch unverarbeitet auf dem bereits teilweise gefertigten Bauteil aufliegt. Das Bauteil befindet sich auf einer vertikal verstellbaren Arbeitsplatte 22. Die neu aufgetragene Schicht ist in der Darstellung durch eine horizontale Linie vom übrigen Arbeitsbereich getrennt und übertrieben dick dargestellt.

20  
25  
30

Im nachfolgenden Schritt (a2) wird mittels eines nicht dargestellten computergesteuerten Lasers, insbesondere eines diodengepumpten Festkörper-Faserlasers, die Bauteilkontur entsprechend zuvor ermittelter Laservektoren in dem Werkstoff 18 abgefahren. Dabei kommt es lokal zu einem vollständigen Aufschmelzen und/oder Sintern des Werkstoffs 18 und zu seiner anschließenden Verfestigung, wodurch eine Schicht der Hülle 12 sowie der Gitterstruktur 14 erzeugt wird. Anschließend wird die Arbeitsplatte 22 um die definierte

35

Schichthöhe abgesenkt und die Schritte (a1) und (a2) für die nachfolgende aufzubauende Schicht des Bauteils erneut ausgeführt. Die Schritte (a1) und (a2) werden sooft wiederholt, bis eine vorbestimmte Bauteilhöhe erreicht ist (siehe Schritt (a2')).

5 Sodann wird in einem nachfolgenden Schritt (a3) der nicht verfestigte Werkstoff 18, der sich innerhalb und außerhalb des Bauteils 10 befindet, entfernt. Dieser Vorgang kann durch Ultraschalleinwirkung oder durch den Einsatz von Druckluft erleichtert werden. Zurück bleibt eine im Wesentlichen hohle Hülle 12, die von der Gitterstruktur 14 durch-

10

Nach Abschluss der Verfahrensschritte (a1) bis (a3), mit denen somit der Aufbau der Hülle 12 sowie der Gitterstruktur 14 erfolgt, schließt die Erzeugung der Kernstruktur 16 an. Zu diesem Zweck wird in Schritt (b1) der Innenraum der Hülle 12 mit einem nanopartikulären Werkstoff 20 des Kernmaterials oder zumindest eines Edukts desselben befüllt.

15

Der nanopartikuläre Werkstoff 20 kann dabei als trockenes Pulver, als Granulat, als Suspension, als Paste oder dergleichen eingesetzt werden. Geeignete Materialien sind, Metalle und Metalllegierungen, Metalloxide, Keramiken oder Glasmaterialien oder deren chemische Vorläuferverbindungen (Edukte). Um die vollständige Ausfüllung des Innenraums mit dem Werkstoff 20 zu erleichtern, kann das Bauteil mit Ultraschall beaufschlagt werden oder die Verteilung des Werkstoffs 20 durch Luftpindüsung unterstützt werden.

20

Anschließend erfolgt in Schritt (b2) die Ausbildung der Kernstruktur 16 des Bauteils 10, indem der nanopartikuläre Werkstoff 20 Schrumpfungskompensierend erschmolzen, gesintert und/oder verfestigt wird. Handelt es sich bei dem nanopartikulären Werkstoff 20 bereits um das eigentliche Kernmaterial, so kann durch externe Wärmezufuhr beispielsweise in einem Ofen die für das Erschmelzen oder Sintern erforderliche Temperatur dargestellt werden. Im Falle eines reaktiven Edukts des Kernmaterials kann darüber hinaus auch die Reaktion zum Kernmaterial durch lokale Zündung ausgelöst werden. Die einsetzende exotherme Reaktion setzt sich durch das gesamte Werkstoffmaterial 20 fort, führt zu seiner Erwärmung und somit seiner Aufschmelzung beziehungsweise Sinterung.

25

30

Die Schritte (b1) bis (b2) umfassen somit die Herstellung der Kernstruktur 16. In Abweichung von der dargestellten Vorgehensweise, in welcher die gesamte Kernstruktur 16 durch einmalige Durchführung der Schritte (b1) und (b2) hergestellt wird, kann dies auch abschnittsweise erfolgen, beispielsweise in zwei bis vier Abschnitten. Dies kann sich insbesondere bei sehr komplexen Bauteilstrukturen anbieten.

