



(10) **DE 10 2015 201 775 A1** 2016.08.04

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2015 201 775.3**

(22) Anmeldetag: **02.02.2015**

(43) Offenlegungstag: **04.08.2016**

(51) Int Cl.: **B22F 3/10** (2006.01)

B22F 7/02 (2006.01)

B29C 67/00 (2006.01)

C04B 35/622 (2006.01)

(71) Anmelder:

**GKN Sinter Metals Engineering GmbH, 42477
Radevormwald, DE**

(74) Vertreter:

**KNH Patentanwälte Kahlhöfer Neumann Rößler
Heine PartG mbB, 40476 Düsseldorf, DE**

(72) Erfinder:

**Schmitt, Rainer, 53343 Wachtberg, DE; Höges,
Simon, Dr., 51491 Overath, DE; Aydin, Ümit, 53343
Wachtberg, DE; Kallee, Richard, 51429 Bergisch
Gladbach, DE; Mölgg, Peter, Bruneck, IT**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	100 65 960	C5
DE	10 2011 089 194	A1
DE	20 2004 007 214	U1
DE	20 2010 018 017	U1

Rechercheantrag gemäß § 43 Abs. 1 Satz 1 PatG ist gestellt.

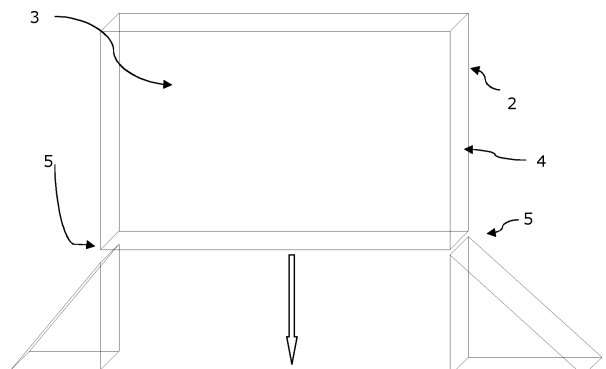
Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Vorrichtung zur additiven Herstellung von Bauteilen**

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung eines Körpers mittels eines additiven Herstellungsverfahrens (AM) unter Nutzung von metallischem Pulver mit den folgenden Schritten:

- computersimulierte Auslegung des Körpers unter Berücksichtigung von zumindest einem zu bearbeitenden Bereich des Körpers und Übergabe von Daten an eine additive Herstellungsvorrichtung, insbesondere eine additive Pulverbett-Herstellungsvorrichtung,
- sukzessives Bereitstellen des metallischen Pulvers zum Aufbau von aufeinander angeordneten Pulverschichten,
- sukzessives Verhärten von Teilen der Pulverschichten zu zumindest einer vorgegebenen Struktur in den aufeinander angeordneten Pulverschichten, wobei die Struktur zumindest zum Teil mit metallischem Pulver der Pulverschichten gefüllt ist, und
- Kalibrieren eines Körpers, der mittels der Struktur geschaffen wird, in dem zu bearbeitenden Bereich.

Des Weiteren wird eine entsprechende Vorrichtung, ein derartig hergestellter Körper und ein Computerprogrammprodukt zur Durchführung des Verfahrens vorgeschlagen.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur additiven Herstellung eines Körpers sowie einen derart hergestellten Körper selbst. Als additives Verfahren wird vorzugsweise ein Pulverbett-Verfahren genutzt.

[0002] Additive Manufacturing, auch bekannt als generative Fertigung, Rapid Prototyping, Rapid Manufacturing oder 3D-Druck ist seit den späten 90er Jahren verstärkter Fokus von Entwicklung und industrieller Umsetzung. Zunächst eingesetzt zur Herstellung von Funktionsmustern und Prototypen sowie Werkzeugen sind seit den 2000er Jahren auch Anwendungen in der Serienfertigung umgesetzt worden. Beispiele sind insbesondere in der Medizintechnik mit der Fertigung von dentalen Zahnersatzgeräten, individuellen Knochenersatzimplantaten sowie komplexen Instrumenten zu sehen. Eine frühe Umsetzung für die Serienfertigung wurde auch im Bereich Werkzeugbau insbesondere durch die Herstellung von Spritzgussformen mit integrierten Kühlkanälen erreicht. Kurz vor der Serienreife sind verschiedene Applikationen in der Luftfahrt wie zum Beispiel gewichtsreduzierte Brackets oder Turbinenbestandteile. Alle bisherigen Anwendungen in der Serienfertigung liegen jedoch in hochpreisigen Marktsegmenten, bei denen entweder hohe Materialkosten oder aufwändige Prozessketten zur Herstellung der Bauteile vorliegen.

[0003] Bei der Pulverbett-basierten additiven Fertigung wird ein pulverförmiges Material schichtweise aufgetragen und Schicht für Schicht an den Stellen verfestigt, die durch einen CAD-Datensatz des zu fertigenden Bauteils definiert sind. Nach jeder Verfestigung wird die Plattform, auf der das Bauteil aufgebaut wird, um eine Schichtdicke abgesenkt und eine weitere Pulverschicht aufgetragen.

[0004] Durch dieses Verfahrensprinzip ist ein Vorteil des Additive Manufacturing direkt ersichtlich: er liegt in der Geometriefreiheit. So können ohne weiteres Bauteile mit Hinterschnitten, internen Strukturen, Freiformflächen oder Hohlstrukturen gefertigt werden, die konventionell gar nicht oder nur mit erheblichem Aufwand realisierbar wären. Des Weiteren entspricht auf Grund der additiven Fertigung aus Pulvermaterial der tatsächliche Materialbedarf dem Gewicht des finalen Bauteils, nicht geschmolzenes Pulver wird dem Prozess wieder zugeführt. Zusammen mit einem geringen Energiebedarf ist das Verfahren im Vergleich zum Gießen oder Fräsen sehr ressourcenschonend.

