

(12) **Österreichische Patentanmeldung**

(21) Anmeldenummer: A 50898/2021
(22) Anmeldetag: 11.11.2021
(43) Veröffentlicht am: 15.05.2023

(51) Int. Cl.: **B22F 3/105** (2006.01)
B22F 3/16 (2006.01)
B33Y 10/00 (2015.01)
B33Y 40/20 (2020.01)
B22F 7/02 (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:
DE 102015201873 A1
DE 102021003914 A1
US 2018326493 A1

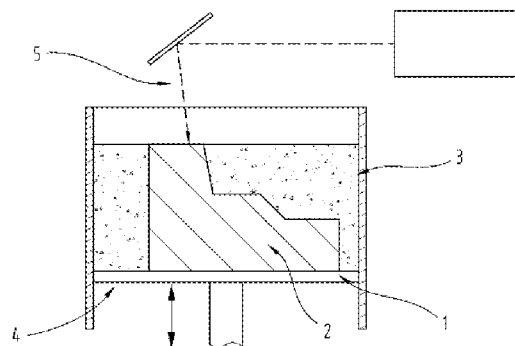
(71) Patentanmelder:
Miba Sinter Austria GmbH
4663 Laakirchen (AT)

(74) Vertreter:
Anwälte Burger und Partner Rechtsanwalt
GmbH
4580 Windischgarsten (AT)

(54) **Verfahren zur Herstellung eines Bauteils aus einem Metallpulver und/oder Keramikpulver**

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung eines Bauteils (6) aus einem Metallpulver (3) und/oder Keramikpulver, nach dem das Metallpulver (3) und/oder Keramikpulver mittels eines additiven Verfahrens zu einem Formling (1) verarbeitet wird, und vorzugsweise danach gesintert wird. Das Bauteil (6) wird aus dem, gegebenenfalls gesinterten, Formling (1) durch mechanisches Nachverdichten, insbesondere durch Walzen oder Formpressen, zumindest eines Teils der Formlings-Oberfläche (7) hergestellt.

Fig.1



Z u s a m m e n f a s s u n g

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung eines Bauteils (6) aus einem Metallpulver (3) und/oder Keramikpulver, nach dem das Metallpulver (3) und/oder Keramikpulver mittels eines additiven Verfahrens zu einem Formling (1) verarbeitet wird, und vorzugsweise danach gesintert wird. Das Bauteil (6) wird aus dem, gegebenenfalls gesinterten, Formling (1) durch mechanisches Nachverdichten, insbesondere durch Walzen oder Formpressen, zumindest eines Teils der Formlings-Oberfläche (7) hergestellt.

Fig. 1

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung eines Bauteils aus einem Metallpulver und/oder Keramikpulver, nach dem das Metallpulver und/oder Keramikpulver mittels eines additiven Verfahrens zu einem Formling verarbeitet wird.

Weiter betrifft die Erfindung ein mittels eines additiven Verfahrens hergestelltes Bauteil umfassend einen metallischen Bauteilkörper.

Additive Verfahren an sich sind aus dem Stand der Technik bekannt. Dabei wird ein dreidimensionales Bauteil aus zumindest einem Werkstoff schichtweise aufgebaut. Diese Verfahren haben in den letzten Jahren Einzug in die industrielle Fertigung gehalten, da mit diesen Verfahren ein sehr hoher Individualisierungsgrad erreicht werden kann, ohne dass teure Werkzeugkosten anfallen. Die Prozessführung ist computergesteuert unter Einsatz von CAD-Daten.

Die Problematik dieser Verfahren in der industriellen Anwendung wird in der DE 10 2017 007 178 A1 sehr gut beschrieben. Während in der herkömmlichen Sintertechnik (den pulvermetallurgischen Verfahren) Bauteile durch Anwendung von hohen Drücken mit hoher Qualität hergestellt werden können, ist eine derartige Verdichtung in 3D-Druckern nicht einsetzbar. Die Beigabe von Additiven, die aufschmelzen und so die Poren im Bauteil auffüllen, ist nicht immer anwendbar, da damit Mischwerkstoff, hergestellt werden. Gleiches gilt für das Imprägnieren derartiger Bauteile mit niedrigschmelzenden Metalllegierungen.

Zum Nachverdichten von Bauteilen, die mittels additiver Verfahren hergestellt werden, ist aus dem Stand der Technik das heißisostatische Pressen (HIP) bekannt, wie dies zum Beispiel in der DE 10 2020 107 105 A1 beschrieben wird. Das heiß-

isostatische Pressen ist aber aufwändig, da die Bauteile in einen allseitig verschlossenen Behälter gepresst werden, um isostatische Bedingungen zu ermöglichen. Zudem erfordert das HIP das Vorliegen einer geschlossenen Porosität, was bei sinterbasierten Verfahren (und gröberen Metallpulverpartikeln) oft nicht der Fall ist.

Aus der DE 10 2018 102 616 A1 ist ein Verfahren zur Herstellung von Hartmetallkörpern bekannt, bei dem mit einem laserbasierten additiven Fertigungsverfahren mit einem Energieeintrag mittels Laser an jedem Ort des Energieeintrags zur Realisierung einer Temperatur von 800 °C bis maximal < 2735 °C ein Hartmetallgrünkörper mit einer Dichte von mindestens 30 % und maximal 70 % der theoretischen Dichte des Hartmetallkörpers hergestellt wird, und der nachfolgend einer Sinterung bei Temperaturen bis maximal 1600 °C mittels Vakuumsintern bei Partialdrücken von 100 bis 90000 Pa und/oder Gasdrucksintern und Drücken bis maximal 10 MPa bis zu einer Verdichtung des Hartmetallkörpers von 98 % der theoretischen Dichte unterzogen wird.

Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zu Grunde, eine industriell einfacher durchführbare Möglichkeit zu schaffen, mit der die Gebrauchseigenschaft eines mittels eines additiven Verfahrens hergestelltes Bauteil verbessert werden kann.

Die Aufgabe wird mit dem eingangs genannten Verfahren gelöst, nach dem vorgesehen ist, dass das Bauteil aus dem Formling durch (ausschließlich) mechanisches Nachverdichten, insbesondere durch Walzen oder Formpressen, zumindest eines Teils der Formlings-Oberfläche hergestellt wird. Es wird dabei also kein thermomechanisches Nachverdichten eingesetzt, wie dies beim HIP der Fall ist.

Weiter wird die Aufgabe der Erfindung dadurch gelöst, dass der Bauteilkörper zumindest abschnittsweise eine Oberfläche aufweist, die eine durch mechanisches Nachverdichten, insbesondere durch Walzen oder Formpressen, erzeugte höhere Dichte aufweist als eine unter der Oberfläche ausgebildete Kernschicht.