35

Eine zweite Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens ist in Figur 2 dargestellt, bei dem die Hülle 12, die Gitterstruktur 14 sowie die Kernstruktur 16 des Bauteils 10 aus gleichem Werkstoff bestehen. Dabei handelt es sich in dem dargestellten Verfahren um eine Variante des Verfahrens nach Figur 1. Es wird im Wesentlichen auf die Unterschiede zur ersten Ausführungsform nach Figur 1 eingegangen werden, wobei gleiche Bezugs-  
5 zeichen für übereinstimmende Elemente wie in Figur 1 verwendet werden.

Bei dem Bauteil 10 dieses Beispiels handelt es sich um einen geneigten Zylinder mit ellip-  
tischer Grundfläche (siehe Figur 2(c)).

10

Der dargestellte Verfahrensablauf zeigt in Schritt (a1) wiederum eine Phase, bei der das Bauteil bereits teilweise gefertigt ist. In Schritt (a1) wird eine Schicht eines nanopartikulären Werkstoffs 18 des Hüllmaterials, das hier gleichzeitig der Werkstoff 20 für das Kern-  
material ist, auf das bereits teilweise gefertigte Bauteil aufgebracht. Im anschließenden  
15 Schritt (a2) erfolgt - wie bereits in Figur 1 erläutert - der Aufbau einer Schicht der Hülle 12 sowie der Gitterstruktur 14 im SLM-Verfahren. Die Schritte (a1) und (a2) werden sooft wiederholt, bis in Schritt (a2') schließlich die gewünschte Bauteilhöhe erreicht ist.

20

In Abweichung zu dem vorstehend erläuterten Ausführungsbeispiel nach Figur 1 wird nach Abschluss des generativen Aufbaus von Hüll- 12 und Gitterstruktur 14 der sich im Inneren der aufgebauten Struktur befindliche Werkstoff 20 nicht entfernt. Anstelle dessen verbleibt der Werkstoff 20 des Kernmaterials, welcher wie erwähnt hier identisch mit dem Werkstoff 18 des Hüllmaterials ist, im Inneren der Geometrie und wird nun in einem  
anschließenden Schritt (b) durch Erhitzen, Sintern und/oder ein anderes Verfesti-  
25 gungsverfahren verfestigt. Wie bereits vorstehend beschrieben, kann zu diesem Zweck eine externe Wärmezufuhr erfolgen oder eine lokale Zündung einer exothermen chemischen Reaktion.

30

Eine dritte Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens ist in Figur 3 dargestellt, bei dem die Hülle 12, die Gitterstruktur 14 sowie die Kernstruktur 16 des Bauteils 10 schicht-  
weise und synchron aufgebaut werden. Es wird im Wesentlichen auf die Unterschiede zur  
ersten Ausführungsform nach Figur 1 eingegangen werden, wobei gleiche Bezugszeichen  
für übereinstimmende Elemente wie in Figur 1 verwendet werden.

35

Bei dem Bauteil 10 dieses Beispiels handelt es sich wie in Figur 2 um einen geneigten Zylinder mit elliptischer Grundfläche (siehe Figur 3(c)).

Der dargestellte Verfahrensablauf zeigt in Schritt (a1) wiederum eine Phase, bei der das Bauteil bereits teilweise gefertigt ist. Anders als zuvor beschrieben, ist in dem teilweise gefertigten Bauteil bereits auch die Kernstruktur 16 bis zur aktuellen Arbeitshöhe ausgebildet (s. Schritt (a1), rechte Seite). Dabei wird in Schritt (a1) eine Schicht eines nanopartikulären Werkstoffs 18 des Hüllmaterials, das hier gleichzeitig der Werkstoff 20 für das Kernmaterial ist, auf das bereits teilweise gefertigte Bauteil aufgebracht. Im anschließenden Schritt (a2) erfolgt - wie bereits in Figur 1 erläutert - der Aufbau einer Schicht der Hülle 12 sowie der Gitterstruktur 14 im SLM-Verfahren.

10 In Abweichung zu dem vorstehend erläuterten Ausführungsbeispiel nach Figur 1 oder 2 wird nun in einem anschließenden Schritt (b) die entsprechende Schicht der Kernstruktur 14 durch Erhitzen, Sintern und/oder Verfestigen des Werkstoffs 20 des Kernmaterials, welches wie erwähnt hier identisch mit dem Werkstoff 18 des Hüllmaterials ist, erzeugt. Wie bereits vorstehend beschrieben, kann zu diesem Zweck eine externe Wärmezufuhr erfolgen oder eine lokale Zündung einer exothermen chemischen Reaktion.