[0005] Dieses Verfahren ist bisher nicht mit einer erfolgreichen Umsetzung zur Serienfertigung in preissensitiven Massenmärkten wie z.B. Automotive dokumentiert. Weiterhin wird dort Additive Manufactu-

ring ausschließlich zur Prototypen- und Vorserienfertigung eingesetzt. Die Ursache dafür sind hohe Bauteilkosten, die insbesondere in höheren Stückzahlen (> 1.000 Stück/Jahr) nicht wettbewerbsfähig mit konventionellen Verfahren sind. Die Vorteile durch Gewichtseinsparung und funktionellen Mehrwert wiegen dieses Defizit nicht auf. Die Ursache für die hohen Bauteilkosten liegen primär in

- langen Fertigungszeiten und damit hohen Kosten für die Abschreibung der Maschine,
- hohem Aufwand der Oberflächennachbearbeitung bei Funktionsflächen,
- hohen Materialkosten durch aufwändige Herstellung des Rohmaterials (Pulver).

[0006] Um eine Umsetzung des Fertigungsverfahrens in den genannten Märkten zu erreichen, müssen diese Defizite reduziert werden. Die vorliegende Erfindung zeigt Lösungsansätze zur Reduzierung der langen Fertigungszeiten und des hohen Aufwands der Oberflächennacharbeit auf.

[0007] Ausgangspunkt der Überlegung ist, bei der Auslegung ein Hülle-Kern-Prinzip zu nutzen, wie es beispielsweise aus der DE 10 2007 0390 035 B3 schon prinzipiell entnommen werden kann. Es wird ein zu fertigender 3D-Datensatz in einen Hüllbereich und einen Kernbereich unterteilt.

[0008] Dabei wird die äußere Hülle mit einer bestimmten Wandstärke differenziert vom Volumenbereich des Bauteils dargestellt. Mit dieser Aufspaltung des Datensatzes können den beiden Bereichen unterschiedliche Verfahrensparameter zugewiesen und damit am Bauteil unterschiedliche Eigenschaften erreicht werden. In DE000004309524C2 wird beschrieben, dass im Volumenbereich höhere Laserleistung und größere Schichtstärken realisiert werden, um die Baumgeschwindigkeit zu erhöhen, im Hüllbereich hingegen Parameter zur Erzeugung einer geringen Oberflächenrauheit gewählt werden. Die Erhöhung der Aufbaurate ist mit diesem Ansatz jedoch nur eingeschränkt möglich, da weiterhin das Pulver mit dem Laser verfestigt wird. In DE000019903436C2 und DE102007039035B3 wird der Volumenbereich nicht verfestigt, das Pulver nach dem AM-Prozess aus dem Hohlraum entfernt und der Hohlraum mit einem Metall ausgegossen. In diesem Fall müssen jeweils Öffnungen vorgesehen werden, um das Pulver zu entfernen und das Metall einzugießen. In DE102011089194A1 wird beschrieben, dass der vollständige AM-Prozess mit nanoskaligem Pulver durchgeführt wird, das Pulver im Volumenbereich jedoch nicht verfestigt wird sondern im Hohlraum verbleibt. Anschließend kann dies durch Ofensintern verfestigt werden. Die Nacharbeit der Oberflächen an einem Bauteil, dass mit AM gefertigt wurde, wird in der Literatur vornehmlich durch mechanische, spanende Nacharbeit beschrieben. Dabei sind insbesondere die Patente WO2013167903A1 und WO2013167904A1 re-

levant. Fokus der Literatur liegt insbesondere auf der Wahl der Referenzierung des im AM-Verfahren hergestellten Halbzeugs im nachgeschalteten zerspanenden Prozess. Zerspanende Nacharbeit bietet in wirtschaftlicher Betrachtung jedoch nur geringes Potential, die Herstellkosten zu senken. Hier besteht Bedarf an kostengünstigen und hochautomatisierten Nacharbeitsverfahren.

[0009] Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, eine Produktivität eines additiven Herstellungsverfahrens zu steigern.

[0010] Diese Aufgabe wird mit einem Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1, mit einer Herstellungsanlage mit den Merkmalen des Anspruchs 11, einem Grünkörper mit den Merkmalen des Anspruchs 15, einem Körper mit den Merkmalen des Anspruchs 16 oder 17 und mit einem Computerprogrammprodukt mit den Merkmalen des Anspruchs 20 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen gehen aus den nachfolgenden Unteransprüchen wie auch aus der nachfolgenden Beschreibung und den Figuren hervor. Die unabhängigen Ansprüche stellen einen ersten vorläufigen Versuch dar, den Erfindungsgegenstand zu formulieren. Die jeweiligen Merkmale der unabhängigen Ansprüche können jedoch ergänzt, gestrichen oder auch durch ein oder mehrere andere Merkmale der Offenbarung ersetzt werden.

[0011] Es wird ein Verfahren zur Herstellung eines Körpers mittels eines additiven Herstellungsverfahrens (AM) unter Nutzung von metallischem Pulver mit den folgenden Schritten vorgeschlagen:

- computersimulierte Auslegung des Körpers unter Berücksichtigung von zumindest einem zu bearbeitenden Bereich des Körpers und Übergabe von Daten an eine additive Herstellungsvorrichtung,
- sukzessives Bereitstellen des metallischen Pulvers zum Aufbau von aufeinander angeordneten Pulverschichten,
- sukzessives Verhärten von Teilen der Pulverschichten zu zumindest einer vorgegebenen Struktur in den aufeinander angeordneten Pulverschichten, wobei die Struktur zumindest zum Teil mit metallischem Pulver der Pulverschichten gefüllt ist, und
- Kalibrieren eines Körpers, der mittels der Struktur geschaffen wird, in dem zu bearbeitenden Bereich.

