



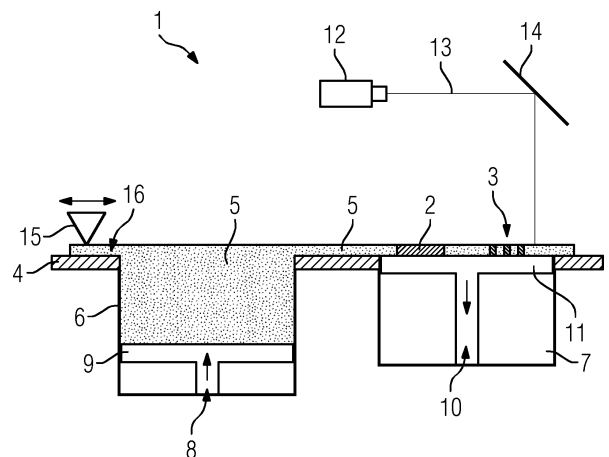
(10) **DE 10 2015 219 013 A1** 2017.04.06

## Offenlegungsschrift

(43) Offenlegungstag: **06.04.2017**

(54) Bezeichnung: **Fertigung eines Referenzkörpers während der generativen Herstellung eines Bauteils**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein generatives Fertigungsverfahren zur schichtweisen Fertigung eines Bauteils 2 und eines zugehörigen Referenzkörpers 3 auf einer Bauplattform 11, 28, wobei das Bauteil 2 und der Referenzkörper 3 aus einer einzigen Charge eines pulverförmigen Ausgangswerkstoffes 5 hergestellt werden und bei der Fertigung des Referenzkörpers 3 ein abgeschlossener Hohlraum 17 gebildet und mit einem pulverförmigen Ausgangswerkstoff 5 derselben Werkstoffcharge befüllt wird. Die Erfindung bezieht sich ferner auf einen entsprechenden Referenzkörper 3 und ein System bestehend aus einem solchen Referenzkörper 3 und einem zugehörigen Bauteil 2.



## Beschreibung

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft ein generatives Fertigungsverfahren zur schichtweisen Fertigung eines Bauteils und eines zugehörigen Referenzkörpers auf einer Bauplattform aus einer einzigen Charge eines pulverförmigen Ausgangswerkstoffe. Ferner betrifft die Erfindung einen entsprechenden Referenzkörper sowie ein System bestehend aus einem solchen Referenzkörper und einem zugehörigen Bauteil.

**[0002]** Für eine schnelle und kostengünstige Herstellung von sowohl Prototypen als auch Endprodukten ist eine Vielzahl generativer Fertigungsverfahren bekannt. Diese auch unter dem Begriff Rapid Prototyping zusammengefassten Verfahren ermöglichen insbesondere die direkte Herstellung einzelner Exemplare auf Basis eines am Computer entworfenen Bauteils. Die Herstellung kann unter Verwendung flüssiger, bandförmiger, drahtförmiger oder pulverförmiger Ausgangswerkstoffe erfolgen, weshalb es bezüglich der umsetzbaren Bauteilgeometrien und Materialien wenig Einschränkungen gibt. Dank der schichtweisen Herstellung können mit diesem Verfahren bisher nicht erzielbare Geometrien gefertigt werden. Insbesondere die Fertigung von Hinterschneidungen stellt kein Problem dar.

**[0003]** Im Falle von pulverförmigen, metallischen Ausgangswerkstoffen sind insbesondere zwei Gruppen von generativen Fertigungsverfahren bekannt. Hierbei handelt es sich zum einen um selektive pulverbettbasierte Strahlschmelzverfahren, wie beispielsweise das sogenannte „Selective Laser Melting“, SLM, -Verfahren oder das sogenannte „Selective Electron Beam Melting“, SEBM, -Verfahren, und zum anderen um Pulverzuführungsverfahren, wie beispielsweise das sogenannte „Laser Material Deposition“, LMD, -Verfahren.

**[0004]** Beim SLM-Verfahren wird ein zu verarbeitendes Metallpulver in einer dünnen Schicht auf einer Bauplattform aufgebracht und dann mittels Laserstrahlung lokal vollständig umgeschmolzen, so dass es nach einer Erstarrung eine feste Materialschicht bildet. Um eine schichtweise Herstellung eines gewünschten Bauteils zu ermöglichen, wird die Bauplattform anschließend um den Betrag einer Schichtdicke abgesenkt, erneut Metallpulver aufgetragen und dann wieder ein Laserstrahl gezielt über die neue Metallpulverschicht gelenkt. Dieses Vorgehen wird so lange wiederholt, bis das gewünschte Bauteil fertiggestellt ist. Das SEBM-Verfahren läuft nahezu identisch zu dem SLM-Verfahren ab, bis auf dass die Umschmelzung des Metallpulvers anstatt mittels Laserstrahlung unter Verwendung eines Elektronenstrahls erfolgt.

**[0005]** Beim LMD-Verfahren hingegen wird ein zu verarbeitendes Metallpulver mittels einer Düse einer LMD-Vorrichtung gezielt auf eine Bauplattform gerichtet und auf seinem Weg zur Bauplattform mit Hilfe eines Lasers der LMD-Vorrichtung auf- oder angeschmolzen. Hierbei wird die LMD-Vorrichtung meist mittels eines CNC-gesteuerten Roboters oder Positioniersystems geführt. Nach der Erstarrung des aufgeschmolzenen Metallpulvers bildet sich eine feste Materialschicht.

**[0006]** Zusätzlich zu den bereits genannten Verfahren gibt es auch solche, bei denen das Metallpulver mittels eines Plasmastrahls geschmolzen wird, um nur ein Beispiel zu nennen.

**[0007]** Metallische Bauteile, die insbesondere mittels der vorstehend beschriebenen SLM-, SEBM- oder LMD-Verfahren hergestellt wurden, müssen in der Praxis häufig hohen mechanischen, thermischen und/oder chemischen Belastungen standhalten, wie beispielsweise die Schaufeln oder andere Bestandteile einer Strömungsmaschine, insbesondere Turbine. Somit ist es im Rahmen einer Qualitätssicherung der gefertigten Bauteile und im Falle einer möglicherweise notwendigen Analyse von Schäden an einem gefertigten und ausgelieferten Bauteil unumgänglich, verschiedenartige metallographische Untersuchungen an dem Material der gefertigten Bauteile durchführen zu können. In diesem Zusammenhang ist es üblich, dass im Rahmen der schichtweisen Fertigung des Bauteils aus einer Charge eines Metallpulvers ein zugehöriger Referenzkörper aus derselben Metallpulvercharge mitgefertigt wird. Als Referenzkörper dienen dabei meist einfache Vollmaterialmetallklötzchen, die beispielsweise mit einem Klebeetikett für eine Zuordnung zu dem zugehörigen Bauteil versehen, archiviert und bei Bedarf analysiert werden. Das im Rahmen des Fertigungsprozesses verwendete Ausgangsmetallpulver wird in der Regel nicht archiviert. Nur in Einzelfällen wird eine Stichprobe des Metallpulvers entnommen, etikettiert und aufbewahrt.

**[0008]** Vor diesem Hintergrund liegt der vorliegenden Erfindung die Aufgabe zugrunde, ein generatives Fertigungsverfahren der eingangs genannten Art bereitzustellen, das es erlaubt, eine Probe der verwendeten Werkstoffcharge sicher, sauber und in eindeutiger Zuordnung zu dem Referenzkörper sowie dem Bauteil zu archivieren. Des Weiteren sollen ein entsprechender Referenzkörper und ein System bestehend aus einem solchen Referenzkörper und einem zugehörigen Bauteil angegeben werden.