Die Schritte (a1) bis (b) werden sooft wiederholt, bis eine vorbestimmte Bauteilhöhe, insbesondere die Endbauteilhöhe des Bauteils 10 erreicht ist.

20 Im dargestellten Beispiel endet das Verfahren mit der Erzeugung der obersten Schicht der Hülle 12, was in Schritt (c) dargestellt ist. Es versteht sich, dass Schritt (c) im Wesentlichen die Verfahrensschritte (a1) und (a2) zur Erzeugung der Hülle 12 umfasst, nämlich das Aufbringen einer weiteren Schicht des Werkstoffs 18, 20 und dessen Verfestigung im SLM-Verfahren.

25 Aus den beispielhaft dargestellten Verfahrensabläufen ist ersichtlich, dass es sich bei dem erfindungsgemäßen Verfahren um ein kombiniertes Strahlschmelzverfahren handelt. Während die Hülle 12 und gegebenenfalls die Gitterstruktur 12 durch Strahlschmelzen gefertigt wird, wird die Kernstruktur 16 mit einer abweichenden Technik dargestellt.

30 Selbst in dem Fall der Verwendung identischer Werkstoffe für die Hülle 12 und gegebenenfalls die Gitterstruktur 12 einerseits und die Kernstruktur 16 andererseits, lässt sich das mit dem erfindungsgemäßen Verfahren hergestellte Bauteil, bei dem zumindest die Kernstruktur aus einem nanopartikulären Werkstoff gefertigt ist, von mit einem herkömmlichen Verfahren hergestellten Bauteilen eindeutig mittels eines geeigneten Analyseverfahrens unterscheiden. Hier sind insbesondere die Schlibbildanalyse zur Phasenbestimmung sowie die Laserinduzierte Plasmaspektroskopie (LIBS) zur Aufbau- und Strukturanalyse

zu nennen. Darüber hinaus lassen sich die eingesetzten Materialien, insbesondere die eingesetzten Legierungselemente mittels EDX-Analyse oder Schliffbildanalyse nachweisen, die Verbundstruktur eines Einkomponentenwerkstoffs mittels Schliffbildanalyse zur Phasenbestimmung, die Verbundstruktur eines Mehrkomponentenwerkstoffs mittels CT-  
5 Prüfverfahren oder Ultraschallprüfung, die elementare Zusammensetzung durch Röntgenfluoreszenzanalyse.

Das erfindungsgemäße Verfahren kann sowohl zur Neufertigung von Bauteilen als auch zur Reparatur oder Überarbeitung von Bauteilen eingesetzt werden. Mögliche Anwen-  
10 dungsgebiete umfassen die Medizintechnik, den Maschinenbau, die Gummi und Kunststoff verarbeitende Industrie, den Fahrzeugbau, die Elektrotechnik, die Metallindustrie, keramische Verbundwerkstoffe, Hochtemperaturverbundwerkstoffe, Feinwerktechnik, Mess-, Steuer- und Regelungstechnik, und viele mehr.

Bezugszeichenliste

	10	Bauteil
5	12	Hülle
	14	Gitterstruktur
	16	Kernstruktur
	18	Werkstoff für das Hüllmaterial
	20	Werkstoff für das Kernmaterial
10	22	Arbeitsplatte