Von Vorteil ist dabei, dass die Nachverdichtung mit einem Verfahren durchgeführt wird, das ohne große Adaptionen einfach in die Prozesskette zur Herstellung des

Bauteils integriert werden kann. Es sind keine besonderen Behälter erforderlich, in die das Bauteil eingeführt werden muss, bevor die Verdichtung durchgeführt wird, wie dies beim isostatischen Pressen der Fall ist. Damit können Taktzeiten verkürzt werden und ist auch die Automatisierung der Bauteilherstellung in einem höheren Ausmaß möglich. Darüber hinaus ist es möglich, dass nur Bereiche der Bauteiloberfläche verdichtet werden, indem beispielsweise nicht die gesamte Oberfläche des Bauteils gewalzt wird, sodass ein Bauteil mit einem Mix an Eigenschaften einfacher hergestellt werden kann. Zudem kann der Verdichtungsgrad einfacher kontrolliert werden, beispielsweise durch die Kontrolle der Zustellung des Walzwerkzeugs, womit unterschiedliche Dichten in unterschiedlichen Bauteilen einfacher erzeugt werden können.

Nach einer Ausführungsvariante der Erfindung kann vorgesehen sein, dass das Nachverdichten als Kaltverdichtung durchgeführt wird. Einerseits kann damit Energie eingespart werden. Andererseits ist damit bei entsprechender Werkstoffwahl auch eine weitere Verfestigung des Bauteils durch eine Festigkeitserhöhung des Bauteilwerkstoffes erreichbar.

Wie bereits erwähnt, ist es mit der Erfindung möglich, ein Bauteil bereitzustellen, das verdichtete und unverdichtete Oberflächenbereiche aufweist. Gemäß einer weiteren Ausführungsvariante der Erfindung kann auch vorgesehen sein, ein Bauteil bereitzustellen, das unterschiedlich hoch verdichtete Oberflächenbereiche aufweist, womit ein Bauteil hergestellt werden kann, das an den jeweiligen Einsatzzweck angepasste Eigenschaften aufweisen kann. Es ist damit auch eine Senkung der Werkzeugkosten erreichbar, da diese durch eine geringere Verdichtung eine höhere Standzeit aufweisen.

Ebenfalls zur Verlängerung der Standzeit des Werkzeugs kann nach einer anderen Ausführungsvariante der Erfindung vorgesehen sein, dass der Formling mit einer Dichte von maximal 80 % der Volldichte hergestellt wird. Damit sind für die Verdichtung der Oberfläche des Bauteils aufgrund der höheren Porosität geringere Umformkräfte erforderlich, womit auch das Werkzeug einer geringeren Belastung unterliegt, verglichen mit einer Nachverdichtung eines Bauteils, das mit einer Dichte von mehr als 80 % der Volldichte hergestellt worden ist.

Nach einer anderen Ausführungsvariante der Erfindung kann vorgesehen sein, dass das Bauteil nach dem mechanischen Nachverdichten gesintert wird. Es kann damit eine weitere Verbesserung der Bauteileigenschaften erreicht werden. Die durch das Verdichten erzeugten Metallpulverkontakte bilden Sinterbrücken aus und führen zu einer weiteren Verfestigung und Verdichtung der mechanisch verdichteten Bereiche. Zudem kann damit die Versiegelung der Bauteile durch die Randzonenverdichtungen gegenüber Flüssigkeitseintritt verbessert werden.

Gemäß weiteren Ausführungsvarianten der Erfindung kann vorgesehen sein, dass als additives Verfahren ein Strahlverfahren mit Einsatz von elektromagnetischen Strahlung oder ein sinterbasiertes additives Verfahren oder ein strahlbasiertes Pulverbettverfahren, wie insbesondere das Cold Metal Fusion Verfahren, eingesetzt wird, wobei das Strahlverfahren bevorzugt eine strahlbasiertes Pulverbettverfahren, wie insbesondere selektives Lasersintern, ist. Insbesondere bei diesen additiven Verfahren hat sich die genannte zumindest partielle Nachverdichtung der Bauteiloberfläche als vorteilhaft herausgestellt.

Aus den gleichen Gründen wird nach einer weiteren Ausführungsvariante der Erfindung als Rohstoff für die Herstellung des Bauteils bevorzugt ein Sinterstahlpulver, ein Metallspritzgusspulver oder eine Mischungen daraus als Metallpulver eingesetzt. Insbesondere kann mit der Erfindung auch ein wasserverdüstes oder gemahlenes Metallpulver, das üblicherweise für Additive Verfahren aufgrund der Morphologie und Fließfähigkeit nur bedingt einsetzbar sind, verwendet werden.

Nach einer anderen Ausführungsvariante der Erfindung kann vorgesehen werden, dass der Abschnitt der Oberfläche mit der im Vergleich zur Kernschicht höheren Dichte frei von offenen Poren ausgebildet ist. Das Bauteil kann damit in diesem verdichteten Bereich flüssigkeitsdicht bereitgestellt werden. Es kann im Bauteil damit auch eine Restporosität erhalten bleiben, womit das Bauteilgewicht verringert werden kann bzw. das Bauteil auch eine Speicherfähigkeit für Flüssigkeit, wie beispielsweise Schmiermittel, aufweisen kann.

Zum besseren Verständnis der Erfindung wird diese anhand der nachfolgenden Figuren näher erläutert.

Es zeigen jeweils in vereinfachter, schematischer Darstellung:

- Fig. 1 die Herstellung eines Formlings mittels Pulverbettlasersintern, insbesondere Cold Metal Fusion;
- Fig. 2 eine erste Ausführungsvariante einer Nachverdichtung eines mittels eines additiven Verfahrens hergestellten Bauteils;
- Fig. 3 eine zweite Ausführungsvariante einer Nachverdichtung eines mittels eines additiven Verfahrens hergestellten Bauteils;
- Fig. 4 ein Bauteil mit unterschiedlich dichten Oberflächenbereichen.

Einführend sei festgehalten, dass in den unterschiedlich beschriebenen Ausführungsformen gleiche Teile mit gleichen Bezugszeichen bzw. gleichen Bauteilbezeichnungen versehen werden, wobei die in der gesamten Beschreibung enthaltenen Offenbarungen sinngemäß auf gleiche Teile mit gleichen Bezugszeichen bzw. gleichen Bauteilbezeichnungen übertragen werden können. Auch sind die in der Beschreibung gewählten Lageangaben, wie z.B. oben, unten, seitlich usw. auf die unmittelbar beschriebene sowie dargestellte Figur bezogen und sind diese Lageangaben bei einer Lageänderung sinngemäß auf die neue Lage zu übertragen.