**[0009]** Zur Lösung dieser Aufgabe schafft die vorliegende Erfindung ein Verfahren der eingangs genannten Art, das dadurch gekennzeichnet ist, dass bei der Fertigung des Referenzkörpers ein abgeschlossener Hohlraum gebildet und mit einem pulverförmigen

migen Ausgangswerkstoff derselben Werkstoffcharge, aus der auch das Bauteil und der Referenzkörper hergestellt werden, befüllt wird. Die Befüllung des Hohlraums mit dem pulverförmigen Ausgangswerkstoff erfolgt somit automatisch im Rahmen des Fertigungsverfahrens. Der Referenzkörper dient im Ergebnis nicht nur metallographischen Untersuchungen an dem erhärteten Material des gefertigten Bauteils, sondern erfüllt zugleich die Funktion eines Behälters zur Aufnahme einer Pulverprobe der für die Herstellung des Bauteils und des Referenzkörpers verwendeten Ausgangswerkstoffcharge. Dies bietet den Vorteil, dass eine manuelle Entnahme von Stichproben des pulverförmigen Ausgangswerkstoffs entfällt. Es ist stets sichergestellt, dass eine Probe für entsprechende Laboruntersuchungen innerhalb des Referenzkörpers vorhanden ist. Der pulverförmige Ausgangswerkstoff ist in dem abgeschlossenen Hohlraum vor Verunreinigungen geschützt, die zu Verfälschungen der Messergebnisse bei Laboruntersuchungen führen können. Ebenso kann der pulverförmige Ausgangswerkstoff nicht ungewollt aus dem abgeschlossenen Hohlraum austreten und somit für Laboruntersuchungen nicht mehr zur Verfügung stehen. Vorteilhaft ist ebenso, dass der pulverförmige Ausgangswerkstoff nicht versehentlich einem falschen Referenzkörper zugeordnet werden kann, der womöglich aus einer anderen Ausgangswerkstoffcharge hergestellt wurde. Der Hohlraum kann grundsätzlich jede beliebige Gestalt aufweisen, solange dieser abgeschlossen ist. Vorzugsweise wird der Hohlraum zumindest im mittleren Bereich breiter ausgebildet und dann in Fertigungsrichtung des schichtweise gefertigten Referenzkörpers verjüngt, so dass der Hohlraum spitz zulaufend abgeschlossen wird. Bevorzugt weist ein solcher spitzer Abschluss die Form eines Hohlkegels oder einer Hohlpyramide auf, wobei die Mantel- bzw. Seitenflächen mit einer vertikalen, in Fertigungsrichtung zeigenden Achse des Referenzkörpers bevorzugt einen Winkel von  $\leq 45^\circ$ , besonders bevorzugt  $45^\circ$ , bildet. Hierdurch wird eine einfache Fertigung des Hohlraumvolumens gewährleistet. Darüber hinaus lassen sich aus den schrägen Flächen im Rahmen von metallographischen Untersuchungen im Querschnitt viele Informationen gewinnen, da diese fertigungsbedingt eine größere Rauheit als andere Oberflächen und oft auch mehr oberflächennahe Defekte aufweisen. Der Hohlraum kann mit einer beliebigen Menge des pulverförmigen Ausgangswerkstoffs, vorzugsweise jedoch vollständig oder zumindest zum Großteil mit dem pulverförmigen Ausgangswerkstoff befüllt werden, je nachdem wieviel Pulver für Laboruntersuchungen zur Verfügung stehen soll.

**[0010]** Gemäß einer Ausgestaltung der Erfindung wird zumindest eine Oberfläche des Referenzkörpers, insbesondere die während der Fertigung oben angeordnete Oberfläche im Rahmen der schichtweisen Fertigung einstückig mit zumindest einer das

Bauteil identifizierenden Information versehen, um den Referenzkörper insbesondere auch nach dem Öffnen eindeutig zuordnen zu können. Diese Information kann insbesondere Zeichen wie Buchstaben und/oder Zahlen und/oder eine computerlesbare Kodierung wie einen QR-Code oder einen Strichcode aufweisen. Ein QR-Code kann von einer Steuerungssoftware des generativen Fertigungsverfahrens automatisch generiert werden und beispielsweise eine Auftrags-ID und/oder eine zu dem Bauteil passende Seriennummer enthalten, um nur einige Beispiele zu nennen. Im Rahmen eines pulverbasierten generativen Fertigungsverfahrens, wie dem SLM, - SEBM- oder LMD-Verfahren, kann der Referenzkörper nach seiner Fertigstellung durch Aufbringen mindestens einer weiteren Schicht auf seine in Fertigungsrichtung zeigende Oberfläche mit der entsprechenden Information versehen werden, wodurch weitere Arbeitsschritte, wie ein manuelles Anbringen eines Klebeetiketts mit der entsprechenden Information am Referenzkörper, entfallen. Der Referenzkörper und der zugehörige, sich im Hohlraum befindliche, pulverförmige Ausgangswerkstoff können problemlos gemeinsam archiviert werden, denn die Information ermöglicht stets ihre Zuordnung zum zugehörigen Bauteil. Somit kann eine metallographische Untersuchung des Referenzkörpers und/ oder eine sonstige Laboruntersuchung der archivierten Pulverprobe direkt dem zugehörigen Bauteil zugeordnet werden. Da die Information einstückig mit dem Referenzkörper verbunden ist, kann sie sich während der Dauer der Archivierung des Referenzkörpers auch nicht von diesem lösen.

**[0011]** Bevorzugt wird bei der Fertigung des Referenzkörpers zusätzlich zu dem abgeschlossenen Hohlraum ein Vollmaterialbereich gebildet. Ein solcher Vollmaterialbereich kann an jeder beliebigen Stelle des Referenzkörpers gebildet werden, vorzugsweise jedoch in Fertigungsrichtung vor oder nach dem abgeschlossenen Hohlraum. Dass ein gewisser Bereich des Referenzkörpers aus Vollmaterial gebildet wird, spricht für die Doppelfunktion des Referenzkörpers als klassischer Referenzkörper zur Durchführung metallographischer Untersuchungen und als Behälter zur Aufbewahrung einer Pulverprobe. Insbesondere bietet ein solcher Vollmaterialbereich den Vorteil, dass von diesem eine oder mehrere Materialscheiben abgetrennt und anschließend metallographischen Untersuchungen unterzogen werden können, wie lichtmikroskopische Untersuchungen, Untersuchungen mittels Rasterelektronenmikroskopie oder Ultraschalluntersuchungen.

**[0012]** Gemäß einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung werden zu Beginn der schichtweisen Fertigung des Referenzkörpers zunächst unzusammenhängende Bereiche auf der Bauplattform gebildet, die in darauffolgenden Schichten miteinander verbunden werden. Dies führt dazu, dass der entstehende Referenzkörper

renzkörper an seinem unteren freien Ende eine unebene Oberflächenstruktur erhält. Je nachdem, wie die unzusammenhängenden Bereiche auf der Bauplattform genau ausgebildet werden, weist die unebene Oberflächenstruktur regelmäßig angeordnete Wellen und/oder Zacken und/oder Noppen und/oder Riffelungen und/oder sonstige Unebenheiten auf. Die Bildung einer solch unebenen Oberflächenstruktur auf der Bauplattform bietet den Vorteil, dass der Referenzkörper nach seiner Fertigstellung einfacher von der Bauplattform abgelöst werden kann. Dies kann beispielsweise mit Hilfe eines Maulschlüssels oder eines sonstigen geeigneten Werkzeugs geschehen, wobei die Seitenkanten des Referenzkörpers für einen rutschfreien Eingriff des Werkzeugs ausgebildet sein können. Somit ist kein aufwendiges und Schmutz verursachendes Erodieren oder Sägen notwendig, um den Referenzkörper von der Bauplatte abzulösen.