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Fertigung eines kompakten Bauteils (10), welches eine Hülle (12)  
5 und optional eine innerhalb der Hülle (12) befindliche Gitterstruktur (14) aus einem  
Hüllmaterial umfasst sowie ferner eine, einen Innenraum der Hülle (12) füllende  
Kernstruktur (16) aus einem Kernmaterial, wobei das Verfahren die Stufen  
umfasst:
- 10 (a) generativer Aufbau zumindest einer, entlang einer Schnittebene des Bau-  
teils (10) verlaufenden Schicht der Hülle (12) und optional zumindest einer  
Schicht der Gitterstruktur (14) aus einem partikulären Werkstoff (18) des  
Hüllmaterials oder zumindest eines Edukts desselben mittels eines Strahl-  
schmelzverfahrens; und
- 15 (b) Erschmelzen, Sintern und/oder Verfestigen eines in dem Innenraum der  
zumindest einen Schicht der Hülle (12) befindlichen nanopartikulären  
Werkstoffs (20) des Kernmaterials oder zumindest eines Edukts desselben  
zur Ausbildung der Kernstruktur (14) des Bauteils (10).
2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei auch der Werkstoff (18) des Hüllmaterials eine  
20 nanopartikuläre Form aufweist.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei der nanopartikuläre Werkstoff des Hüll-  
materials und/oder des Kernmaterials einen mittleren Partikeldurchmesser im  
Bereich von 1 bis 500 nm, insbesondere im Bereich von 1 bis 100 nm, vorzugs-  
25 weise im Bereich von 5 bis 50 nm aufweist.
4. Verfahren nach Anspruch 3, wobei wenigstens 50 %, insbesondere wenigstens  
60 %, vorzugsweise wenigstens 70 %, des nanopartikulären Werkstoffs des Hüll-  
materials und/oder des Kernmaterials die mittleren Partikeldurchmesser im  
30 Bereich von 1 bis 500 nm, insbesondere im Bereich von 1 bis 100 nm, vorzugs-  
weise im Bereich von 5 bis 50 nm aufweisen.
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei Stufe (a) folgende  
35 Schritte umfasst: (a1) Aufbringen einer Schicht des partikulären Werkstoffs (18)  
des Hüllmaterials oder wenigstens eines Edukts desselben und (a2) Erschmelzen,  
Sintern und/oder Verfestigen des ersten Werkstoffs zur Ausbildung einer Schicht  
der Hülle (12) und optional zumindest der Gitterstruktur (14) durch Einstrahlen von

Laserlicht entsprechend einer Kontur des Bauteils entlang der Schnittebene des Bauteils (10).

- 5 6. Verfahren nach Anspruch 5, wobei bis zu einer vorbestimmten Bauteilhöhe des Bauteils zunächst die Hülle (12) und gegebenenfalls die Gitterstruktur (14) schichtweise durch Wiederholungen der Schritte (a1) und (a2) generativ aufgebaut wird, anschließend (b1) der Innenraum der Hülle (12) mit dem nanopartikulären Werkstoff (20) des Kernmaterials oder zumindest eines Edukts desselben befüllt wird und (b2) durch Erschmelzen, Sintern und/oder Verfestigen die Kernstruktur
- 10 (14) des Bauteils (10) ausgebildet wird.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei die Fertigung der Hülle (12) und gegebenenfalls der Gitterstruktur (14) sowie der Kernstruktur (16) schichtweise synchron erfolgt, wobei die Schritte (a) und (b) wiederholt werden, bis eine vor-
- 15 bestimmte Bauteilhöhe des Bauteils (10) erreicht ist.
8. Verfahren nach Anspruch 7, wobei der Werkstoff des Hüllmaterials und des Kernmaterials identisch sind.
- 20 9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, wobei der Werkstoff des Kernmaterials und/oder des Hüllmaterials wenigstens ein Edukt des Kernmaterials beziehungsweise des Hüllmaterials umfasst und das Erschmelzen, Sintern und/oder Verfestigen in Schritt (b) beziehungsweise in Schritt (a2) durch Auslösen einer exothermen chemischen Reaktion des wenigstens einen Edukts zu dem Kern-
- 25 materials beziehungsweise des Hüllmaterials erfolgt.
10. Verfahren nach Anspruch 9, wobei das wenigstens eine Edukt Metalle umfasst, die im Wege der exothermen Reaktion eine intermetallische Phase miteinander aus-
- 30 bilden oder die ein Metalloxid mit Luftsauerstoff ausbilden.
11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Erschmelzen, Sintern und/oder Verfestigen in Schritt (b) durch Zündung einer chemischen Reaktion des wenigstens einen Edukts des Kernmaterials ausgelöst wird oder durch externe Wärme- und/oder Druckzuführung.
- 35

12. Verfahren nach Anspruch 6, wobei das Befüllen in Schritt (b1) mit dem nanopartikelartigen Werkstoff (20) des Kernmaterials, durch Ultraschall oder Luftindüsung unterstützt wird.
- 5 13. Kompaktes Bauteil (10) herstellbar mit einem Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 12, welches eine Hülle (12) und optional eine innerhalb der Hülle (12) befindliche Gitterstruktur (14) aus einem Hüllmaterial umfasst sowie ferner eine, einen Innenraum der Hülle (12) füllende Kernstruktur (16) aus einem Kernmaterial.
- 10 14. Kompaktes Bauteil (10) nach Anspruch 13, wobei das Hüllmaterial und/oder das Kernmaterial unabhängig voneinander identisch oder unterschiedlich ausgewählt sind aus der Gruppe bestehend aus metallischen Materialien, keramischen Materialien und/oder Gläsern.