[0012] Die computersimulierte Auslegung des Körpers erlaubt, der additiven Herstellungsweise mit Aufbringung von Pulverschichten übereinander dadurch gerecht zu werden, dass Strukturen geschaffen werden können, die andere Herstellungsverfahren so nicht ermöglichen. Auch kann an die zu schaffende Struktur angepasst das zu verwendende Material ent-

sprechend angeordnet werden. So besteht die Möglichkeit in einer ersten Ausgestaltung, nur ein einziges Material zu nutzen, aus dem die Struktur und der aus der Struktur gewonnene Körper geschaffen werden. Eine zweite Ausgestaltung sieht hingegen vor, dass innerhalb der Struktur auch unterschiedliche Materialien zur Anwendung gebracht werden können.

[0013] Die Oberflächen von mittels AM generierten Bauteilen weisen in Abhängigkeit der Verfahrensparameter und des verwendeten Werkstoffs eine Oberflächenrauheit zwischen $R_a = 5\text{--}10\text{ }\mu\text{m}$ auf. Dies erfordert beim Einsatz der Bauteile in einer Baugruppe meist eine mechanische Nacharbeit zumindest eines Teils der Oberflächen um notwendige Bauteiltoleranzen einhalten zu können. Um das in der Pulvermetallurgie eingesetzte Verfahren "Kalibrieren" zu verwenden, muss der AM-Prozess dahingehend angepasst werden, das ähnlich dem oben beschriebenen Hülle/Kern-Verfahren durch den AM-Prozess vom Kern unterschiedliche mechanische Eigenschaften in dem Randbereich eingebracht werden, der anschließend beim Kalibrieren nachgearbeitet wird. Diese Änderung der mechanischen Eigenschaften kann durch eine geringere Dichte, unterschiedliche Mikrostruktur (z.B. Korngröße) oder konstruktiv (im Bauteildesign) eingebracht (bionische) Struktur erreicht werden.

[0014] Es hat sich des Weiteren bei der Fertigung als positiv herausgestellt, dass die Struktur in einem inneren Bereich eine zumindest annähernd vollständige Verdichtung erfährt, hingegen ein Außenbereich der Struktur weiterhin eine gewisse Porosität behält. Dass erlaubt beispielsweise die Bearbeitungszeiten des additiven Herstellungsverfahrens zu beschleunigen. So kann zum Beispiel eine Wand der Struktur in ihrem äußeren Bereich eine Dichte zwischen 90% und 98% der vollständigen Dichte aufweisen, während ein innerer Bereich der Wand eine vollständige Dichte hat. So kann dann im Anschluß durch das sehr viel schneller ablaufende Kalibrieren derjenige Bereich der Struktur bzw. des so gewonnenen Körpers behandelt werden, der eine derartige Anpassung benötigt. Andere äußere Bereiche des Körpers bleiben sodann jedoch weiter unbehandelt und können zum Beispiel aufgrund ihrer Porosität funktional genutzt werden.

[0015] Eine Weiterbildung des Verfahrens sieht vor, dass das Pulver während des additiven Herstellungsverfahrens mehrmals verdichtet wird. Eine derartige Verdichtung hat Vorteile, da dadurch eine höhere Dichte schneller erreicht werden kann, wenn denn die Laserbeaufschlagung erfolgt. Die Verdichtung kann hierbei zu unterschiedlichen Zeiten und/oder durch unterschiedliche Mittel erfolgen. Das verdichten kann zum Beispiel auch durch gleichzeitige Anwendung von verschiedenen physikalischen Mittel erfolgen: zum Beispiel durch Druckaufbringung und/oder durch Aufbringung von Vibrationen und/oder

durch mechanisches Rechen oder Harken des Pulvers.

[0016] Beispielsweise besteht die Möglichkeit, dass das Pulver einzelner Pulverschichten mechanisch verdichtet wird.

[0017] Bei AM-Prozessen wird eine dünne Pulverschicht (30–200 µm) durch verschieden ausgeprägte Mechanismen beginnend auf einer Substratplatte aufgetragen. Diese Pulverschicht wird in der Regel durch die Schwerkraft mit der Schüttdichte des Pulvers erzeugt und durch eine Schiebevorrichtung geebnet. Zur Verbesserung des AM-Prozessergebnisses in Hinsicht auf eine erreichbare hohe Dichte ist eine Verdichtung des Pulvers vorteilhaft. Insbesondere für den oben beschriebenen Prozess ist die Dichte des gesinterten Pulvers abhängig von der im AM-Prozess erzeugten Dichte einer Pulverschicht. Mit einer Kompaktierung der Pulverschicht während des Pulverauftrags kann direkt eine höhere Dichte nach dem Versintern und damit eine höhere Festigkeit des generierten und gesinterten Bauteils erreicht werden.

[0018] Bevorzugt ist es, wenn das Pulver zur Verdichtung gerüttelt wird.

[0019] In US2012164322A1 wird das Kompaktieren mit einer rotierenden Walze beschrieben. Mit diesem Ansatz ist eine Erhöhung der Schüttdichte des Pulvers möglich. Auch durch ein anguliertes Blech wie in DE10201008781A1 beschrieben, lässt keine signifikante Erhöhung der Dichte des Pulverbetts zu. Für den AM-Prozess könnte sich eine stärkere Verdichtung unter Aufbringung einer Presskraft auf die Pulverschicht positiv auswirken. Darüber hinaus kann dadurch die Dichte der durch Ofensintern (s. Sintern) erzeugten Struktur signifikant erhöht werden ohne eine Materialschrumpfung und damit eine Verformung der Hülle herbeizuführen.