Fig. 1 zeigt einen Formling 1 während seiner Herstellung mittels eines additiven Verfahrens. Der Formling 1 weist einen dreidimensionalen Formlingskörper 2 auf.

Die dargestellte Form des Formlings 1 hat keine einschränkende Bedeutung sondern ist nur exemplarisch zu verstehen. Prinzipiell können mit dem Verfahren nach der Erfindung Formlinge 1 mit unterschiedlichsten Formen hergestellt werden, beispielsweise Zahnräder, Schiebemuffen, Kupplungskörper, Synchronringe, Pleuellstangen, Lagerdeckel für eine geteilte Lageranordnungen, Lagerelemente, ein Unwuchtbauteile, Drehschwingungsdämpfer, Filterstrukturen, etc.,

Der Formlingskörper 2 umfasst bevorzugt zumindest einen metallischen Werkstoff und/oder keramischen Werkstoff oder besteht daraus. Es ist aber auch möglich, für den Formlingskörper 2 zumindest teilweise einen anderen Werkstoff, wie beispielsweise einen polymeren Kunststoff, einzusetzen. Es ist weiter möglich, dass

der Formling 1 aus zumindest zwei verschiedenen metallischen Werkstoffen besteht bzw. diese aufweist.

Als metallischer Werkstoff wird vorzugsweise ein wasserverdüstes oder gemahlenes Metallpulver eingesetzt, insbesondere ein Sinterstahlpulver, ein Metallspritzgusspulver oder auch Mischungen eingesetzt. Es können aber auch andere Metallpulver alternativ oder zusätzlich dazu verwendet werden.

Der Formling 1 wird mittels eines additiven Herstellungsverfahrens hergestellt. Beispielsweise kann das Bauteil 1 mit jedem der bisher bekannte additiven Verfahren wie Selective Laser Sintering, Laser Powder Bed Fusion, Electron Beam Powder Bed Fusion, Binder Jetting, Pulverbettlasersintern, insbesondere Cold Metal Fusion, Direct Energy Deposition, Wire Arc Additive Manufacturing, Stereolithography-Verfahren und anderen Verfahren hergestellt werden. Insbesondere werden solche additive Verfahren zur Herstellung des Formlings 1 eingesetzt, bei denen das Rohmaterial nicht vollständig aufgeschmolzen wird, da bei diesen Verfahren mit vollständigen Aufschmelzen des Pulvers bereits Formlinge hergestellt werden, deren Dichte größer als 99 % ist. Gemäß einer bevorzugten Ausführungsvariante des Verfahrens wird als additives Verfahren ein Strahlverfahren mit Einsatz von elektromagnetischer Strahlung oder ein sinterbasiertes additives Verfahren eingesetzt.

Nachdem diese Verfahren an sich bekannt sind, sei (zur Vermeidung von Wiederholungen) zu weiteren Einzelheiten dazu auf den einschlägigen Stand der Technik verwiesen. Exemplarisch ist in Fig. 1 das selektive Lasersintern als Herstellungsverfahren für den Formling 1 schematisch dargestellt. Dabei wird ein Metallpulver 3 bzw. ein dieses Metallpulver 3 enthaltendes Pulver (das neben dem Metallpulver auch ein Bindemittel und/oder zumindest ein weiteres Additiv enthalten kann) schichtweise vollflächig auf eine Plattform 4 aufgetragen. Die Schichten des Formlings 1 werden mittels eines Laserstrahles 5 entsprechend der Formlingsgeometrie schrittweise in das Pulverbett „gesintert“ bzw. die Pulverpartikels durch Erweichen und Erstarren des Bindemittels verbunden. Zwischen den einzelnen Schritten (schichtweisen Aufbringungsschritten) wird die Plattform 4 abgesenkt und eine neue Schicht aufgetragen. Die Energie, die durch den Laserstrahl 5 zugeführt

wird, wird vom Pulver bzw. vom Bindemittel absorbiert und führt zu einem lokal begrenzten Sintern der Pulver-Partikel.

Das laserbasierte Druckverfahren ist im besonderen Fall der Verwendung von Metallpulver enthaltenden Kunststoffpulverpartikel kein Lasersintern, sondern ein Laserschmelzverfahren (Cold Metal Fusion Verfahren), da die Kunststoffmatrix unter Einwirkung der Laserenergie schmilzt und zu fließen beginnt und nicht versintert. Die Kunststoffmatrix wird anschließend beim Entbindern wieder entfernt.

Weitere Verfahren sind Binder Jetting oder auch Lithography based Metal Manufacturing bzw. generell alle additiven Verfahren, mit denen metallische Grünteile hergestellt werden können. Mittels Schüttsinterverfahren hergestellte rein metallische oder metallisch/keramische Grünkörper können nach dem Sintern bzw. Entbindern und Sintern verdichtet werden.

Aus dem Formling 1 wird in weiterer Folge ein Bauteil 6 hergestellt, indem zumindest ein Teil bzw. Abschnitt einer Formlings-Oberfläche 7 des Formlings 1 mechanisch durch Walzen oder Formpressen nachverdichtet wird, vorzugsweise nachdem der Formling 1 vorher gesintert wurde. Exemplarisch ist dazu in Fig. 2 ein Zahnrad als Bauteil 6 dargestellt. Generell werden für die Nachverdichtung mittels Walzen rotationssymmetrische Bauteile 6 bevorzugt.

Es sei an dieser Stelle erwähnt, dass unter dem Begriff „Nachverdichten“ verstanden wird, dass diese Verdichtung nach der Herstellung des Formlings 1 erfolgt. Der Begriff bedeutet im Sinne der Erfindung nicht zwingend, dass vor dieser Nachverdichtung bereits eine Verdichtung des Formlings 1 stattgefunden hat. Eine mehrschrittige Verdichtung zumindest eines Teils oder Abschnitts der Formlings-Oberfläche 7 ist jedoch im Rahmen der Erfindung möglich.

Beim Nachverdichten Formlings-Oberfläche 7 mittels Walzen wird ein Walzwerkzeug mit zumindest einem Formwalzrad eingesetzt, beispielsweise einem Zahnrad 8, wenn wie in Fig. 2 dargestellt die Verzahnung des Formlings 1 nachverdichtet

werden soll. Das Walzwerkzeug kann aber auch eine andere Geometrie aufweisen, die entsprechend an die Geometrie bzw. Kontur des Formlings 1 bzw. des Bauteils 6 angepasst ist.

Für die Nachverdichtung der Formlings-Oberfläche 7 wird bevorzugt das Walzwerkzeug zugestellt, also gegen den Formling 1 gedrückt. Es kann aber auch der Formling 1 an das Walzwerkzeug zugestellt werden.