15

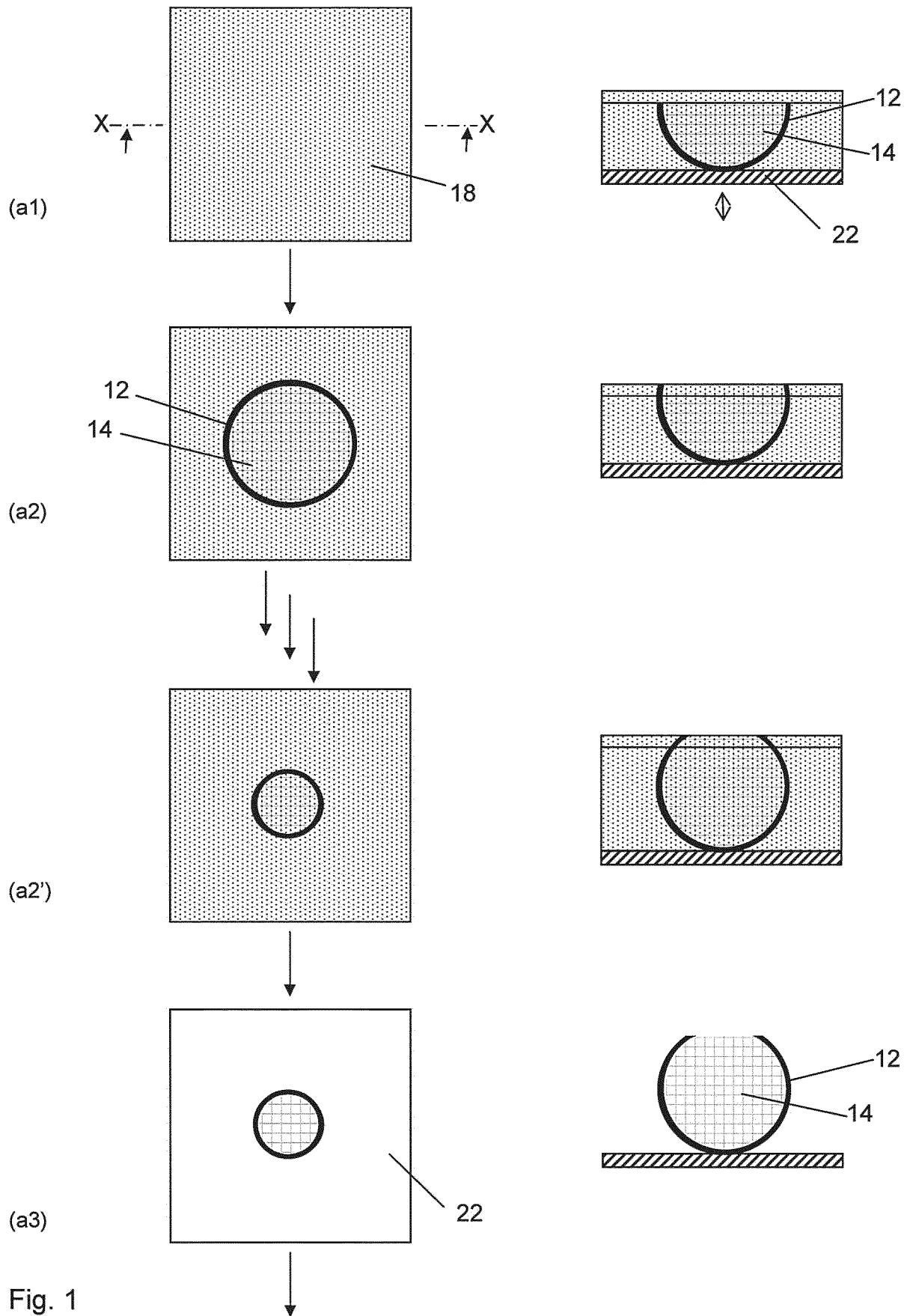


Fig. 1

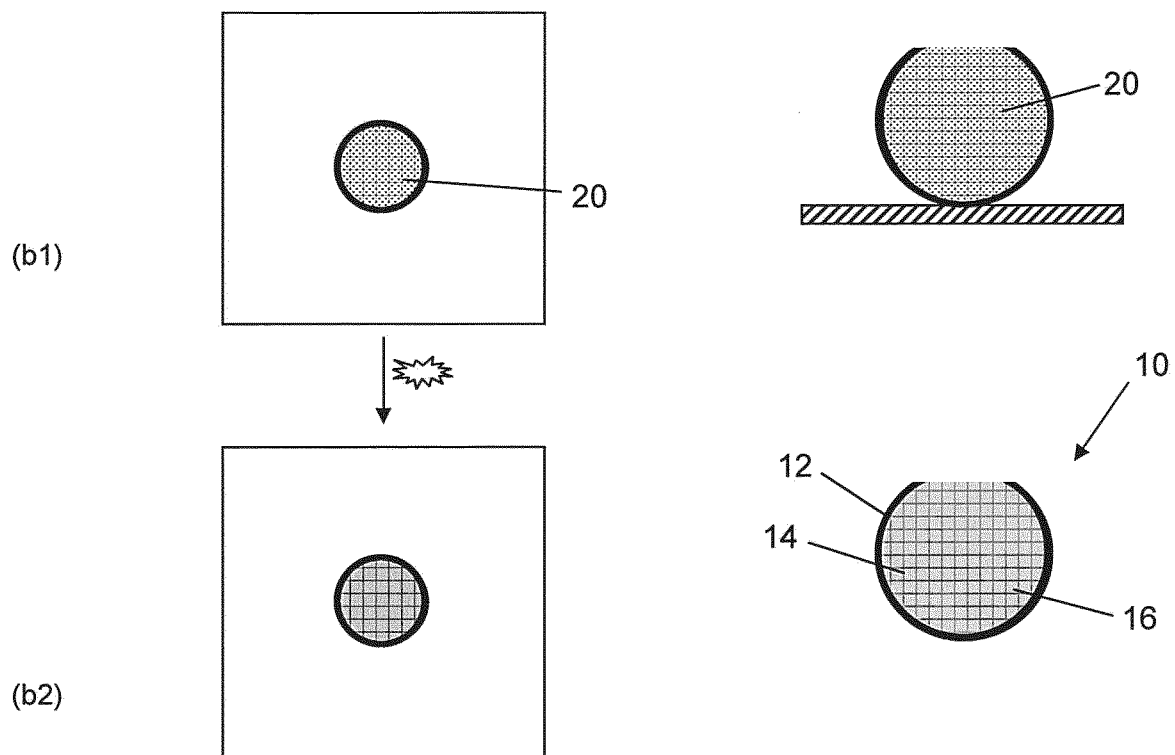


Fig. 1

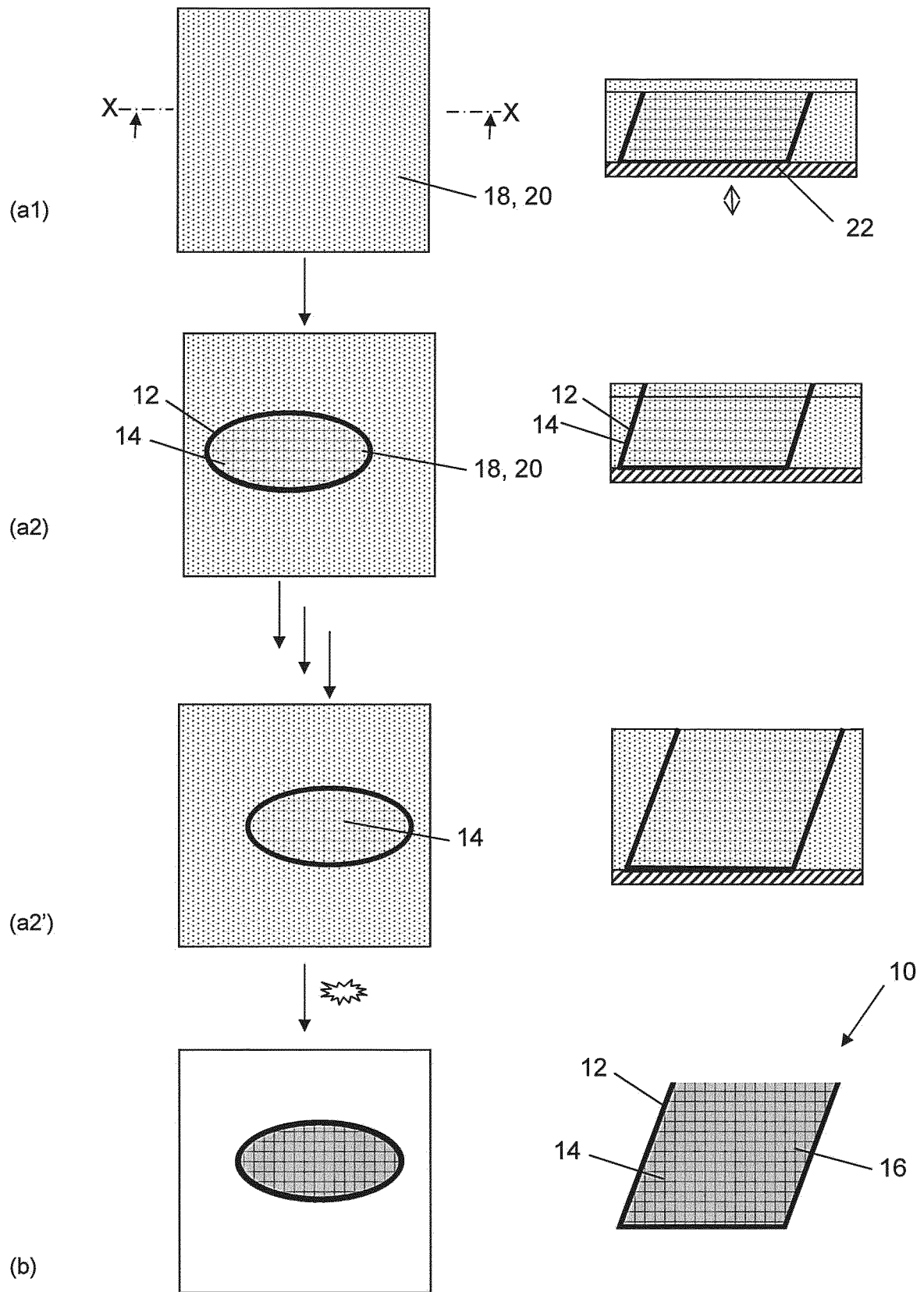


Fig. 2

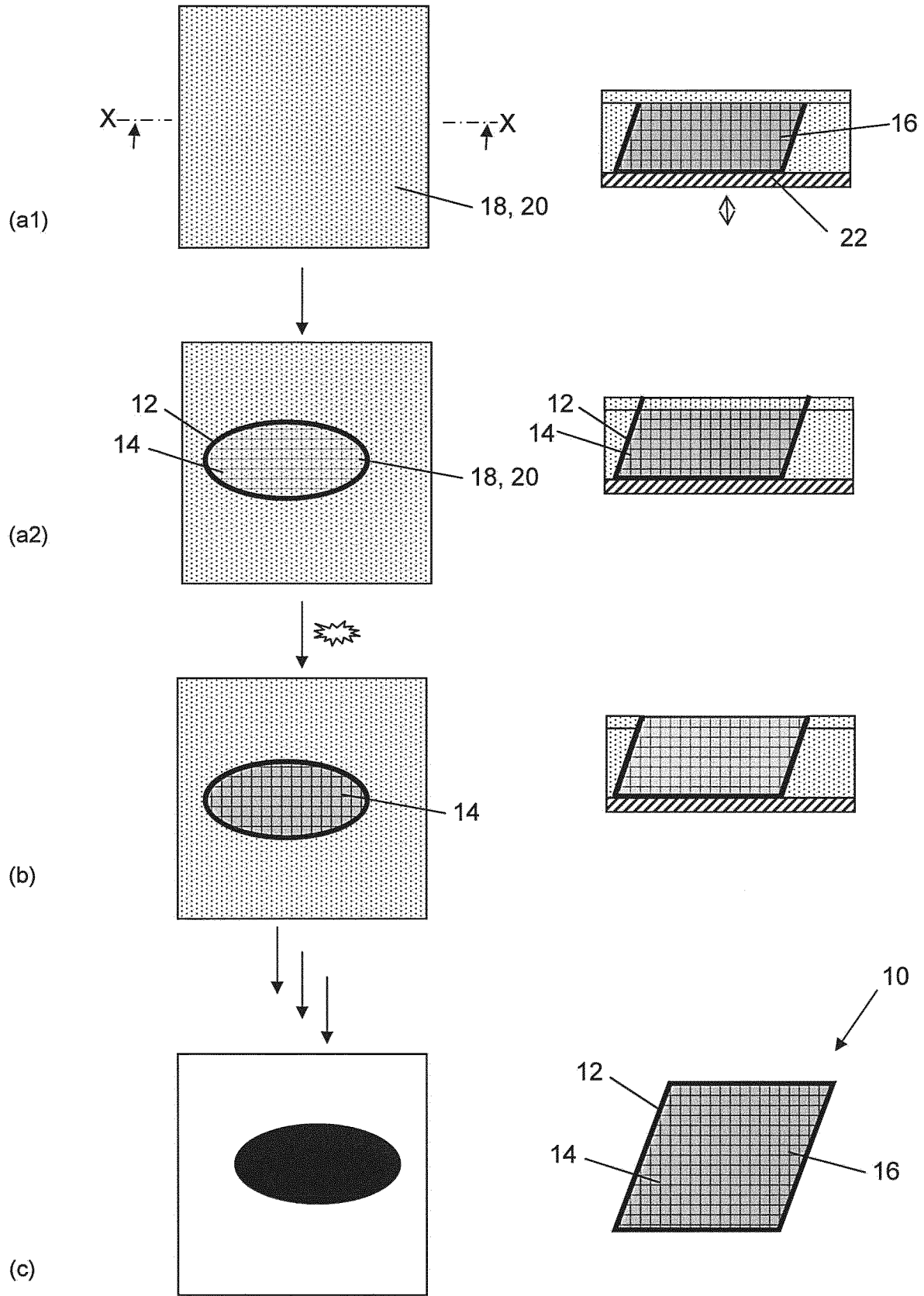


Fig. 3

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No  
PCT/EP2012/073672

<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b> INV. B22F3/105      B22F7/06      B29C67/00 ADD.		
According to International Patent Classification (IPC) onto both national classification and IPC		
<b>B. FIELDS SEARCHED</b> Minimum documentation searched (Classification system followed by classification symbols) B22F B29C		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) EPO-Internal , WPI Data		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
<b>Category*</b>	<b>Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages</b>	<b>Relevant to claim No.</b>
X	US 7 357 887 B2 (MAY GREGORY J [US] ) 15 April 2008 (2008-04-15)	1-7, 12-14
Y	col umn 4 , line 13 - col umn 5 , line 4 col umn 7 , lines 7-30 figures 1-6F	8-11