[0020] Gemäß einem weiteren Gedanken der Erfindung, der selbständig wie auch mit einem oder mehreren der weiteren obigen wie auch nachfolgenden Ausführungen verbunden sein kann, sieht ein Verfahren zum Herstellen eines Körpers mittels eines additiven Herstellungsverfahrens (AM) unter Nutzung von metallischem Pulver mit den folgenden Schritten vor:

- vorzugsweise computersimulierte Auslegung des Körpers unter Berücksichtigung von zumindest einem zu bearbeitenden Bereich des Körpers und Übergabe von Daten an eine additive Herstellungsvorrichtung, insbesondere eine additive Pulverbett-Herstellungsvorrichtung,
- sukzessives Bereitstellen des metallischen Pulvers zum Aufbau von aufeinander angeordneten Pulverschichten,
- Anregung des metallischen Pulvers mittels Vibrationen, vorzugsweise Ultraschall, vorzugswei-

se von ein oder mehreren Pulverschichten mittels dieser Vibrationen, insbesondere Ultraschall,

- sukzessives Verhärten von Teilen der Pulverschichten zu zumindest einer vorgegebenen Struktur in den aufeinander angeordneten Pulverschichten, wobei vorzugsweise die Struktur zumindest zum Teil mit metallischem Pulver der Pulverschichten gefüllt ist. Sie kann aber auch nicht-gefüllt sein.

[0021] Das Verfahren kann, muss aber nicht eine Berücksichtigung eines zu bearbeitenden Bereichs vorsehen. Durch die Beaufschlagung mittels Ultraschall kann zum Einen eine Verdichtung und insbesondere eine verbesserte Oberflächenbeschaffenheit der Pulverschicht erzielt werden. Zum Anderen kann aber auch ein Fließverhalten des Pulvers beeinflusst werden, insbesondere entlang einer Leitung, durch die das Pulver geführt wird.

[0022] Es hat sich herausgestellt, dass durch die Nutzung von Vibrationen, insbesondere durch die Nutzung von Vibrationen im Ultraschallbereich, eine Verwendung von Pulvern ermöglicht wird, die bisher nicht beim additiven Pulverbett-Verfahren eingesetzt werden konnten. Bisher war es notwendig, dass an die zu verwendenden Pulver eine hohe Anforderung hinsichtlich einer Rundheit von deren verwendeten Pulverpartikeln erfüllt sein musste. Unter dem Einfluss der Vibration, insbesondere des Ultraschalls, gelingt es jedoch, nunmehr auch Pulverpartikel zu verarbeiten, die nicht-runde Geometrien aufweisen. Insbesondere können nunmehr auch spratzige Pulver verwendet werden, wie sie üblicherweise in der Pulvermetallurgie zum Einsatz kommen.

[0023] Beispielsweise ist vorgesehen, dass eine Basisplatte einer Herstellungsanlage des additiven Herstellungsverfahrens, eine Pulverbettschicht und/oder ein Teil einer Vorrichtung zur Zuführung von Pulver zum Pulverauftrag der Herstellungsanlage mittels Vibrationen, vorzugsweise im Ultraschallbereich angelegt wird.

[0024] Eine weitere Ausgestaltung der Verfahren sieht vor, dass das Verhärten von Teilen der Pulverschichten zu einer geschlossenen Struktur führt, in der das Pulver enthalten bleibt.

[0025] Des Weiteren kann vorgesehen sein, dass der Körper mittels der vorgeschlagenen Verfahren eine Wandstruktur erhält, die in einem inneren Bereich der Wandstruktur eine geringere Porosität aufweist als ein Außenbereich der Wandstruktur, wobei vorzugsweise der innere Bereich eine zumindest annähernd 100%ige Dichte erhält und der Außenbereich der Wandstruktur porös bleibt.

[0026] Es wird im Rahmen der vorgeschlagenen Verfahren ermöglicht, dass in einem Bereich der

Wandstruktur ein Pulverparameter und/oder eine Materialeigenschaft bei ansonsten gleichem Pulver anders als in einem Inneren der Wandstruktur eingestellt wird.

[0027] Eine weitere Ausgestaltung sieht vor, dass ein zusätzlicher Fertigungsschritt genutzt wird: das Sintern. Beispielsweise kann vorgesehen sein, dass ein Sintern der zumindest einen Struktur und des Pulvers aus den Pulverschichten, welches in der Struktur beim Sintern beibehalten wird, zum Körper in einem Sinterofen erfolgt, wobei das in der Struktur verbliebene Pulver benachbart zum zu bearbeitenden Bereich des Körpers beim Sintern auf eine Temperatur erhitzt wird, bei der sich Sinterhalse an Pulverkörnern des Pulvers ausbilden, die den zu bearbeitenden Bereich des Körpers abstützen.

[0028] Hierbei kann eine Vorgehensweise beispielsweise wie folgt aussehen, wobei die einzelnen Vorgehensweisen hinsichtlich der computersimulierten Auslegung so auch bei Verfahren gemäß der Erfindung einsetzbar sind, die keinen weiteren Sinterschritt vorsehen:

Der zu fertigende Datensatz wird vor der Vorbereitung für den Fertigungsprozess in eine Hülle und einen Kern aufgeteilt. Die Hülle wird mit Fertigungsparametern versehen, dass dort durch den Fertigungsprozess das Pulver verfestigt wird. Der Kern wird entweder vollständig ohne eine Verfestigung um AM-Prozess belassen oder mit einer stabilisierenden Gitterstruktur versehen. Die (bionische) Gitterstruktur dient der Stabilisierung des gesamten Bauteils sowie einer Prozessstabilisierung durch das Abstützen von Überhängen. Während des Prozesses werden nur die vollständig umschließende Hülle sowie eventuell vorhandene stabilisierende Strukturen verfestigt. In den so erzeugten Hohlräumen verbleibt das Ausgangsmaterial (Pulver) in der Dichte, wie es während der Schichterzeugung aufgetragen wurde und wird von der Hülle vollständig oder mit einem Gasauslassloch versehen umschlossen. Anschließend an den Fertigungsprozess mit AM wird das gefertigte Bauteil bestehend aus verfestigter Hülle und darin enthaltene Pulver der Maschine entnommen. Das Bauteil wird mit geeigneten Sinterparametern anschließend im Ofen gesintert. Dabei bilden sich zwischen den einzelnen Pulverpartikeln, die nicht verfestigt wurde, Sinterhalse aus, die zu einer Verfestigung des Bauteils führen. Bei AM-Prozessen wird eine dünne Pulverschicht (30–200 µm) durch verschieden ausgeprägte Mechanismen beginnend auf einer Substratplatte aufgetragen. Diese Pulverschicht wird in der Regel durch die Schwerkraft mit der Schüttdichte des Pulvers erzeugt und durch eine Schiebevorrichtung geebnet. Zur Verbesserung des AM-Prozessergebnisses in Hinsicht auf eine erreichbare hohe Dichte ist eine Verdichtung des Pulvers vorteilhaft. Insbesondere für den oben beschriebenen Prozess ist die Dichte des gesinterten Pulvers abhängig von der