**[0013]** Vorteilhaft wird bei der Fertigung des Referenzkörpers eine den Hohlraum umfänglich umgebende Sollbruchstelle gebildet. Eine solche Sollbruchstelle bietet den Vorteil, dass bei Bedarf ein Teil des Referenzkörpers vom selbigen abgetrennt und gleichzeitig der geschlossene Hohlraum des Referenzkörpers geöffnet oder aufgebrochen werden kann, um das darin befindliche Pulver freizugeben. Hierfür muss kein spanendes Werkzeug, wie ein Bohrer, eingesetzt werden, der die Gefahr einer Verunreinigung des in dem Hohlraum befindlichen pulverförmigen Ausgangswerkstoffs mit sich bringen würde.

**[0014]** Bevorzugt weist die Sollbruchstelle insbesondere eine Vielzahl von sternartig angeordneten, sich bezogen auf eine vertikale Achse des Referenzkörpers radial auswärts erstreckenden Lamellen auf. Vorteilhaft sind die Lamellen leicht gegen den Uhrzeigersinn oder im Uhrzeigersinn geneigt. Diese spezielle Lamellenanordnung ermöglicht ein einfaches Aufbrechen des Hohlraums durch ein relatives Verdrehen eines der Sollbruchstelle in Fertigungsrichtung vorgelagerten ersten Referenzkörperabschnitts gegen einen nachgelagerten zweiten Referenzkörperabschnitt. Das relative Verdrehen kann unter Verwendung eines Maulschlüssels erfolgen. Vorzugsweise wird der in Fertigungsrichtung nachgelagerte zweite Referenzkörperabschnitt mechanisch eingespannt und ein geeignetes Drehmoment wird auf den in Fertigungsrichtung vorgelagerten ersten Referenzkörperabschnitt ausgeübt, wodurch die Lamellen so auf Zug beansprucht werden, dass der geschlossene Hohlraum aufgebrochen wird. Vorteilhaft entsteht eine kleine kreisförmige Öffnung, die einen Zugriff auf das im Hohlraum befindliche Pulver ermöglicht. Der Umfang des Hohlraums wird im Bereich der Sollbruchstelle vorteilhaft geringer ausgebildet als an anderen Stellen, wodurch ein Aufbrechen weiter erleichtert wird.

**[0015]** Gemäß einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung ist der pulverförmige Ausgangswerkstoff ein Metallpulver und das generative Fertigungsverfahren ein SLM-Verfahren, ein SEBM-Verfahren oder ein LMD-Verfahren. Insbesondere metallische Bauteile müssen häufig eine hohe Strapazierfähigkeit aufweisen, weshalb sowohl routinemäßige Qualitätsuntersuchungen als auch Mängelanalysen des Materials des Bauteils wie auch der Ausgangswerkstoffcharge wichtig sind.

**[0016]** Im Falle eines SLM- oder SEBM-Verfahrens wird der entstehende Hohlraum des Referenzkörpers durch ein sukzessives Aufbringen von Metallpulverschichten bevorzugt im Laufe des SLM- oder SEBM-Verfahrens automatisch mit Metallpulver befüllt, wobei der Hohlraum vorzugsweise vollständig oder zumindest zum Großteil mit Metallpulver befüllt wird.

**[0017]** Aufgrund eines grundlegend verschiedenen Verfahrensablaufs wird im Falle eines LMD-Verfahrens der Hohlraum insbesondere kurz vor seiner Fertigstellung mittels einer Düse einer LMD-Vorrichtung mit dem Metallpulver befüllt. Ein Laser der LMD-Vorrichtung wird für die Dauer des Befüllens abgeschaltet, damit das Metallpulver nicht aufgeschmolzen wird.

**[0018]** Zur Lösung der eingangs genannten Aufgabe schafft die vorliegende Erfindung ferner einen aus einer Charge eines pulverförmigen Ausgangswerkstoffs hergestellten Referenzkörper der eingangs genannten Art, dadurch gekennzeichnet, dass der Referenzkörper einen abgeschlossenen Hohlraum aufweist, der mit einem pulverförmigen Ausgangswerkstoff derselben Charge befüllt ist.

**[0019]** Gemäß einer Ausgestaltung der Erfindung weist der Referenzkörper zusätzlich zu dem abgeschlossenen Hohlraum einen Vollmaterialbereich auf.

**[0020]** Gemäß einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung weist der Referenzkörper an einem freien Ende eine unebene Oberflächenstruktur auf, wobei die unebene Oberflächenstruktur des Referenzkörpers insbesondere regelmäßig angeordnete Wellen und/oder Zacken und/oder Noppen und/oder Riffelungen und/oder sonstige Unebenheiten aufweist.

**[0021]** Bevorzugt weist der Referenzkörper eine den Hohlraum umfänglich umgebende Sollbruchstelle auf, die bevorzugt eine Vielzahl von sternartig angeordneten, sich bezogen auf eine vertikale Achse des Referenzkörpers radial auswärts erstreckenden Lamellen umfasst. Vorteilhaft sind die Lamellen hierbei leicht gegen den Uhrzeigersinn oder im Uhrzeigersinn geneigt. Die vorstehend angegebene lamellenartige Ausgestaltung der Sollbruchstelle ist jedoch

nur beispielhaft. Es sind grundsätzlich beliebige andere Ausgestaltungen der Sollbruchstelle denkbar.

**[0022]** Bezüglich der jeweiligen Vorteile der vorstehend aufgezählten weiteren möglichen Ausgestaltungen des Referenzkörpers wird auf die vorstehenden Ausführungen zum generativen Fertigungsverfahren verwiesen.

**[0023]** Zur Lösung der eingangs genannten Aufgabe schafft die vorliegende Erfindung ferner ein System bestehend aus einem Bauteil und einem zugehörigen Referenzkörper, die aus einer einzigen Charge eines pulverförmigen Ausgangswerkstoffs hergestellt sind, der eingangs genannten Art, dadurch gekennzeichnet, dass der Referenzkörper einen abgeschlossenen Hohlraum aufweist, der mit einem pulverförmigen Ausgangswerkstoff derselben Charge befüllt ist. Der Hohlraum kann jede beliebige Gestalt aufweisen, solange er abgeschlossen ist. Zudem kann der Hohlraum mit einer beliebigen Menge des pulverförmigen Ausgangswerkstoffs, vorzugsweise jedoch vollständig oder zumindest zum Großteil mit dem pulverförmigen Ausgangswerkstoff befüllt werden, je nachdem wieviel Pulver für Laboruntersuchungen zur Verfügung stehen soll.

**[0024]** Gemäß einer Ausgestaltung der Erfindung ist zumindest eine das Bauteil identifizierende Information auf der Oberfläche des Referenzkörpers, insbesondere der Oberseite, vorgesehen und mit diesem einstückig ausgebildet, wobei die zumindest eine Information insbesondere Zeichen wie Buchstaben und/oder Zahlen und/oder eine computerlesbare Kodierung wie einen QR-Code oder einen Strichcode aufweist.

**[0025]** Bezüglich weiterer möglicher Ausgestaltungen des Referenzkörpers und deren Vorteile wird auf die vorstehenden Ausführungen zum Referenzkörper bzw. generativen Fertigungsverfahren verwiesen. Zudem wird bezüglich weiterer möglicher Ausgestaltungen des Herstellungsverfahrens und deren Vorteile ebenfalls auf die vorstehenden Ausführungen zum generativen Fertigungsverfahren verwiesen.

**[0026]** Mit dem oben beschriebenen Referenzkörper bzw. System bestehend aus einem Bauteil und dem zugehörigen Referenzkörper wird also erstmalig ein Referenzkörper bereitgestellt, der es erlaubt, eine Pulverprobe einer bei einer schichtweisen Fertigung des Bauteils und des zugehörigen Referenzkörpers verwendeten Charge eines pulverförmigen Ausgangswerkstoffs sicher, sauber und in eindeutiger Zuordnung zu dem Referenzkörper sowie dem Bauteil zu archivieren. Des Weiteren wird erstmalig ein Verfahren zur schichtweisen Fertigung eines solchen Referenzkörpers und des zugehörigen Bauteils bereitgestellt.

