

(12) **Österreichische Patentanmeldung**

(21) Anmeldenummer: A 50926/2021
(22) Anmeldetag: 18.11.2021
(43) Veröffentlicht am: 15.06.2023

(51) Int. Cl.: **B22F 1/103** (2022.01)
B33Y 10/00 (2015.01)
B22F 7/00 (2006.01)
B33Y 40/20 (2020.01)
C23C 8/20 (2006.01)
C23C 8/44 (2006.01)
C23C 8/64 (2006.01)
C23C 16/26 (2006.01)
C23C 16/36 (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:
US 2018154437 A1
US 2021237156 A1

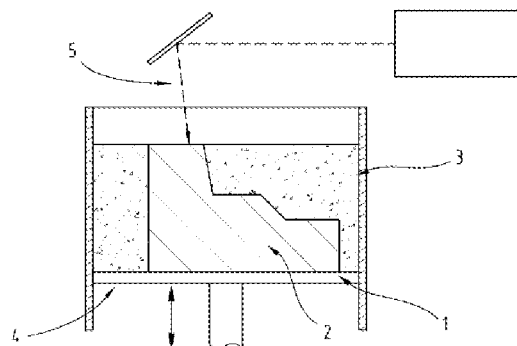
(71) Patentanmelder:
Miba Sinter Austria GmbH
4663 Laakirchen (AT)

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

(54) **Verfahren zur Herstellung eines Bauteils**

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung eines Bauteils (6) mittels eines additiven Verfahrens umfassend die Schritte: Bereitstellen eines Metallpulvers; Herstellung einer Werkstoffzusammensetzung (3) durch Vermengen des Metallpulvers mit zumindest einem Bindemittel und gegebenenfalls zumindest einem weiteren Additiv; schichtweise Herstellung eines Formteils aus der Werkstoffzusammensetzung (3) mittels des additiven Verfahrens. Das Bauteil (6) wird zumindest in oberflächennahen Bereichen bis zu einer Schichtdicke (7) von 1 mm mit einem Gehalt an Kohlenstoff hergestellt, der zwischen 0,1 Gew.-% und 1,5 Gew.-% beträgt.

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) mittels eines additiven Verfahrens umfassend die Schritte: Bereitstellen eines Metallpulvers; Herstellung einer Werkstoffzusammensetzung (3) durch Vermengen des Metallpulvers mit zumindest einem Bindemittel und gegebenenfalls zumindest einem weiteren Additiv; schichtweise Herstellung eines Formteils aus der Werkstoffzusammensetzung (3) mittels des additiven Verfahrens. Das Bauteil (6) wird zumindest in oberflächennahen Bereichen bis zu einer Schichtdicke (7) von 1 mm mit einem Gehalt an Kohlenstoff hergestellt, der zwischen 0,1 Gew.-% und 1,5 Gew.-% beträgt.

Fig. 1

Die Erfindung betrifft Verfahren zur Herstellung eines Bauteils mittels eines additiven Verfahrens umfassend die Schritte: Bereitstellen eines Metallpulvers, Herstellung einer Werkstoffzusammensetzung durch Vermengen des Metallpulvers mit zumindest einem Bindemittel und gegebenenfalls zumindest einem weiteren Additiv, schichtweise Herstellung eines Formteils aus der Werkstoffzusammensetzung mittels des additiven Verfahrens, vorzugsweise Sintern des Formteils zu dem Bauteil.