im AM-Prozess erzeugten Dichte einer Pulverschicht. Mit einer Kompaktierung der Pulverschicht während des Pulverauftrags kann direkt eine höhere Dichte nach dem Versintern und damit eine höhere Festigkeit des generierten und gesinterten Bauteils erreicht werden.

[0029] Gemäß einem weiteren Gedanken der Erfindung, der unabhängig wie auch abhängig von dem obigen Gedanken weiterverfolgt werden kann, wird eine Herstellungsanlage zur Durchführung eines Verfahrens wie oben beschrieben vorgeschlagen, aufweisend zumindest eine additive Pulverbett-Herstellungsvorrichtung mit einer Kalibrierungsvorrichtung und/oder einer Ultraschallvorrichtung. Es können hierbei auch mehrere Vibrationsvorrichtungen, beispielsweise in Form von Ultraschallvorrichtungen und/oder Vibrationseinrichtungen in andern Hertz-Bereichen zum Einsatz kommen, ebenso wie mehrere Kalibriervorrichtungen anstatt nur einer. Bei einer Vibrationseinrichtung, bevorzugt einer Ultraschallvibrationseinrichtung, wird zum Beispiel über einen Generator eine Netzspannung ins Hochfrequente übertragen. Mittels eines Konverters kann diese Hochfrequenz sodann zum Beispiel mittels eines piezoelektrischen oder magnetorestriktiven Anregers in Ultraschallschwingungen umgesetzt werden. Diese wiederum können genutzt werden, eine Leitung, eine Zuführung, die Basisplatte, die Pulverschichten oder einen sonstigen Bereich der Anlage anzuregen. Dadurch können Schwingungen sich auf das Pulver übertragen lassen, wodurch ein Reibungswiderstand in der Leitung wie auch eine Verstopfungsneigung verringert werden. Auch kann mittels dieser Anregung der Pulverdurchsatz erhöht bzw. die Nutzung auch von nichtkugelligen Pulvern ermöglicht werden.

[0030] Weiterhin kann die Herstellungsanlage zusätzlich einen Sinterofen aufweist. Dadurch kann das Material zusätzlich eine Festigkeit und Dichte gewinnen, sollte das zum Beispiel für einen späteren Einsatz des Körpers notwendig sein.

[0031] Bevorzugt wird im Falle des Sinterns eine Herstellungsanlage genutzt, bei der der Sinterofen ein Durchlaufofen ist, der Bestandteil einer Fertigungsstraße ist, durch den parallel zu dem mittels additivem Herstellungsverfahren gefertigte Körper anders gefertigte und zu sinternde Körper durchlaufen. Auf diese Weise kann zum Beispiel das vorgeschlagene Verfahren in eine schon bestehende Infrastruktur an schon bestehenden Fertigungsstationen integriert werden und zusätzliche Investitionen bleiben überschaubarer.

[0032] Weiterhin kann vorgesehen sein, dass eine Vibrationsvorrichtung, vorzugsweise eine Ultraschallvorrichtung an einer Basisplatte einer Herstellungsanlage des additiven Herstellungsverfahrens, insbesondere des Pulverbettverfahrens, und/oder an ei-

nem Teil einer Vorrichtung der Herstellungsanlage zur Zuführung von Pulver zum Pulverauftrag angeordnet ist. Mittels der Vibrationseinrichtung wird das Pulver zu kleinen Bewegungen untereinander angeregt, so dass es besser fließen bzw. sich verdichten kann.

[0033] Gemäß einem weiteren Gedanken der Erfindung, der unabhängig wie auch in Abhängigkeit von den anderen Gedanken vorgesehen werden kann, wird ein Grünkörper zur Herstellung eines Produkts vorgeschlagen, insbesondere eines metallischen Produkts und/oder Sinterkörpers, wobei der Grünkörper mittels eines additiven Herstellungsverfahrens nach einem der vorgeschlagenen Schritte hergestellt wird, wobei der Grünkörper eine Wandstruktur aufweist, die einen inneren Bereich aufweist, der eine geringere Porosität aufweist, vorzugsweise dicht ist, während ein äußerer Bereich der Wandstruktur porös ist. Vorzugsweise erhält der Grünling während des additiven Herstellens eine derart ausreichende Festigkeit, dass ein Sinterschritt nicht benötigt wird.

[0034] Wiederum ein weiterer Gedanke der Erfindung, der unabhängig wie auch in Abhängigkeit von den anderen Gedanken vorgesehen werden kann, sieht vor, dass ein Metallischer Körper, insbesondere Sinterkörper, aufweisend eine äußere Struktur und einen Kern aus jeweils metallischem Material, wobei die äußere Struktur in einem Teilbereich kalibriert ist, der von dem Kern abgestützt ist, wobei der Kern zumindest in einem Bereich der Abstützung des Teilbereichs der Struktur ein metallisches Material aufweist, dass Sinterhalse aufweist, wobei die äußere Struktur eine höhere Dichte aufweist als der Kern.