**[0027]** Weitere Merkmale und Vorteile der vorliegenden Erfindung werden anhand der nachfolgenden Beschreibung einer Ausführungsform eines generativen Fertigungsverfahrens sowie einer Ausführungsform eines Referenzkörpers gemäß der vorliegenden Erfindung unter Bezugnahme auf die beiliegende Zeichnung deutlich. Darin ist

**[0028]** Fig. 1 eine schematische Ansicht einer selektiven pulverbettbasierten Laserstrahlschmelzvorrichtung, vorliegend einer SLM-Vorrichtung, in einem Zustand während der Fertigung eines Bauteils und eines zugehörigen Referenzkörpers unter Verwendung eines Verfahrens gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

**[0029]** Fig. 2 eine schematische Ansicht der SLM-Vorrichtung gemäß Fig. 1 in einem weiteren Zustand während der Fertigung des Bauteils und des zugehörigen Referenzkörpers;

**[0030]** Fig. 3 eine perspektivische schematische Ansicht eines Referenzkörpers gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

**[0031]** Fig. 4 eine Schnittansicht entlang der Schnittlinie IV-IV in Fig. 3;

**[0032]** Fig. 5 eine Schnittansicht entlang der Schnittlinie V-V in Fig. 3;

**[0033]** Fig. 6 eine Schnittansicht entlang der Schnittlinie VI-VI in Fig. 3;

**[0034]** Fig. 7 eine schematische Seitenansicht des Referenzkörpers zu unterschiedlichen Zeitpunkten seiner Fertigung; und

**[0035]** Fig. 8 eine schematische Ansicht einer alternativen generativen Fertigungsverfahren, vorliegend einer LMD-Vorrichtung, in einem Zustand während der Fertigung eines Bauteils und eines zugehörigen Referenzkörpers unter Verwendung eines Verfahrens gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

**[0036]** Fig. 1 zeigt eine schematische Ansicht einer selektiven pulverbettbasierten Laserstrahlschmelzvorrichtung, vorliegend einer SLM-Vorrichtung **1**, in einem Zustand während der Fertigung eines Bauteils **2** und eines zugehörigen Referenzkörpers **3**. Die SLM-Vorrichtung **1** weist eine Arbeitsfläche **4** mit zwei Öffnungen auf, wobei sich unterhalb einer ersten Öffnung ein bis zum Rand mit Metallpulver **5** gefüllter Metallpulvervorratsbehälter **6** und unterhalb einer zweiten Öffnung ein Bauraum **7** befindet. Innerhalb des Metallpulvervorratsbehälters **6** ist eine an einer ersten Hubvorrichtung **8** befestigte Platte **9** angeordnet, und innerhalb des Bauraums **7** ist eine an einer zweiten Hubvorrichtung **10** befestigte Bauplatt-

form **11** vorgesehen. In dem dargestellten Zustand der SLM-Vorrichtung **1** befindet sich die Bauplattform **11** auf gleicher Höhe wie die Arbeitsfläche **4**, während die Platte **9** auf einem unteren Niveau angeordnet ist. Die SLM-Vorrichtung **1** weist einen Laser **12** auf, dessen Laserstrahl **13** mit Hilfe eines Umlenkspiegels **14** auf die Bauplattform gelenkt werden kann. Des Weiteren umfasst die SLM-Vorrichtung **1** eine parallel zur Arbeitsfläche **4** bewegliche Rakel **15**.

**[0037]** Die zuvor beschriebene SLM-Vorrichtung **1** ermöglicht eine schichtweise Fertigung des Bauteils **2** und des Referenzkörpers **3** aus dem Metallpulver **5** auf Basis von CAD-Daten. Hierfür wird zunächst ein Teil des Metallpulvers **5** mit Hilfe der ersten Hubvorrichtung **8** über den Rand des Metallpulvorratsbehälters **6** hinaus auf ein Niveau oberhalb der Arbeitsfläche **4** angehoben und anschließend durch eine Bewegung der Rakel **15** parallel zur Arbeitsfläche **4** gleichmäßig in einer dünnen Schicht **16** auf der Arbeitsfläche **4** und der Bauplattform **11** verteilt. Um die auf die Bauplattform **11** aufgebrachte Metallpulverschicht lokal an gewünschten Stellen vollständig umzuschmelzen, wird der Laserstrahl **13** mit Hilfe des Umlenkspiegels **14** auf die entsprechenden Stellen der Bauplattform **11** gelenkt. Das geschmolzene Metallpulver **5** bildet nach seiner Erstarrung eine feste Materialschicht. **Fig. 1** zeigt eine bereits fertiggestellte erste Schicht des Bauteils **2** und eine erste Schicht des Referenzkörpers **3** während ihrer Fertigung. Zur Generierung jeder weiteren Schicht des Bauteils **2** und des Referenzkörpers **3** wird die Bauplattform **11** mit Hilfe der zweiten Hubvorrichtung **10** jeweils um den Betrag einer Schichtdicke in den Bauraum **7** hinein abgesenkt und die Platte **9** wird mit der ersten Hubvorrichtung **8** innerhalb des Metallpulvorratsbehälters **6** entsprechend angehoben. Nun wird erneut Metallpulver **5** mit Hilfe der Rakel **15** aufgetragen und der Laserstrahl **13** auf die entsprechenden Stellen oberhalb der Bauplattform **11** gelenkt. Dieser Vorgang wird wiederholt, bis sowohl das Bauteil **2** als auch der Referenzkörper **3** fertiggestellt sind. Das fertiggestellte Bauteil **2** kann jede gewünschte Gestalt aufweisen. Mit Bezug auf den Referenzkörper **3** wird der Laserstrahl **13** derart geführt, dass sich bei der Fertigung des Referenzkörpers **3** ein abgeschlossener und mit Metallpulver **5** gefüllter Hohlraum **17** bildet, wie es nachfolgend noch näher erläutert wird. Der geschilderte Verfahrensverlauf lässt sich beispielsweise auch auf ein SEBM-Verfahren übertragen, wobei das Schmelzen des Metallpulvers **5** mit Elektronenstrahlung anstatt mit Laserstrahlung erfolgt.

**[0038]** **Fig. 2** zeigt eine schematische Ansicht der SLM-Vorrichtung **1** gemäß **Fig. 1** in einem weiteren Zustand während der Fertigung des Bauteils **2** und des zugehörigen Referenzkörpers **3**. In diesem Fertigungszustand wurden bereits mehrere Schichten des Bauteils **2** und des Referenzkörpers **3** generiert.