Y	DE 10 2007 020389 AI (AI RBUS GMBH [DE] ) 6 November 2008 (2008-11-05) cited in the appl icati on abstract paragraphs [0001] , [0011] , [0013] , [0020] , [0021]	8-11
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C.		
<input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents :		
"A" document defining the general State of the art which is not considered to be of particular relevance	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention	
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone	
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art	
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	"&" document member of the same patent family	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed		
Date of the actual completion of the international search  12 April 2013	Date of mailing of the international search report  19/04/2013	
Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Authorized officer  Forestier, Gilles	

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2012/073672

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 7357887	B2	15-04-2008	CN 1946356 A 11-04-2007
			EP 1732474 AI 20-12-2006
			JP 2007536106 A 13-12-2007
			US 2005225004 AI 13-10-2005
			Wo 2005099635 AI 27-10-2005
-----			
DE 102007020389	AI	06-11-2008	NONE
-----			

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2012/073672

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES  
 INV. B22F3/105 B22F7/06 B29C67/00  
 ADD.

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

**B. RECHERCHIERTE GEBIETE**

Recherchiertes Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole )  
 B22F B29C

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)  
 EPO-Internal , WPI Data

**C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN**

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 7 357 887 B2 (MAY GREGORY J [US] ) 15. April 2008 (2008-04-15)	1-7, 12-14
Y	Spalte 4, Zeile 13 - Spalte 5, Zeile 4 Spalte 7, Zeilen 7-30 Abbildungen 1-6F -----	8-11
Y	DE 10 2007 020389 AI (AI RBUS GMBH [DE] ) 6. November 2008 (2008-11-06) in der Anmeldung erwähnt Zusammenfassung Absätze [0001] , [0011] , [0013] , [0020] , [0021] -----	8-11

Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen  Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche  <b>12. April 2013</b>	Absenddatum des internationalen Recherchenberichts  <b>19/04/2013</b>
----------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Bevollmächtigter Bediensteter  <b>Forestier, Gilles</b>
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------

**INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT**

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2012/073672

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 7357887	B2	15-04-2008	CN 1946356 A
			EP 1732474 AI
			JP 2007536106 A
			US 2005225004 AI
			Wo 2005099635 AI
			11-04-2007
			20-12-2006
			13-12-2007
			13-10-2005
			27-10-2005
-----			
DE 102007020389	AI	06-11-2008	KEINE
-----			