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

Die Herstellung von Bauteilen aus einem Metallpulver mittels eines additiven Verfahrens und anschließend Sintern ist im Stand der Technik bereits beschrieben worden. So beschreibt die DE10 2017 207 210 A1 ein Verfahren zur additiven Herstellung eines Bauteils mit den Schritten: Bereitstellen von Substratteilchen und einem Binder, wobei die Substratteilchen ausgewählt sind aus der Gruppe metallische Substratteilchen, glasartige Substratteilchen und keramische Substratteilchen, und wobei der Binder ein thermoplastisches Polymer, und mindestens ein Additiv umfasst, Erzeugen eines Formteils derart, dass eine Schicht aus Substratteilchen und Binder erzeugt wird und zur Herstellung einer Formteilschicht der Binder selektiv mittels einer elektromagnetischen Strahlung aufgeschmolzen wird, und mindestens eine weitere Schicht aus Substratteilchen und Binder erzeugt wird und zur Herstellung mindestens einer weiteren Formteilschicht der Binder selektiv mittels der elektromagnetischen Strahlung aufgeschmolzen wird, Entnehmen des Formteils aus den erzeugten Schichten, Entfernen des Binders aus dem Formteil, und Sintern des Formteils zu dem Bauteil.

Pulvermetallurgisch hergestellte Bauteile haben u.a. den Vorteil, dass bei entsprechender Pulverzusammensetzung, insbesondere durch den Einsatz von Kohlenstoff in Sinterstahlpulvern, die derart hergestellten Bauteile härtbar sind.

In additiven Verfahren, wie insbesondere dem LPBF-Verfahren (Laser Powder Bed Fusion) werden üblicherweise keine hochkohlenstoffhaltigen Materialien eingesetzt, da diese aufgrund des Kohlenstoffgehaltes nur schwer schweißbar sind und es bei der Erstarrung des geschmolzenen Materials zu einer Rissbildung kommen kann.

Es ist die Aufgabe der Erfindung, die Eigenschaften eines mittels eines additiven Verfahrens hergestellten Bauteils an jene von pulvermetallurgisch hergestellten Bauteilen zumindest teilweise anzugleichen.

Die Aufgabe der Erfindung wird bei dem eingangs genannten Verfahren dadurch gelöst, dass das Bauteil zumindest in oberflächennahen Bereichen bis zu einer Schichtdicke von 1 mm mit einem Gehalt an Kohlenstoff hergestellt wird, der zwischen 0,1 Gew.-% und 1,5 Gew.-% beträgt.

Weiter wird die Aufgabe der Erfindung mit dem voranstehend genannten Bauteil gelöst, bei dem der Bauteilkörper zumindest in oberflächennahen Bereichen bis zu einer Schichtdicke von 1 mm einen Gehalt an Kohlenstoff zwischen 0,1 Gew.-% und 1,5 Gew.-% aufweist.

Von Vorteil ist dabei, dass mit der Zurverfügungstellung eines Kohlenstoffgehalts in einem Bauteil, das mit einem additiven Verfahren hergestellt worden ist, die Möglichkeit der nachträglichen Härtung geschaffen wird. Somit können Prototypen, Kleinst- und Kleinserien von Bauteilen hergestellt werden, die mit Bauteilen, die mit pulvermetallurgischen Methoden hergestellt wurden, vergleichbare Eigenschaften aufweisen, wobei aber die Vorteile der additiven Verfahren in der Herstellung der Bauteile nach wie vor genutzt werden können.

Der Kohlenstoff kann auf unterschiedliche Arten in das Bauteil eingebracht werden.

So kann der Kohlenstoff gemäß einer ersten Ausführungsvariante der Erfindung bereits dem Metallpulver zugesetzt werden. Dies hat den Vorteil, dass der Kohlenstoff bereits sehr nahe an dem oder den Reaktionspartner(n) in das System eingebracht wird.

Alternativ oder zusätzlich dazu ist es entsprechend einer weiteren Ausführungsvariante der Erfindung möglich, dass der Kohlenstoff der Werkstoffzusammensetzung zugesetzt wird. Dies hat den Vorteil, dass kommerziell erhältliche Metallpulver einfacher verarbeitbar sind.

Alternativ oder zusätzlich ist es entsprechend einer anderen Ausführungsvariante der Erfindung möglich, dass der Kohlenstoff aus dem Bindemittel selbst und/oder dem weiteren Additiv, insbesondere Weichmacher, mittels Pyrolyse hergestellt wird. Dies hat den Vorteil, dass eine bereits im System befindliche Kohlenstoffquelle genutzt wird. Das Bindemittel kann somit noch eine weitere Aufgabe in der Herstellung des Bauteils übernehmen.