**[0039]** Die **Fig. 3** bis **Fig. 6** zeigen Ansichten eines fertigen Referenzkörpers **3** gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung, der in der zuvor beschriebenen Weise unter Verwendung der in den **Fig. 1** und **Fig. 2** dargestellten SLM-Vorrichtung **1** hergestellt und bereits von der Bauplattform **11** getrennt wurde. Der Referenzkörper **3** weist insgesamt eine im Wesentlichen quaderförmige Gestalt mit einem quadratischen Querschnitt auf, der eine Schlüsselweite  $s$  definiert, die vorliegend 21mm beträgt. An seiner Unterseite umfasst der Referenzkörper **3** eine wellige Oberflächenstruktur **18**. Anstelle von Wellen kann die Unterseite des Referenzkörpers **3** auch mit sonstigen Unebenheiten versehen sein, wie beispielsweise mit Zacken und/oder Noppen und/oder Riffelungen, um nur einige Beispiele zu nennen. An die Oberflächenstruktur **18** schließt sich in Fertigungsrichtung  $R$  ein erster Referenzkörperabschnitt **19** an, der aus Vollmaterial **20** hergestellt ist. Auf den ersten Referenzkörperabschnitt **19** folgt eine Sollbruchstelle **21**, die den ersten Referenzkörperabschnitt **19** von einem zweiten Referenzkörperabschnitt **22** trennt, der im Wesentlichen den Hohlraum **17** definiert, wobei die Sollbruchstelle **21** auf der Höhe des unteren Bereiches des Hohlraums **17** angeordnet ist. Die Sollbruchstelle **21** ist vorliegend durch eine Vielzahl von Lamellen **23** definiert, die einen Endbereich des Hohlraums **17** sternartig umgeben und sich radial auswärts sowie aufwärts erstrecken, wobei sie bezogen auf eine vertikale Achse  $A$  leicht gegen den Uhrzeigersinn geneigt sind. Der Hohlraum **17** weist in seinem unteren Bereich zunächst die Gestalt eines sich entgegen der Fertigungsrichtung  $R$  verjüngenden Kegelstumpfes auf, im mittleren Bereich ist er zylindrisch ausgebildet, und im oberen Bereich verjüngt er sich kegelförmig, so dass der Hohlraum **17** in Fertigungsrichtung  $R$  spitz zulaufend abgeschlossen ist. Ein Winkel  $\alpha$  zwischen einer Mantelfläche **24** des Kegels und der vertikalen Achse  $A$  des Referenzkörpers **3** beträgt bevorzugt  $\leq 45^\circ$ , besonders bevorzugt  $45^\circ$ . Es sollte allerdings klar sein, dass der Hohlraum **17** grundsätzlich auch andere Formen und/oder Abmessungen aufweisen kann. An seiner Oberseite **25** ist der Referenzkörper **3** mit einem Strichcode **26** versehen, der einteilig mit diesem ausgebildet ist. Alternativ können anstelle des Strichcodes **26** oder zusätzlich zu diesem auch andere Informationen einteilig mit dem Referenzkörper **3** ausgebildet sein, wie beispielsweise ein QR-Code, Zahlen- und/oder Buchstabenfolgen oder dergleichen.

**[0040]** **Fig. 7** zeigt den in **Fig. 3** bis **Fig. 6** dargestellten Referenzkörper **3** zu unterschiedlichen Zeitpunkten seiner Fertigung. Im Einzelnen zeigt **Fig. 7a** den Referenzkörper **3** zu einem Zeitpunkt am Anfang der Fertigung der gewellten Oberflächenstruktur **18**. **Fig. 7b** zeigt den Referenzkörper **3** zu einem späteren Zeitpunkt, zu dem die in **Fig. 7a** gezeigten unzusammenhängenden Bereiche der gewellten Oberflä-

chenstruktur **18** miteinander verbunden und der erste Referenzkörperabschnitt **19** sowie die Sollbruchstelle **21** generiert wurden. In **Fig. 7c** ist der Referenzkörper **3** während der Generierung des zweiten Referenzkörperabschnittes **22** und des vorliegend nicht sichtbaren, mit Metallpulver **5** gefüllten Hohlraums **17** dargestellt. Das Befüllen des Hohlraums **17** mit Metallpulver **5** erfolgt vorliegend aufgrund der Natur des SLM-Verfahrens automatisch. **Fig. 7d** zeigt den fertigen Referenzkörper **3**, der mit dem Strichcode **26** versehen ist.

**[0041]** Die wellige Oberflächenstruktur **18** des Referenzkörpers **3** ist dahingehend von Vorteil, dass sich der Referenzkörper **3** nach seiner Fertigung einfacher von der Bauplattform **11** trennen lässt. Hierzu wird an dem ersten Referenzkörperabschnitt **19** ein Mausschlüssel entsprechender Schlüsselweite angesetzt, woraufhin der Referenzkörper **3** relativ zur Bauplattform **11** gedreht wird, bis sich die gewellte Oberflächenstruktur **18** von der Bauplattform **11** löst oder aufbricht. Es ist somit nicht erforderlich, den Referenzkörper **3** mittel Sägen oder dergleichen von der Bauplattform **11** zu trennen, wodurch Aufwand, Zeit und Kosten eingespart werden können.

**[0042]** Von dem ersten Referenzkörperabschnitt **19**, der massiv ausgebildet ist, können bei Bedarf Proben abgetrennt werden, insbesondere scheibenförmige Proben, um diese metallurgischen Untersuchungen zu unterziehen. Auch stellt der erfindungsgemäße Referenzkörper **3** innerhalb seines Hohlraums **17** eine Probe des Metallpulvers **5** für metallurgische Untersuchungen bereit. Zur Entnahme des Metallpulvers **5** werden am unteren Referenzkörperabschnitt **19** und am oberen Referenzkörperabschnitt **22** jeweils Mausschlüssel entsprechender Schlüsselweite angesetzt und die Referenzkörperabschnitte **19**, **22** dann gegeneinander verdreht, bis die Sollbruchstelle **21** aufbricht und der Hohlraum **17** geöffnet wird. Im Anschluss kann dann das Metallpulver **5** aus dem Referenzkörper **3** ausgeschüttet werden. In Abhängigkeit von der Ausbildung der Sollbruchstelle **21** können die Referenzkörperabschnitte **19**, **22** zum Aufbrechen der Sollbruchstelle **21** gegebenenfalls auch mit den Händen gegeneinander verdreht werden.

**[0043]** Der Strichcode **26** repräsentiert Informationen, die den Referenzkörper **3** dem im gleichen Zyklus mit derselben Pulvercharge hergestellten Bauteil **2** zuordnen, wie beispielsweise die Seriennummer des Bauteils **2**, um nur ein Beispiel zu nennen.

**[0044]** **Fig. 8** zeigt eine schematische Ansicht einer alternativen generativen Fertigungsverfahren, vorliegend einer LMD-Vorrichtung **27**, in einem Zustand während der Fertigung eines Bauteils **2** und eines zugehörigen Referenzkörpers **3**, die im Wesentlichen den zuvor beschriebenen Komponenten entsprechen, weshalb sie mit gleichen Bezugsziffern be-

zeichnet sind und nachfolgend nicht erneut beschrieben werden. Die LMD-Vorrichtung **27** weist eine ortsfeste Bauplattform **28**, eine Düse **29** und eine Positionierungsvorrichtung **30** für die Düse **29** auf.

**[0045]** Das mittels der LMD-Vorrichtung **27** durchgeführte LMD-Verfahren ist ebenso wie das SLM- oder SEBM-Verfahren ein generatives Fertigungsverfahren, das eine schichtweise Fertigung des Bauteils **2** und des Referenzkörpers **3** aus einem Metallpulver **5** auf einer vorliegend ortsfesten Bauplattform **28** ermöglicht. Hierfür wird das zu verarbeitende Metallpulver **5** mit Hilfe der Düse **29** gezielt auf die Bauplattform **28** gerichtet und auf seinem Weg zur Bauplattform **28** unter Einsatz eines aus der Mitte der Düse **29** austretenden Laserstrahls **13** auf- oder angeschmolzen. Das geschmolzene Metallpulver **5** bildet nach seiner Erstarrung eine feste Materialschicht. Um das Metallpulver **5** bei der Fertigung einer Schicht gezielt aufzutragen, wird die Düse **29** mit Hilfe der Positionierungsvorrichtung **30** innerhalb einer x-z-Ebene bewegt. Nach jeder aufgetragenen Schicht wird die Düse **29** dann um den Betrag einer Schichtdicke in y-Richtung angehoben, um einen gleichmäßigen Abstand zwischen der Düse **29** und der Bauplattform **28** zu gewährleisten, woraufhin die sich anschließende Schicht generiert wird. Dies wird solange wiederholt, bis sowohl das Bauteil **2** als auch der Referenzkörper **3** fertiggestellt sind. Zur Befüllung des Hohlraums **17** mit Metallpulver **5** wird die Düse **29** oberhalb des nahezu fertig gestellten Hohlraums **17** positioniert. Anschließend erfolgt dann die Befüllung bei abgeschaltetem Laserstrahl **13**.