[0035] Gemäß einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung, die unabhängig wie auch in Abhängigkeit von den anderen Gedanken vorgesehen werden kann, wird ein metallischer Körper vorgeschlagen, aufweisend eine additiv hergestellte Hohlstruktur aus metallischem Material, wobei die Hohlstruktur entlang eines inneren Bereichs eines Wandquerschnitts der Hohlstruktur eine zumindest annähernd 100%ige Dichte aufweist, während ein äußerer Bereich dieses Wandquerschnitts eine Dichte aufweist, die geringer ist als die des inneren Bereichs. Bevorzugt ist vorgesehen, dass der metallische Körper einen äußeren Bereich der Hohlstruktur aufweist, die in einem Teilbereich kalibriert ist.

[0036] Weiterhin ist vorgesehen, dass direkt nach Erstellung aus einer additiven Pulverbett-Herstellungsanlage eine obere und/oder untere Fläche einen geringeren Rauheitswert S_a nach EN ISO 25178 aufweist als eine Seitenfläche des metallischen Körpers und/oder eine Toleranzabweichung eines Abmaß von unten nach oben am metallischen Körper geringer ist als eine Toleranzabweichung ei-

nes Abmaß über eine Breite des metallischen Körpers. Dieses wird zum Beispiel durch ein Verdichten der Pulverschichten erzielt da dadurch beim selektiven Aufschmelzen des Pulvers sich zum Beispiel eine bessere Energieverteilung ergibt, da die Pulverpartikel enger aneinander gepackt sind als ohne Vibration. Dadurch kann aber auch eine Oberflächenrauheit wie auch eine Maßhaltigkeit verbessert werden.

[0037] Des Weiteren wird ein Computerprogrammprodukt zur Ausführung auf einem Computer, aufweisend ein Berechnungsverfahren zur Erstellung eines Körpers, vorzugsweise aus einer äußeren Struktur und einem, in der Struktur enthaltenen Kern aus jeweils metallischem Pulver unter Berücksichtigung eines zu kalibrierenden Teilbereichs des Körpers vorgeschlagen. Mittels des Computerprogrammprodukts können die vorgeschlagenen Verfahren zum Beispiel mittels einer Herstellungsanlage wie oben beschrieben ausgeführt werden.

[0038] Die nachfolgenden Figuren zeigen nur beispielhaft eine jeweilige Ausführung der Erfindung, ohne dass damit die Erfindung beschränkt werden soll. Ein oder mehrere Merkmale aus den jeweiligen Figuren können jeweils miteinander aber auch mit Merkmalen aus der nachfolgenden Figuren-Beschreibung wie auch aus der obigen allgemeinen Beschreibung zu weiteren Ausgestaltungen der Erfindung verknüpft werden. Es zeigen:

[0039] Fig. 1 eine erste schematische Darstellung von einer Materialschicht, die zur Bildung eines Hülle-Kern-Systems bei dem vorgeschlagenen additiven Herstellungsverfahren genutzt wird, und

[0040] Fig. 2 eine zweite schematische Darstellung von einer geschaffenen Struktur, die einen Körper bildet, wobei ein äußerer Bereich einer Wandung des Körpers kalibriert wird.

[0041] Fig. 3 in schematischer, beispielhafter Weise eine Herstellungsanlage, die ein Pulverbett-Verfahren nutzt.

[0042] Fig. 1 zeigt in einer schematischen Ansicht eine mit dem vorgeschlagenen additiven Herstellungsverfahren abgelegte übereinander gelagerte Ansammlung von Materialschichten **1**, in die Strukturen **2** eingeformt sind entsprechend eines Kern-Hülle-Systems wie oben beschrieben. Eine Verdichtung der Materialschichten **1** vor dem eigentlichen Laserbearbeiten erlaubt, einerseits mit besseren Genauigkeiten arbeiten zu können. Zum anderen kann die Oberflächenbeschaffenheit verbessert werden, da die Pulverpartikel enger aneinander liegend geschmolzen werden, was zu einer besseren Raumfüllung und Vergleichmäßigung des Verteilung des geschmolzenen Materials führt. führt.

[0043] Fig. 2 zeigt in schematischer Ansicht eine zweite schematische Darstellung von einer geschaffenen Struktur **2**, die einen Körper **3** bildet, wobei ein äußerer Bereich einer Wandung **4** des Körpers **3** kalibriert wird. Angedeutet ist, dass zwei Seiten **5** kalibriert werden, während andere Bereiche nicht weiter verdichtet werden und daher ihre Porosität behalten.

[0044] Fig. 3 zeigt in schematischer, vereinfachter Weise eine Herstellungsanlage **6**, die ein Pulverbettverfahren nutzt. Hierbei ist als Vibrationsvorrichtung ein erster Ultraschallgeber **7** an einer verfahrbaren Pulverauftragseinrichtung **8** angeordnet. Zumindest ein zweiter Ultraschallgeber **9** ist wiederum an einer höhenverfahrbaren Basisplatte **10** der Herstellungsanlage **6** angeordnet. Mittels des jeweiligen Ultraschallgebers kann das Pulver auf dem Weg durch Leitungen mittels Vibrationen angeregt werden, um dadurch die Fließgeschwindigkeit zu erhöhen, aber auch die Fließfähigkeit des Pulvers zumindest zu erhalten. Durch Vibrationen an der Basisplatte kann das Pulver, entweder schon abgelegt und/oder während der Ablage auf die Basisplatte bzw. auf eine schon abgelegte Pulverschicht, besser verdichtet werden. Das Aufprägen der Vibration kann gleichmäßig und konstant erfolgen, auch kann die Vibration ungleichmäßig sein. Es besteht auch die Möglichkeit, die Aufprägung von Vibrationen zu steuern bzw. zu regeln. Je nach zu verwendendem Pulver bzw. Pulvergemisch können ein oder mehrere Parameter sich verändern, zum Beispiel die Frequenz, die eingebrachte Energie, die zeitliche Dauer der Vibration.