Alternativ oder zusätzlich dazu ist es entsprechend einer weiteren Ausführungsvariante der Erfindung möglich, dass der Kohlenstoff während des Sinterns aus einer aufkohlenden Sinteratmosphäre in das Formteil eingebracht wird. Mit dieser Ausführungsvariante ist es insbesondere möglich, ein Bauteil mit einem Kohlenstoffgradienten herzustellen.

Für den Fall, dass der Kohlenstoff durch Pyrolyse des Bindemittels eingebracht wird, kann nach einer Ausführungsvariante dazu vorgesehen werden, dass ein Teil des Bindemittels vor der Pyrolyse aus dem Formteil entfernt wird, womit einfacher auf den im Bauteil verbleibenden Kohlenstoff Einfluss genommen werden kann. Die Entfernung des Bindemittels kann beispielsweise mit einem (organischen) Lösungsmittel oder thermisch erfolgen, sodass über die Behandlungsdauer die im Formteil für die Pyrolyse zur Verfügung stehende, verbleibende Menge an Bindemittel festgelegt werden kann.

Für den Fall, dass der Kohlenstoff durch eine aufkohlende Sinteratmosphäre in das Formteil eingebracht wird, kann dieser Atmosphäre nach einer anderen Ausführungsvariante der Erfindung auch eine Stickstoffquelle beigemischt werden, so dass ein Bauteil hergestellt werden kann, das auch entsprechende Nitride für die Härtung aufweist.

Entsprechend einer anderen Ausführungsvariante der Erfindung kann vorgesehen sein, dass Pulverpartikel des Metallpulvers einen mittleren Partikeldurchmesser zwischen 5 μm und 70 μm aufweisen. Pulverpartikel dieser Größe haben den Vorteil, dass der Kohlenstoff einfacher in das System eingebracht und an die Reaktionspartner herangebracht werden kann, insbesondere wenn der Kohlenstoff partikelförmig als Kohlenstoffpartikel mit einem mittleren Partikeldurchmesser zwischen 1 μm und 50 μm eingebracht wird.

Aus dem gleichen Grund kann nach weiteren Ausführungsvarianten der Erfindung vorgesehen sein, dass die Pulverpartikel mit sphärischer Geometrie eingesetzt werden und/oder dass als Werkstoffzusammensetzung Partikel hergestellt werden, die einen mittleren Partikeldurchmesser zwischen 1 μm und 350 μm , insbesondere zwischen 50 μm und 270 μm , aufweisen und/oder dass das Bauteil mit einer Porosität zwischen 20 % und 75 % hergestellt wird.

Für die Härtung des Bauteils kann entsprechend einer Ausführungsvariante der Erfindung vorgesehen werden, dass das Bauteil nach dem Sintern einer Wärmebehandlung unterzogen wird.

Gemäß einer Ausführungsvariante der Erfindung kann weiter vorgesehen sein, dass das Formteil vor dem Sintern verdichtet wird, um damit die Porosität zumindest in oberflächennahen Bereichen zu reduzieren. Damit kann auch das Eindiffundieren bzw. das Einbringen von Kohlenstoff in das Formteil beeinflusst werden, indem die Größe und Anzahl der Poren entsprechend verändert wird. Die Größe der Poren kann im Mittel zwischen 1 μm - 15 μm bei feinen Pulvern ($D_{90} = 30 \mu\text{m}$) und zwischen 5 μm - 50 μm bei gröberen Pulvern 20 - 150 μm ($D_{90} = 60 \mu\text{m}$) betragen.