**[0046]** Obwohl die Erfindung im Detail durch das bevorzugte Ausführungsbeispiel näher illustriert und beschrieben wurde, so ist die Erfindung nicht durch die offenbarten Beispiele eingeschränkt und andere Variationen können vom Fachmann hieraus abgeleitet werden, ohne den Schutzzumfang der Erfindung zu verlassen. Insbesondere kann die Herstellung des Bauteils und des zugehörigen Referenzkörpers mit Hilfe jedes beliebigen pulverbasierten generativen Fertigungsverfahrens erfolgen. Zudem kann der Hohlraum des Referenzkörpers nicht nur mit Metallpulver, sondern mit jedem beliebigen pulverförmigen Ausgangswerkstoff befüllt werden, aus dem auch das Bauteil hergestellt wird.

## Patentansprüche

1. Generatives Fertigungsverfahren zur schichtweisen Fertigung eines Bauteils (**2**) und eines zugehörigen Referenzkörpers (**3**) auf einer Bauplattform (**11**, **28**), wobei das Bauteil (**2**) und der Referenzkörper (**3**) aus einer einzigen Charge eines pulverförmigen Ausgangswerkstoffs (**5**) hergestellt werden, **dadurch gekennzeichnet**, dass

bei der Fertigung des Referenzkörpers (3) ein abgeschlossener Hohlraum (17) gebildet und mit einem pulverförmigen Ausgangswerkstoff (5) derselben Werkstoffcharge befüllt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass zumindest eine Oberfläche (25) des Referenzkörpers (3) im Rahmen der schichtweisen Fertigung einstückig mit zumindest einer das Bauteil (2) identifizierenden Information versehen wird, die insbesondere Zeichen wie Buchstaben und/oder Zahlen und/oder eine computerlesbare Kodierung wie einen QR-Code oder einen Strichcode (26) aufweist.

3. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass bei der Fertigung des Referenzkörpers (3) zusätzlich zu dem abgeschlossenen Hohlraum (17) ein Vollmaterialbereich (20) gebildet wird.

4. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass zu Beginn der schichtweisen Fertigung des Referenzkörpers (3) zunächst unzusammenhängende Bereiche auf der Bauplattform (11, 28) gebildet werden, die in darauffolgenden Schichten miteinander verbunden werden.

5. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass bei der Fertigung des Referenzkörpers (3) eine den Hohlraum (17) umfänglich umgebende Sollbruchstelle (21) gebildet wird, wobei die Sollbruchstelle (21) insbesondere eine Vielzahl von sternartig angeordneten, sich bezogen auf eine vertikale Achse (A) radial auswärts erstreckenden Lamellen (23) aufweist.

6. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der pulverförmige Ausgangswerkstoff (5) ein Metallpulver und das generative Fertigungsverfahren ein SLM-Verfahren, ein SEBM-Verfahren oder ein LMD-Verfahren ist.

7. Verfahren nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass im Falle eines SLM- oder SEBM-Verfahrens durch ein sukzessives Aufbringen von Metallpulverschichten (16) im Laufe des SLM- oder SEBM-Verfahrens der entstehende Hohlraum (17) des Referenzkörpers (3) automatisch mit dem Metallpulver (5) befüllt wird.

8. Verfahren nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass im Falle eines LMD-Verfahrens der Hohlraum (17) kurz vor seiner Fertigstellung mittels einer Düse (29) einer LMD-Vorrichtung (27) mit dem Metallpulver (5) befüllt wird, wobei ein Laser der LMD-Vorrichtung (27) für die Dauer des Befüllens abgeschaltet wird.

9. Referenzkörper (3), der aus einer Charge eines pulverförmigen Ausgangswerkstoffs (5) hergestellt ist, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Referenzkörper (3) einen abgeschlossenen Hohlraum (17) aufweist, der mit einem pulverförmigen Ausgangswerkstoff (5) derselben Charge befüllt ist.

10. Referenzkörper (3) nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Referenzkörper (3) zusätzlich zu dem abgeschlossenen Hohlraum (17) einen Vollmaterialbereich (20) aufweist.

11. Referenzkörper (3) nach einem der Ansprüche 9 oder 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Referenzkörper (3) an einem freien Ende eine unebene Oberflächenstruktur (18) aufweist, wobei die unebene Oberflächenstruktur (18) des Referenzkörpers (3) insbesondere regelmäßig angeordnete Wellen und/oder Noppen und/oder Riffelungen und/oder sonstige Unebenheiten aufweist.

12. Referenzkörper (3) nach einem der Ansprüche 9 bis 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Referenzkörper (3) eine den Hohlraum (17) umfänglich umgebende Sollbruchstelle (21) aufweist.

13. Referenzkörper (3) nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Sollbruchstelle (21) eine Vielzahl von sternartig angeordneten, sich bezogen auf eine vertikale Achse (A) radial auswärts erstreckenden Lamellen (23) aufweist.

14. System bestehend aus einem Bauteil (2) und einem zugehörigen Referenzkörper (3), insbesondere einem Referenzkörper (3) nach einem der Ansprüche 9 bis 13, wobei das Bauteil (2) und der Referenzkörper (3) aus einer einzigen Charge eines pulverförmigen Ausgangswerkstoffs (5) hergestellt sind, insbesondere mit einem Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Referenzkörper (3) einen abgeschlossenen Hohlraum (17) aufweist, der mit einem pulverförmigen Ausgangswerkstoff (5) derselben Charge befüllt ist.

15. System nach Anspruch 14, **dadurch gekennzeichnet**, dass zumindest eine das Bauteil (2) identifizierende Information auf der Oberfläche (25) des Referenzkörpers (3) vorgesehen und mit diesem einstückig ausgebildet ist, wobei die zumindest eine Information insbesondere Zeichen wie Buchstaben und/oder Zahlen und/oder

eine computerlesbare Kodierung wie einen QR-Code  
oder einen Strichcode (**26**) aufweist.