Für das Nachverdichten der Formlings-Oberfläche 7 kann entweder der Formling 1 oder vorzugsweise das Walzwerkzeug oder der Formling 1 und das Walzwerkzeug angetrieben sein. Durch den Antrieb werden das Walzwerkzeug und der Formling in eine gegenläufige Drehbewegung versetzt, sodass die entsprechende Oberfläche des Walzwerkzeugs an der Formlings-Oberfläche 1 abgleitet. Je nach Druck, mit dem das Walzwerkzeug und der Formling 1 aneinandergespreßt werden, kann eine mehr oder weniger hohe Nachverdichtung der Formlings-Oberfläche 7 erreicht werden.

Die Relativbewegung von Formling 1 und Walzwerkzeug zueinander kann gleichförmig, mit oder ohne Drehrichtungsumkehr, alternierend, etc. sein.

Es ist weiter möglich, dass der Abstand zwischen Walzwerkzeug und Formlings-Oberfläche 7 während des Nachverdichtens verringert wird, um damit eine höhere Dichte im Bereich der Formlings-Oberfläche 7 zu erreichen. Diese Verringerung kann schrittweise oder kontinuierlich durchgeführt werden.

Obwohl in Fig. 2 nur ein Walzwerkzeug dargestellt ist, besteht im Rahmen der Erfindung die Möglichkeit, mehr als ein Walzwerkzeug gleichzeitig oder nacheinander zu verwenden, um die gewünschte Dichte der Formlings-Oberfläche 7 zu erreichen. Beispielsweise können zwei oder drei Walzwerkzeuge eingesetzt werden.

Das Walzwerkzeug kann einen Außendurchmesser aufweisen, der größer ist als jener des Formlings 1. Vorzugsweise weist das Walzwerkzeug aber einen kleineren Außendurchmesser auf als der Formling 1.

Nur der Vollständigkeit halber sei erwähnt, dass sowohl der Formling 1 als auch das Walzwerkzeug für die Nachverdichtung entsprechend auf einer Achse bzw. Welle angeordnet bzw. aufgespannt sind.

Mit dieser Ausführungsvariante der Nachverdichtung kann eine Dichte zumindest im Bereich der Formlings-Oberfläche 7 erreicht werden, die zwischen 95 % und 100 % der Volldichte des jeweiligen Werkstoffes entspricht. Diese Dichte kann in Richtung auf die Kernschichten des Bauteils 6, also nach innen, abnehmen, so dass die Kernschichten des Bauteils 6 eine geringere Dichte aufweisen als dessen Oberflächenschicht. Die Oberflächenschicht kann eine Schichtdicke zwischen 1 μm und 1500 μm , insbesondere zwischen 1 μm und 1000 μm , aufweisen, gemessen von der Oberfläche des Bauteils 6 aus. Innerhalb dieser nachverdichteten Oberflächenschicht ist die Dichte des Bauteils 6 vorzugsweise nicht kleiner als 98 % der Volldichte des eingesetzten Werkstoffes. Im Falle der Ausbildung eines Dichtegradienten in der verdichteten Oberflächenschicht bezieht sich dieser Wert auf die Maximaldichte an der Oberfläche bzw. der daran anschließenden Teilschicht der Oberflächenschicht, wobei die Maximaldichte ausgehend von der Oberfläche des Bauteils 6 ins Bauteilinnere kleiner wird.

Die Ausführungen zur Maximaldichte können im Rahmen der Erfindung generell gelten, unabhängig vom angewandten Verdichtungsverfahren.

In Fig. 3 ist eine Ausführungsvariante eines Werkzeugs für die Nachverdichtung dargestellt. Die Nachverdichtung der Formlings-Oberfläche 7 des Formlings 1 erfolgt dabei durch Formpressen.

Unter dem Begriff „Formpressen“ wird im Sinne der Erfindung verstanden, dass der Formling 1 durch oder in ein Matrizenwerkzeug 9 gedrückt wird.

Das Matrizenwerkzeug 9 weist in der dargestellten Ausführungsform drei Verdichtungsstufen 10 auf. Eine Verdichtungsstufe 10 ist dadurch ausgezeichnet, dass ihr Innendurchmesser 11 kleiner ist, als ein Außendurchmesser 12 des Formlings 1.

Der Formling 1 wird mittels eines nicht weiter dargestellten Oberstempels in das Matrizenwerkzeug 9 hinein und durch die einzelnen Verdichtungsstufen 10 gedrückt. Dabei kann der Formling 1 gegebenenfalls auch von einem nicht weiter dargestellten Unterstempel gestützt werden, sodass also der Formling 1 zwischen dem Oberstempel und dem Unterstempel angeordnet ist.

Nachdem der Innendurchmesser 11 einer Verdichtungsstufe 10 kleiner ist als der Außendurchmesser 12 des Formlings 1 wird dieser beim Durchdrücken oder beim Hineindrücken in die Verdichtungsstufe 10 zusammengedrückt, womit wie beim Walzen die Porosität des Formlings 1 verringert und die Formlings-Oberfläche 7 verdichtet wird.

Jede nachfolgende Verdichtungsstufe 10 hat einen kleineren Innendurchmesser 11 als die unmittelbar vorausgehende Verdichtungsstufe 10, womit also beim Durchbewegen des Formlings 1 durch das Matrizenwerkzeug die Formlings-Oberfläche 7 schrittweise immer weiter verdichtet wird.

Die Übergänge zwischen den einzelnen Verdichtungsstufen 10 können scharfkantig oder gefast bzw. gerundet ausgeführt sein.

Es ist weiter möglich, dass zwischen den einzelnen Verdichtungsstufen 10 ein Entspannungsabschnitt mit größerem Innendurchmesser als der Innendurchmesser 11 der vorausgehenden Verdichtungsstufe 10 angeordnet ist.

Die Entformung des fertig nachverdichteten Bauteils 6 kann nach unten oder infolge Bewegungskehr nach oben erfolgen.

Es ist möglich, dass das Matrizenwerkzeug nur eine oder zwei oder mehr als drei, beispielsweise vier, fünf, sechs, sieben, etc., Verdichtungsstufen 10 aufweist. Bei mehr als einer Verdichtungsstufe 10 können diese auch auf mehrere voneinander getrennte Matrizenwerkzeuge 9 aufgeteilt sein, sodass der Formling 1 von einem Matrizenwerkzeug 9 in ein nachfolgendes Matrizenwerkzeug 9 überführt werden muss. Die einteilige Ausführung des Matrizenwerkzeugs 9 mit mehreren Verdichtungsstufen 10 mit kleiner werdendem Innendurchmesser 11 ist jedoch die bevorzugte Ausführung.