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- DE 1020070390035 B3 [0007]
- DE 000004309524 C2 [0008]
- DE 000019903436 C2 [0008]
- DE 102007039035 B3 [0008]
- DE 102011089194 A1 [0008]
- WO 2013167903 A1 [0008]
- WO 2013167904 A1 [0008]
- US 2012164322 A1 [0019]
- DE 10201008781 A1 [0019]

Zitierte Nicht-Patentliteratur

- EN ISO 25178 [0036]

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung eines Körpers mittels eines additiven Herstellungsverfahrens (AM) unter Nutzung von metallischem Pulver mit den folgenden Schritten:

- computersimulierte Auslegung des Körpers unter Berücksichtigung von zumindest einem zu bearbeitenden Bereich des Körpers und Übergabe von Daten an eine additive Herstellungsvorrichtung, insbesondere eine additive Pulverbett-Herstellungsvorrichtung,
- sukzessives Bereitstellen des metallischen Pulvers zum Aufbau von aufeinander angeordneten Pulverschichten,
- sukzessives Verhärten von Teilen der Pulverschichten zu zumindest einer vorgegebenen Struktur in den aufeinander angeordneten Pulverschichten, wobei die Struktur zumindest zum Teil mit metallischem Pulver der Pulverschichten gefüllt ist, und
- Kalibrieren eines Körpers, der mittels der Struktur geschaffen wird, in dem zu bearbeitenden Bereich.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Pulver während des additiven Herstellungsverfahrens mehrmals verdichtet wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Pulver einzelner Pulverschichten mechanisch verdichtet wird.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Pulver zur Verdichtung gerüttelt wird.

5. Verfahren, vorzugsweise nach einem der vorhergehenden Ansprüche, zum Herstellen eines Körpers mittels eines additiven Herstellungsverfahrens (AM) unter Nutzung von metallischem Pulver mit den folgenden Schritten:

- vorzugsweise computersimulierte Auslegung des Körpers unter Berücksichtigung von zumindest einem zu bearbeitenden Bereich des Körpers und Übergabe von Daten an eine additive Herstellungsvorrichtung, insbesondere eine additive Pulverbett-Herstellungsvorrichtung,
- sukzessives Bereitstellen des metallischen Pulvers zum Aufbau von aufeinander angeordneten Pulverschichten,
- Anregung des metallischen Pulvers mittels Vibration, vorzugsweise mittels Ultraschall, vorzugsweise von ein oder mehreren Pulverschichten mittels Vibration, insbesondere Ultraschall, – sukzessives Verhärten von Teilen der Pulverschichten zu zumindest einer vorgegebenen Struktur in den aufeinander angeordneten Pulverschichten, wobei vorzugsweise die Struktur zumindest zum Teil mit metallischem Pulver der Pulverschichten gefüllt ist.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Basisplatte einer Herstellungsanlage des additiven Herstellungsverfahrens, eine Pulverschicht und/oder ein Teil einer Vorrichtung zur Zuführung von Pulver zum Pulverauftrag der Herstellungsanlage mittels Vibrationen vorzugsweise im Ultraschallbereich angeregt wird.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Verhärten von Teilen der Pulverschichten zu einer geschlossenen Struktur führt, in der das Pulver enthalten bleibt.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Körper eine Wandstruktur erhält, die in einem inneren Bereich der Wandstruktur eine geringere Porosität aufweist als ein Außenbereich der Wandstruktur, wobei vorzugsweise der innere Bereich eine zumindest annähernd 100%ige Dichte erhält und der Außenbereich der Wandstruktur porös bleibt.

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass in einem Bereich der Wandstruktur ein Pulverparameter und/oder eine Materialeigenschaft bei ansonsten gleichem Pulver anders als in einem Inneren der Wandstruktur eingestellt wird.

10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche 1 bis 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein Sintern der zumindest einen Struktur und des Pulvers aus den Pulverschichten, welches in der Struktur beim Sintern beibehalten wird, zum Körper in einem Sinterofen erfolgt, wobei das in der Struktur verbliebene Pulver benachbart zum zu bearbeitenden Bereich des Körpers beim Sintern auf eine Temperatur erhitzt wird, bei der sich Sinterhalse an Pulverkörnern des Pulvers ausbilden, die den zu bearbeitenden Bereich des Körpers abstützen.

11. Herstellungsanlage zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 10, aufweisend zumindest eine additive Pulverbett-Herstellungsvorrichtung mit einer Kalibrierungsvorrichtung und/oder einer Vibrationseinrichtung, vorzugsweise einer Ultraschallvorrichtung.

12. Herstellungsanlage nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass diese zusätzlich einen Sinterofen aufweist.

13. Herstellungsanlage nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Sinterofen ein Durchlaufofen ist, der Bestandteil einer Fertigungsstraße ist, durch den parallel zu dem mittels additivem Herstellungsverfahren gefertigte Körper anders gefertigte und zu sinternde Körper durchlaufen.

14. Herstellungsanlage nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Vibrationseinrichtung, vorzugsweise eine Ultraschallvorrichtung, an einer Basisplatte einer Herstellungsanlage des additiven Herstellungsverfahrens, insbesondere des Pulverbettverfahrens, und/oder an einem Teil einer Vorrichtung der Herstellungsanlage zur Zuführung von Pulver zum Pulverauftrag angeordnet ist.

metallischem Pulver unter Berücksichtigung eines zu kalibrierenden Teilbereichs des Körpers.

Es folgen 2 Seiten Zeichnungen

15. Grünkörper zur Herstellung eines Produkts, insbesondere eines metallischen Produkts und/oder Sinterkörpers, wobei der Grünkörper mittels eines additiven Herstellungsverfahrens nach einem der vorhergehenden Ansprüche 1 bis 10 hergestellt wird, wobei der Grünkörper eine Wandstruktur aufweist, die einen inneren Bereich aufweist, der eine geringere Porosität aufweist, vorzugsweise dicht ist, während ein äußerer Bereich der Wandstruktur porös ist.