Es folgen 4 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG 1

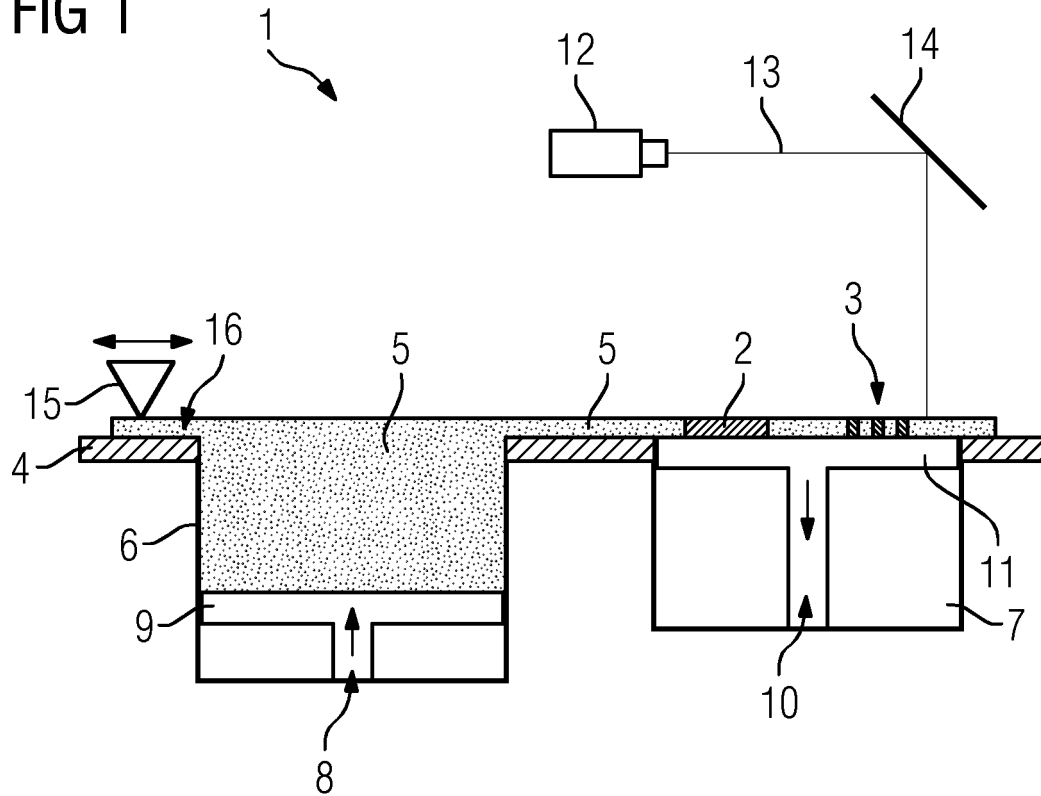


FIG 2

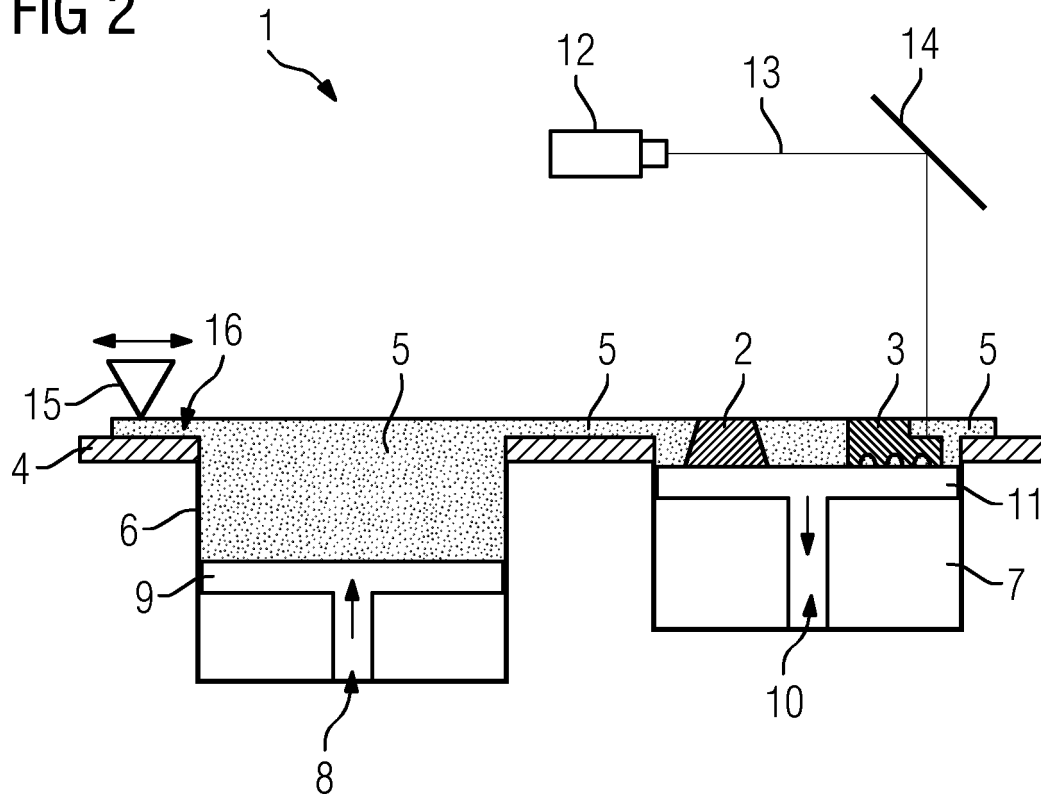


FIG 3

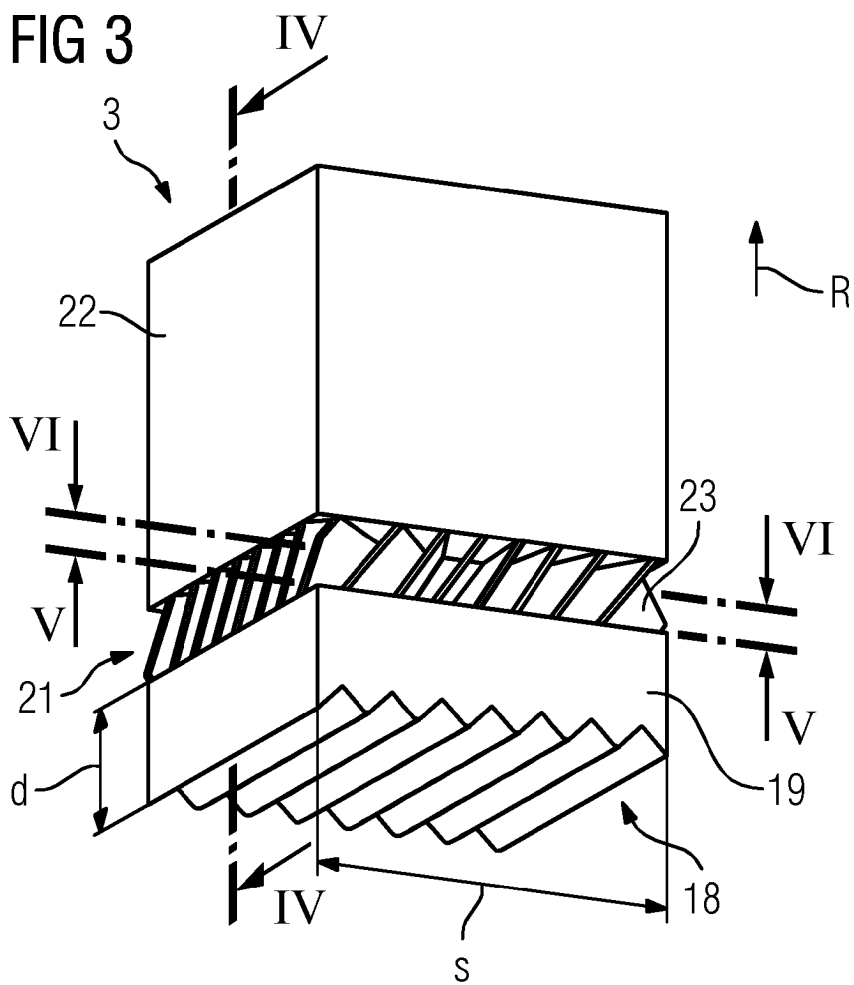