Nur der Vollständigkeit halber sei erwähnt, dass die Innenkontur des Matrizenwerkzeug 9, also die innere Querschnittsform, an die äußere Kontur des Formlings 1 und des Bauteils 6 angepasst ist, sodass abgesehen von der Nachverdichtung keine weitere Umformung des Formlings 1 im Matrizenwerkzeug 9 erfolgt.

Hinsichtlich des Ausmaßes der Nachverdichtung mit dem Matrizenwerkzeug 9 sei auf voranstehende Ausführungen zur Erhöhung der Dichte mittels dem Walzwerkzeug verwiesen.

Mit dem Verfahren wird also ein Bauteil 6 hergestellt, dass eine bezogen auf die Dichte des Formlings 1 nach dessen Herstellung mit dem additiven Verfahren verdichtete Oberfläche aufweist. Dabei kann die gesamte Oberfläche bzw. Mantelfläche zwischen den axialen Stirnflächen oder die gesamte Verzahnung des Bauteils 1 nachverdichtet sein.

Gemäß einer Ausführungsvariante der Erfindung kann aber auch vorgesehen sein, dass nur ein Bereich bzw. Abschnitt dieser gesamten Oberfläche bzw. Mantelfläche zwischen den axialen Stirnflächen oder der gesamte Verzahnung des Bauteils 1 nachverdichtet wird. Dazu kann beispielsweise ein Walzwerkzeug eingesetzt werden, dessen Spur schmaler ist, als die Breite des Bauteils 6 in axialer Richtung. Es kann damit beispielsweise ein Bauteil 6 hergestellt werden, wie dies ausschnittsweise in Fig. 4 dargestellt ist. Dieses Bauteil 6 weist einen ersten Abschnitt 13 auf, der nachverdichtet wurde, und einen zweiten Abschnitt 14 der die unverdichtete Formlings-Oberfläche 7 aufweist. Erkennbar kann dies dadurch sein, dass im Abschnitt 13 an der Oberfläche des Bauteils 6 keine Poren 15 mehr vorhanden sind, im Abschnitt 14 jedoch die Poren 15 nach wie vor ausgebildet sind. Das Bauteil 6 kann also an der Oberfläche unterschiedliche Porositäten aufweisen oder in zumindest einem Abschnitt 13 auch keine Porosität mehr haben.

Es ist auch möglich, dass der Abschnitt 14 zwar nachverdichtet wurde, aber die Verdichtung hier weniger stark durchgeführt wurde, sodass zwar noch Poren 15 vorhanden sind, die jedoch kleiner sind als die ursprünglichen Poren des Formlings 1 oder deren Anzahl reduziert wurde, wiederum bezogen auf den Formling 1 nach dessen additiver Herstellung.

Sofern die Nachverdichtung mittels Walzen durchgeführt wird, kann sich der verdichtete Abschnitt 13 vollumfänglich erstrecken. Es besteht jedoch auch mit bei dem Matrizenwerkzeug 9 die Möglichkeit von unverdichteten oder weniger verdichten Abschnitten, die jedoch dann in Axialrichtung (in der Pressrichtung) verlaufen. Dazu können im Matrizenwerkzeug 9 in den Verdichtungsstufen 10 längsverlaufende Ausnehmungen vorgesehen werden, die beim Verdichten nicht zur Anlage an den Formling 1 gelangen oder in denen nur ein geringerer Druck auf den Formling 1 ausgeübt wird, also im restlichen Bereich der Verdichtungsstufe(n) 10. Diese Ausführung kann auch nur eine oder eine Bezogen auf die Gesamtanzahl an Verdichtungsstufen 10 geringere Anzahl an Verdichtungsstufen 10 betreffen.

Es ist also mit dem Verfahren möglich Bauteile 6 herzustellen, die mittels eines additiven Verfahrens hergestellt worden sind und die eine über die gesamte Oberfläche bzw. Mantelfläche zwischen axialen Stirnflächen eine gleichmäßig nachverdichtete Oberfläche aufweisen, oder die Abschnitte 13, 14 aufweisen, die eine unterschiedliche Dichte aufweisen.

Das Bauteil 6 kann gegebenenfalls vollverdichtet werden, sodass auch die Kernschichten keine Poren 15 mehr aufweisen. Alternativ dazu kann vorgesehen sein, dass in den Kernschichten nach wie vor Poren 15 vorhanden sind, wie dies in Fig. 4 dargestellt ist, die Anzahl oder Größe der Poren 15 jedoch gegebenenfalls durch das Nachverdichten des Formlings 1 verändert wurde. Die Kernschichten können Bei Bedarf aber auch in der ursprünglich hergestellten Form des Formlings 1 belassen werden.

Die Nachverdichtung kann gemäß einer Ausführungsvarianten des Verfahrens als Kaltverdichtung durchgeführt werden. Damit ist gemeint, dass keine Energie zugeführt wird, um den Formling 1 für das Nachverdichten zu erwärmen. Der Formling 1 kann jedoch eine von der Raumtemperatur abweichende Temperatur haben, die aufgrund von Reibung im Prozess selbst entsteht.

Im Rahmen der Erfindung ist es aber auch möglich, die Nachverdichtung bei einer höheren Temperatur des Formlings 1 durchzuführen, beispielsweise bei einer Temperatur zwischen 40 °C und 300 °C, insbesondere zwischen 40 und 100°C für

sinterbasierte Formlinge 1 im Grünzustand bzw. bei 80-300°C für metallische Formlinge 1, wofür der Formling 1 entsprechend erwärmt oder vorerwärmt werden kann. Gegebenenfalls kann alternativ oder zusätzlich dazu auch das Nachverdichtungswerkzeug erwärmt werden.

Gemäß einer weiteren Ausführungsvariante kann vorgesehen werden, dass der Formling 1 bewusst mit einer höheren Porosität hergestellt wird. Der Formling 1 kann dazu mit einer Dichte von maximal 80 %, insbesondere maximal 70 %, vorzugsweise maximal 60 %, beispielsweise zwischen 40 % und 50 %, der Volldichte des Werkstoffes hergestellt werden.

Unter Volldichte ist dabei die Dichte des Werkstoffes bei einer Porosität von Null zu verstehen, also beispielsweise die gegossene Form des Werkstoffes.

Die erhöhte Porosität kann durch entsprechende Auslegung der Prozessparameter, insbesondere der CAD-Daten, erhalten werden.