16. Metallischer Körper, insbesondere Sinterkörper, aufweisend eine äußere Struktur und einen Kern aus jeweils metallischem Material, wobei die äußere Struktur in einem Teilbereich kalibriert ist, der von dem Kern abgestützt ist, wobei der Kern zumindest in einem Bereich der Abstützung des Teilbereichs der Struktur ein metallisches Material aufweist, dass Sinterhalse aufweist, wobei die äußere Struktur eine höhere Dichte aufweist als der Kern.

17. Metallischer Körper aufweisend eine additiv hergestellte Hohlstruktur aus metallischem Material, wobei die Hohlstruktur entlang eines inneren Bereichs eines Wandquerschnitts der Hohlstruktur eine zumindest annähernd 100%ige Dichte aufweist, während ein äußerer Bereich dieses Wandquerschnitts eine Dichte aufweist, die geringer ist als die des inneren Bereichs.

18. Metallischer Körper nach Anspruch 16 oder 17, **dadurch gekennzeichnet**, dass der äußere Bereich der Hohlstruktur in einem Teilbereich kalibriert ist.

19. Metallischer Körper nach Anspruch 16, 17 oder 18, **dadurch gekennzeichnet**, dass direkt nach Erstellung aus einer additiven Pulverbett-Herstellungsvorrichtung eine obere und/oder untere Fläche einen geringeren Rauheitswert S_a nach EN ISO 25178 aufweist als eine Seitenfläche des metallischen Körpers und/oder eine Toleranzabweichung eines Abmaß von unten nach oben am metallischen Körper geringer ist als eine Toleranzabweichung eines Abmaß über eine Breite des metallischen Körpers.

20. Computerprogrammprodukt zur Ausführung auf einem Computer, aufweisend ein Berechnungsverfahren zur Erstellung eines Körpers nach einem der vorhergehenden Ansprüche, vorzugsweise aus einer gemeinsam zu sinternden äußeren Struktur und einem, in der Struktur enthaltenen Kern aus jeweils

Anhängende Zeichnungen

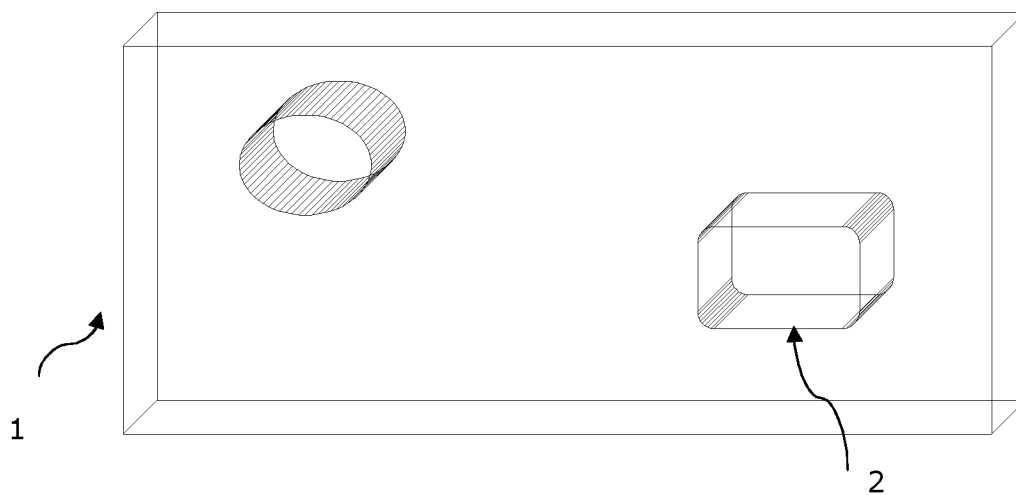


Fig. 1

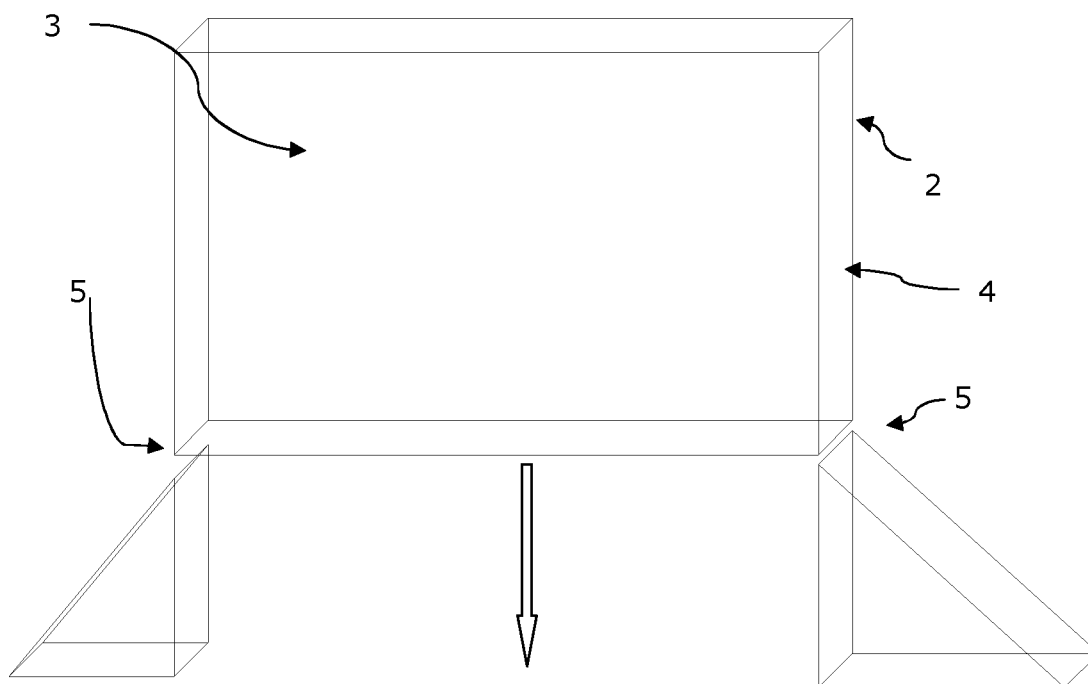


Fig. 2