FIG 4

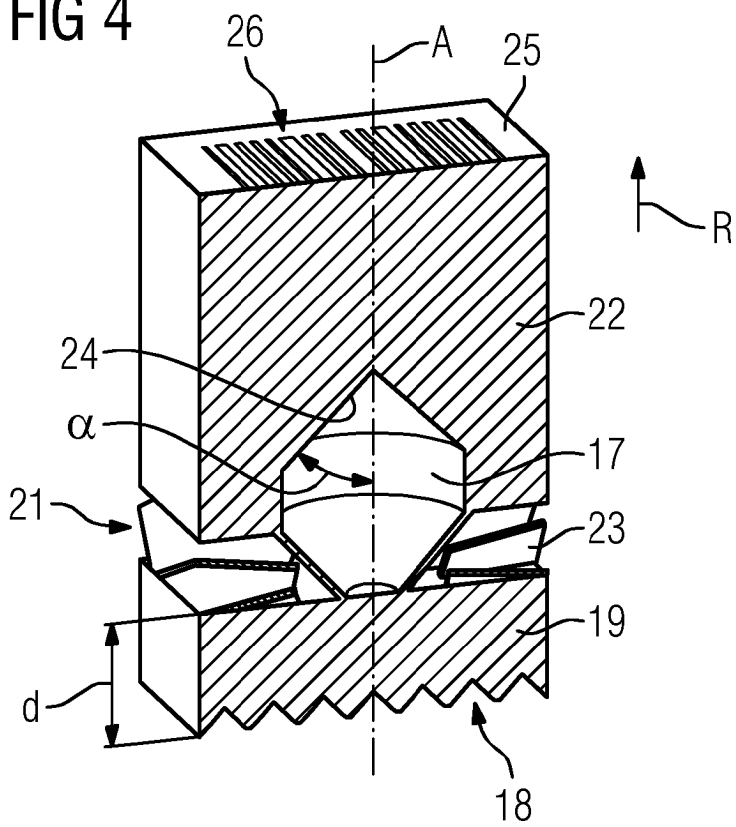


FIG 5

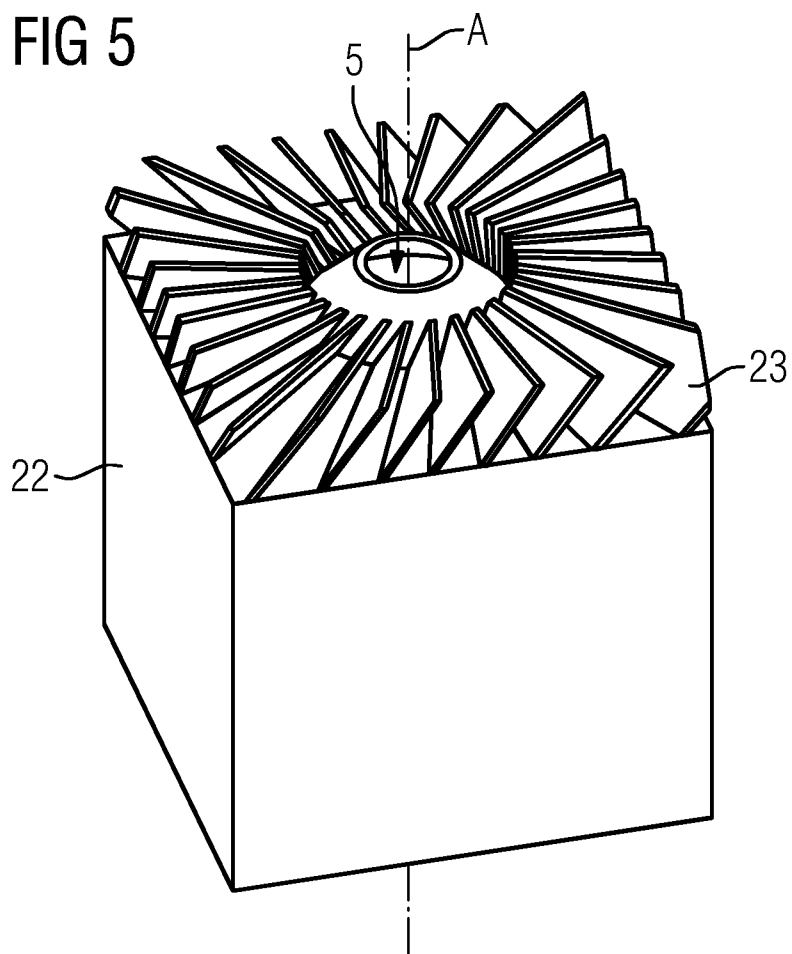


FIG 6

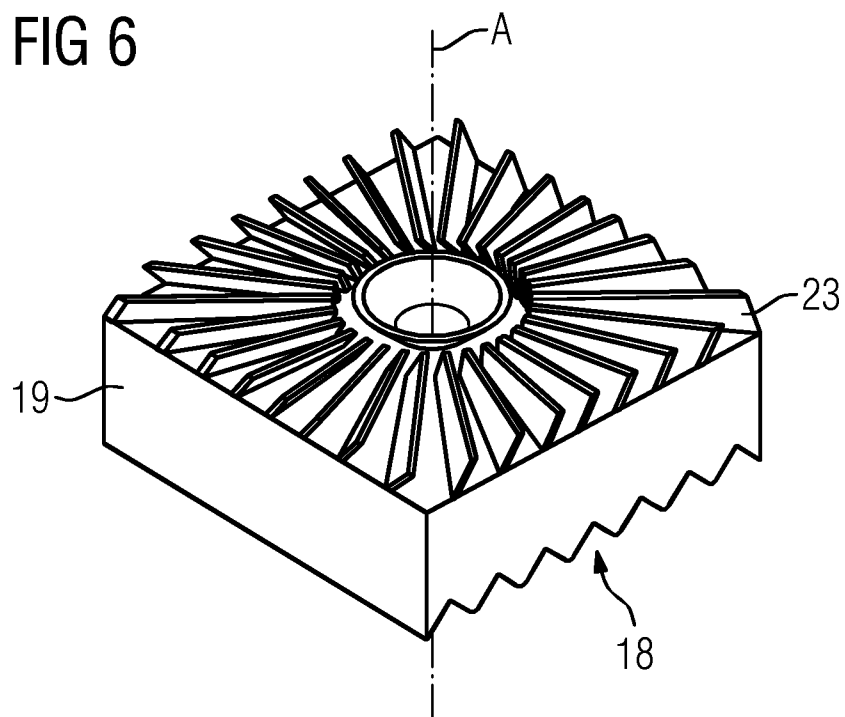


FIG 7

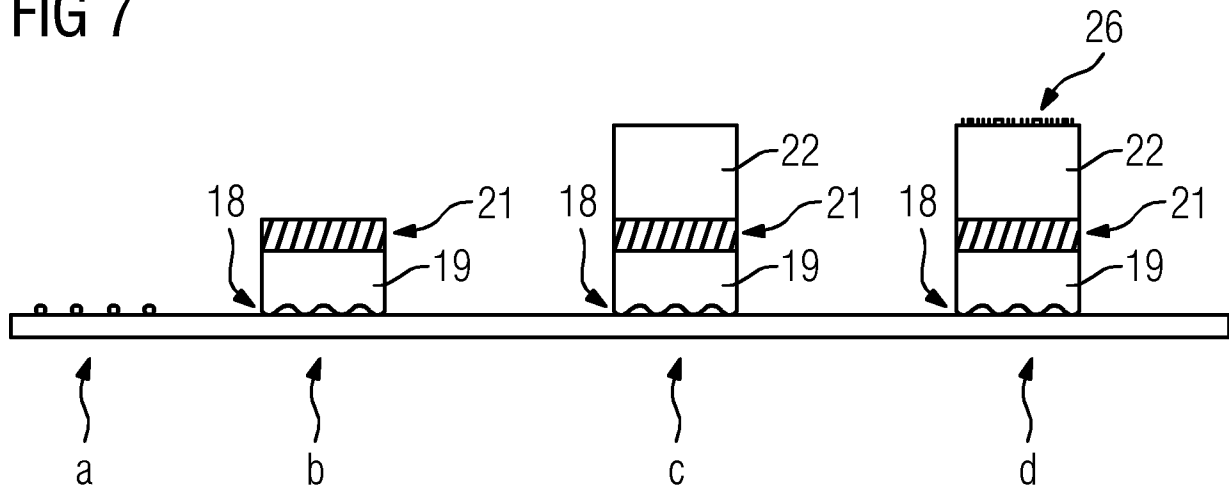


FIG 8