Nach einer weiteren Ausführungsvariante des Verfahrens kann vorgesehen sein, dass das Bauteil 6 nach dem Nachverdichten gesintert wird (insbesondere ein zweites Mal gesintert wird). Das Sintern kann dazu wie aus der Pulvermetallurgie bekannt in einem Ofen, beispielsweise einem Durchlaufofen, erfolgen, also ohne Laser. Die Temperatur bei diesem Sintern ist vorzugsweise geringer als die Schmelztemperatur des Werkstoffes. Beispielsweise kann die Temperatur zwischen 900 °C und 1300 °C oder bei Hartmetallen bis 2000 °C betragen. Generell kann die Sintertemperatur zwischen 80 % und 90 % der Schmelztemperatur des Werkstoffes betragen.

Mit dem Verfahren nach der Erfindung ist es möglich zu pulvermetallurgisch hergestellten Bauteilen ähnliche Bauteile 6 herzustellen, allerdings unter Anwendung eines additiven Verfahrens.

Es ist weiter mit dem Verfahren möglich, nicht nur eine Nachverdichtung des Formlings 1 durchzuführen, sondern auch dessen Formlings-Oberfläche 7 zu glätten bzw. der Rauheit in Bezug auf die Rauheit nach der Herstellung des Formlings 1 zu reduzieren.

Die Ausführungsbeispiele zeigen bzw. beschreiben mögliche Ausführungsvarianten, wobei an dieser Stelle bemerkt sei, dass auch Kombinationen der einzelnen Ausführungsvarianten untereinander möglich sind.

Der Ordnung halber sei abschließend darauf hingewiesen, dass zum besseren Verständnis des Aufbaus Elemente in den Figuren nicht notwendigerweise maßstäblich dargestellt sind.

Bezugszeichenliste

- | | |
|----|----------------------|
| 1 | Formling |
| 2 | Formlingskörper |
| 3 | Metallpulver |
| 4 | Plattform |
| 5 | Laserstrahl |
| 6 | Bauteil |
| 7 | Formlings-Oberfläche |
| 8 | Zahnrad |
| 9 | Matrizenwerkzeug |
| 10 | Verdichtungsstufe |
| 11 | Innendurchmesser |
| 12 | Außendurchmesser |
| 13 | Abschnitt |
| 14 | Abschnitt |
| 15 | Pore |

P a t e n t a n s p r ü c h e

1. Verfahren zur Herstellung eines Bauteils (6) aus einem Metallpulver (3) und/oder Keramikpulver und gegebenenfalls weiteren Additiven, nach dem das Metallpulver (3) und/oder Keramikpulver mittels eines additiven Verfahrens zu einem Formling (1) verarbeitet wird, und vorzugsweise danach gesintert wird, dadurch gekennzeichnet, dass das Bauteil (6) aus dem, gegebenenfalls gesinterten, Formling (1) durch mechanisches Nachverdichten, insbesondere durch Walzen oder Formpressen, zumindest eines Teils der Formlings-Oberfläche (7) hergestellt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Nachverdichten als Kaltverdichtung durchgeführt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass unterschiedlich hoch verdichtete Oberflächenbereiche hergestellt werden.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass der Formling (1) mit einer Dichte von maximal 80 % der Volldichte hergestellt wird.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass das Bauteil (6) nach dem mechanischen Nachverdichten gesintert, gegebenenfalls ein zweites Mal gesintert, wird.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass als additives Verfahren ein Strahlverfahren mit Einsatz von elektromagnetischen Strahlung oder ein sinterbasiertes additives Verfahren oder ein strahlbasiertes Pulverbettverfahren, wie insbesondere das Cold Metal Fusion Verfahren, eingesetzt wird.

7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass als Strahlverfahren selektives Lasersintern eingesetzt wird.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass als Metallpulver ein Sinterstahlpulver, ein Metallspritzgusspulver oder eine Mischung daraus verwendet wird.
9. Mittels eines additiven Verfahrens hergestelltes Bauteil (6) umfassend einen metallischen Bauteilkörper, dadurch gekennzeichnet, dass der Bauteilkörper zumindest abschnittsweise eine Oberfläche aufweist, die eine durch mechanisches Nachverdichten, insbesondere durch Walzen oder Formpressen, erzeugte, höhere Dichte aufweist als eine unter der Oberfläche ausgebildete Kernschicht.
10. Bauteil (6) nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass der Abschnitt der Oberfläche mit der im Vergleich zur Kernschicht höheren Dichte frei von offenen Poren (15) ausgebildet ist.

Fig.1

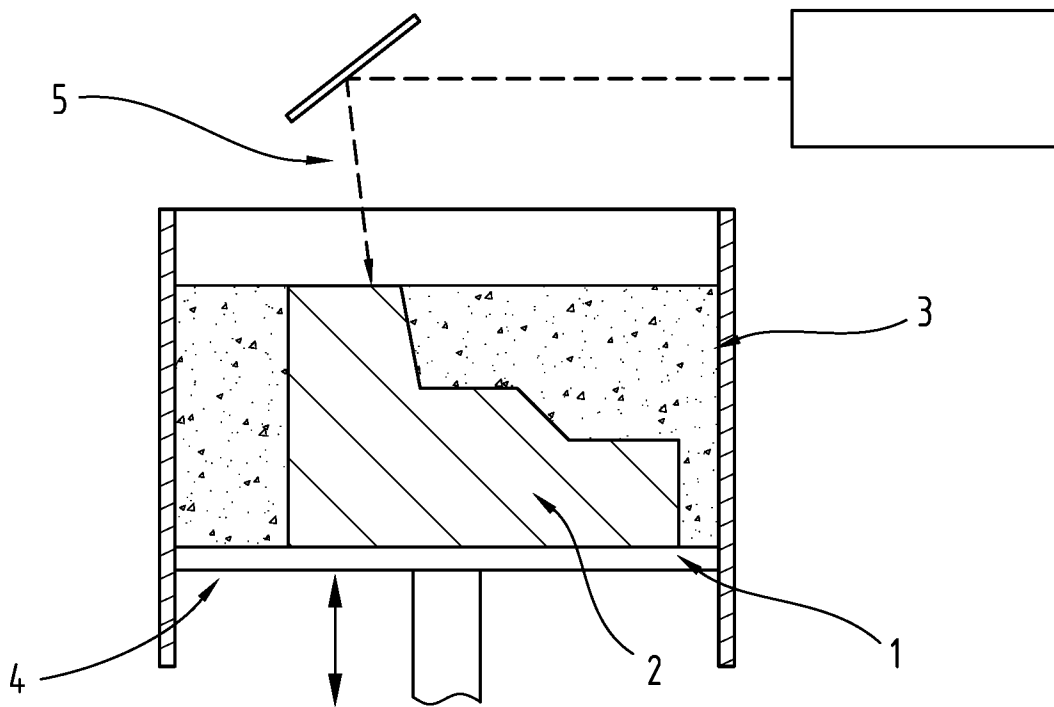


Fig.2

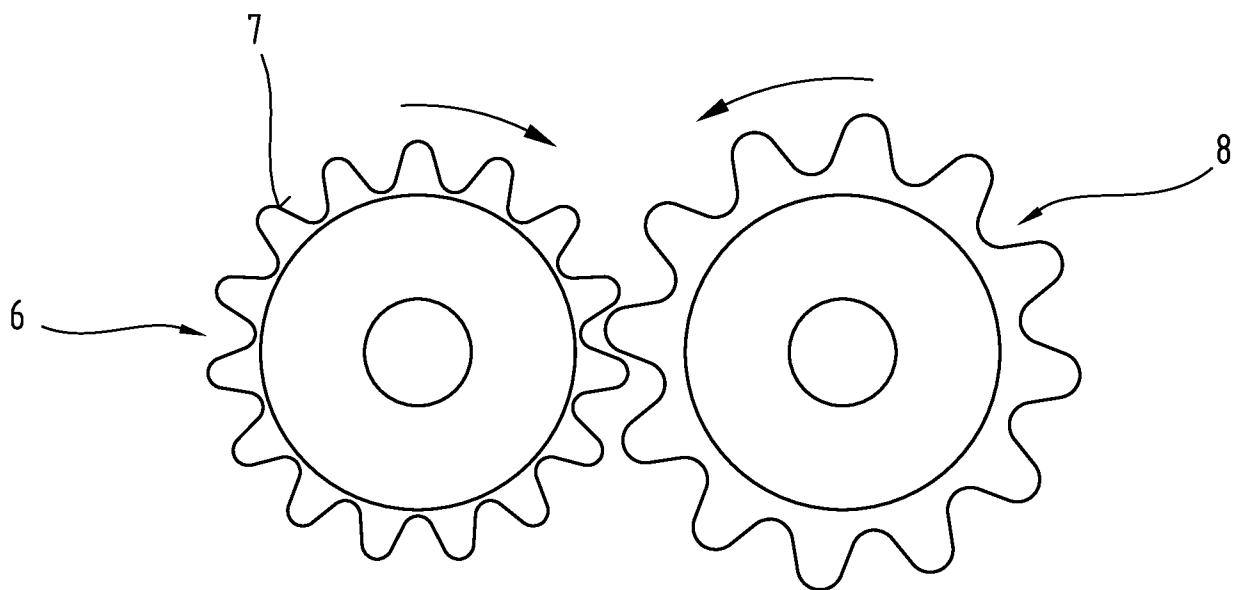


Fig.3

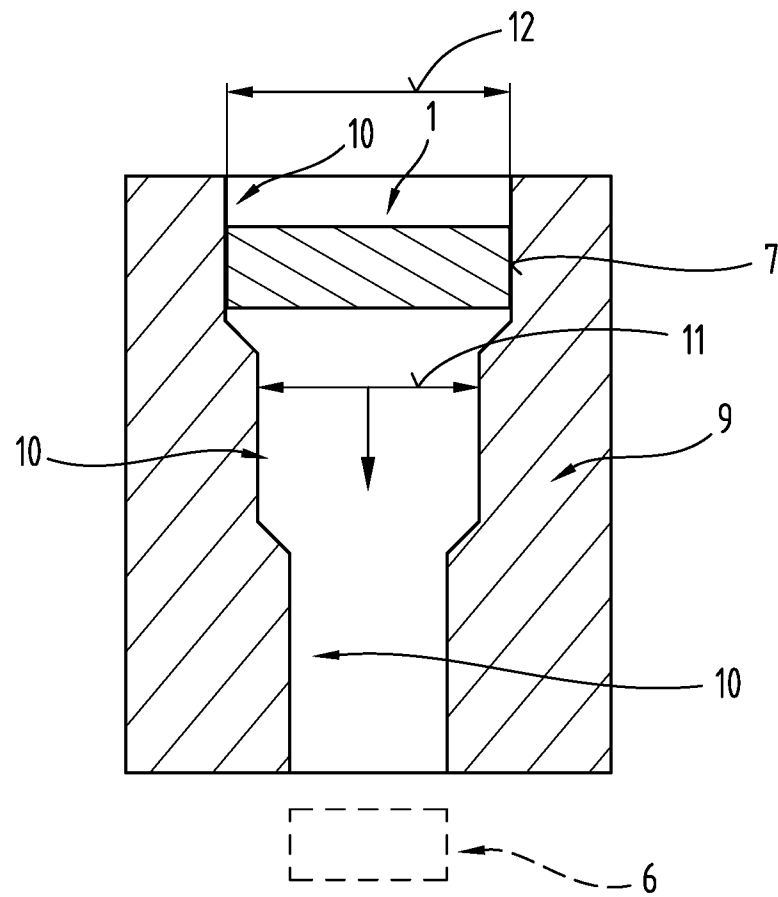
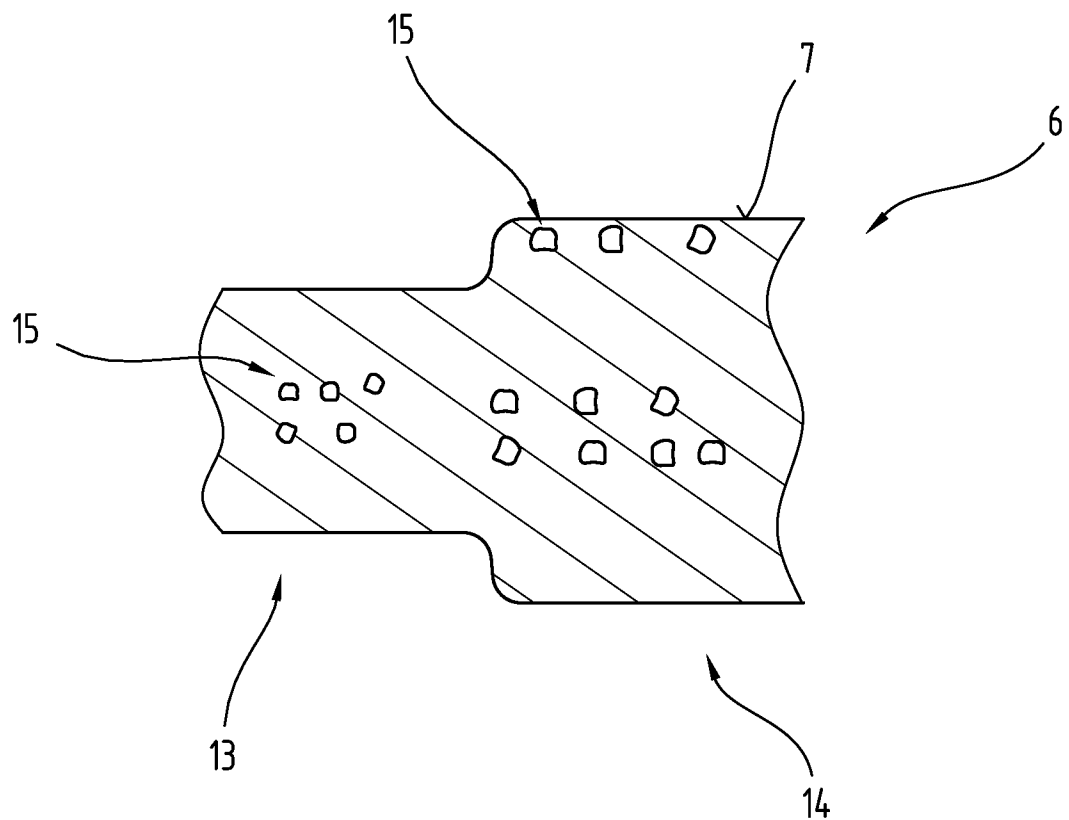


Fig.4



Klassifikation des Anmeldungsgegenstands gemäß IPC:
B22F 3/105 (2006.01); **B22F 3/16** (2006.01); **B33Y 10/00** (2015.01); **B33Y 40/20** (2020.01); **B22F 7/02** (2006.01)

Klassifikation des Anmeldungsgegenstands gemäß CPC:
B22F 3/105 (2017.08); **B22F 3/162** (2013.01); **B33Y 10/00** (2015.01); **B33Y 40/20** (2020.01); **B22F 7/02** (2013.01)

Recherchierter Prüfstoff (Klassifikation):

B22F, B33Y

Konsultierte Online-Datenbank:

EPDOC, WPI, Volltext-Patentdatenbanken EN und DE

Dieser Recherchenbericht wurde zu den am 11.11.2021 eingereichten Ansprüchen 1 - 10 erstellt.

Kategorie ^{*)}	Bezeichnung der Veröffentlichung: Ländercode, Veröffentlichungsnummer, Dokumentart (Anmelder), Veröffentlichungsdatum, Textstelle oder Figur soweit erforderlich	Betreffend Anspruch
X	DE 102015201873 A1 (GKN SINTER METALS ENGINEERING GMBH [DE]) 18. August 2016 (18.08.2016) Beschreibung, [0004], [0006], [0008], [0011] - [0013], [0039]; Ansprüche 1, 22	1 - 4, 6, 8 - 10
X	DE 102021003914 A1 (DAIMLER AG [DE]) 16. September 2021 (16.09.2021) Beschreibung, [0001], [0006] - [0008], [0012], [0016], [0019]; Ansprüche 1, 4, 5	1, 4, 6 - 10
X	US 2018326493 A1 (GALLAGHER MICHELLE B [US], JENNIFER SCHNEIDER M [US], BERG MARK E [US]) 15. November 2018 (15.11.2018) Beschreibung, [0002], [0005], [0006], [0009], [0011], [0039] - [0041], [0046]; Ansprüche 1, 4, 8, 13	1, 4, 6 - 10
Datum der Beendigung der Recherche: 25.05.2022 Seite 1 von 1 Prüfer(in): AIGNER Martin		

^{*)} **Kategorien** der angeführten Dokumente:

- X** Veröffentlichung **von besonderer Bedeutung**: der Anmeldungsgegenstand kann allein aufgrund dieser Druckschrift nicht als neu bzw. auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden.
- Y** Veröffentlichung **von Bedeutung**: der Anmeldungsgegenstand kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren weiteren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese **Verbindung für einen Fachmann naheliegend** ist.

- A** Veröffentlichung, die den allgemeinen **Stand der Technik** definiert.
- P** Dokument, das von **Bedeutung** ist (Kategorien X oder Y), jedoch **nach dem Prioritätstag** der Anmeldung veröffentlicht wurde.
- E** Dokument, das **von besonderer Bedeutung** ist (Kategorie X), aus dem ein „**älteres Recht**“ hervorgehen könnte (früheres Anmeldedatum, jedoch nachveröffentlicht, Schutz ist in Österreich möglich, würde Neuheit in Frage stellen).
- &** Veröffentlichung, die Mitglied der selben **Patentfamilie** ist.

P a t e n t a n s p r ü c h e

1. Verfahren zur Herstellung eines Bauteils (6) aus einem Metallpulver (3) und/oder Keramikpulver und gegebenenfalls weiteren Additiven, nach dem das Metallpulver (3) und/oder Keramikpulver mittels eines additiven Verfahrens zu einem Formling (1) verarbeitet wird, und vorzugsweise danach gesintert wird, dadurch gekennzeichnet, dass das Bauteil (6) aus dem, gegebenenfalls gesinterten, Formling (1) durch mechanisches, als Kaltverdichtung durchgeführtes Nachverdichten durch Walzen oder Formpressen, bei dem der Formling (1) durch oder in ein Matrizenwerkzeug (9) gedrückt wird, zumindest eines Teils der Formlings-Oberfläche (7) hergestellt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass unterschiedlich hoch verdichtete Oberflächenbereiche hergestellt werden.
3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Formling (1) mit einer Dichte von maximal 80 % der Volldichte hergestellt wird.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass das Bauteil (6) nach dem mechanischen Nachverdichten gesintert, gegebenenfalls ein zweites Mal gesintert, wird.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass als additives Verfahren ein Strahlverfahren mit Einsatz von elektromagnetischen Strahlung oder ein sinterbasiertes additives Verfahren oder ein strahlbasiertes Pulverbettverfahren, wie insbesondere das Cold Metal Fusion Verfahren, eingesetzt wird.
6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass als Strahlverfahren selektives Lasersintern eingesetzt wird.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass als Metallpulver ein Sinterstahlpulver, ein Metallspritzgusspulver oder eine Mischung daraus verwendet wird.
8. Mittels eines additiven Verfahrens hergestelltes Bauteil (6) umfassend einen metallischen Bauteilkörper, dadurch gekennzeichnet, dass der Bauteilkörper zumindest abschnittsweise eine Oberfläche aufweist, die eine durch mechanisches, als Kaltverdichtung durchgeführtes Nachverdichten durch Walzen oder Formpressen, bei dem der Formling (1) durch oder in ein Matrizenwerkzeug (9) gedrückt worden ist, erzeugte, höhere Dichte aufweist als eine unter der Oberfläche ausgebildete Kernschicht.
9. Bauteil (6) nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass der Abschnitt der Oberfläche mit der im Vergleich zur Kernschicht höheren Dichte frei von offenen Poren (15) ausgebildet ist.