Um Bauteile bereitzustellen, die eine harte, verschleißbeständigere Oberfläche und einen im Vergleich dazu weicheren und damit zäheren Kern aufweisen, kann nach einer anderen Ausführungsvariante der Erfindung vorgesehen werden, dass das Bauteil oberflächenverdichtet wird. Darüber hinaus ist es möglich, dass nur Bereiche der Bauteiloberfläche verdichtet werden, sodass ein Bauteil mit einem Mix an Eigenschaften einfacher hergestellt werden kann.

Für die Verschleißbeständigkeit ist es von Vorteil, wenn das Bauteil mit einer Oberflächenhärte von mindestens 55 HRC, ISO 4498:2010 (E) hergestellt wird.

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 eines additiven Verfahrens;

Fig. 2 ein Bauteil.

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.

Sämtliche Angaben zu Normen, die in dieser Beschreibung angeführt werden, beziehen sich auf die zum Anmeldezeitpunkt dieser Anmeldung letztgültige Fassung der jeweiligen Norm.

Fig. 1 zeigt ein Formteil 1 während seiner Herstellung mittels eines additiven Verfahrens. Das Formteil 1 weist einen dreidimensionalen Formteilkörper 2 auf.

Die dargestellte Form des Formteils 1 hat keine einschränkende Bedeutung, sondern ist nur exemplarisch zu verstehen. Prinzipiell können mit dem Verfahren nach der Erfindung Formteile 1 mit unterschiedlichsten Formen hergestellt werden, beispielsweise Zahnräder, Schiebemuffen, Kupplungskörper, Synchronringe, Pleuellstangen, Lagerdeckel für eine geteilte Lageranordnungen, Lagerelemente, ein Unwuchtbauteile, Drehschwingungsdämpfer, Filterstrukturen, Strukturbauteile, Leichtbauteile, bionische Bauteile, Implantate, Hydraulikbauteile, Düsen, Kühlstrukturen, etc.

Zur Herstellung des Formteilkörper 2 wird ein Metallpulver bzw. metallischer Werkstoff oder eine Mischung aus Metallpulvern bzw. metallischen Werkstoffen oder eine Mischung aus keramischen und metallischen Werkstoffen bereitgestellt. Zudem werden zumindest ein Bindemittel, insbesondere zumindest ein polymeres (vorzugsweise organisches) Bindemittel, und gegebenenfalls zumindest ein weiteres Additiv bereitgestellt. Aus diesen Bestandteilen wird durch Mischen dieser Bestandteile eine Werkstoffzusammensetzung 3 hergestellt, aus der das Formteil 1 mittels eines additiven Verfahrens hergestellt wird.

Als metallischer Werkstoff bzw. Metallpulver wird vorzugsweise ein Sinterstahlpulver eingesetzt. Es können aber auch andere Metallpulver alternativ oder zusätzlich dazu verwendet werden, wie beispielsweise Stahl, Kupfer, Aluminium, Titan, etc. Das/die Metallpulver kann/können gasverdüst, wasserverdüst oder gemahlen eingesetzt werden. Weiter kann/können das/die Metallpulver als sehr feine (MIM), feine (AM) bis sehr grobe (PM) Pulver eingesetzt werden.

Als Bindemittel kann ein thermoplastisches Polymer, wie z.B. ein Polyolefin, wie beispielsweise Polyethylen oder Polypropylen, ein Polyester, ein Polyether, z.B. Polyoxymethylen, ein Bindemittel auf Aromatenbasis, Polyamide, Polystyrole, Polyacrylate, Polyurethane, Polyacetale, ein Bindemittel auf Melaminbasis und/oder thermoplastische Elastomere eingesetzt werden. Es sind aber auch andere Bindemittel einsetzbar. Da derartige Bindemittel aus dem Bereich der additiven Verfahren bekannt sind, sei dazu auf den einschlägigen Stand der Technik verwiesen.

Als weiteres Additiv kann ein Weichmacher eingesetzt werden, wie z.B. ein Ester aromatischer Hydroxybenzoesäure-Fettalkohole, eingesetzt werden.

Der Summenanteil des zumindest einen Bindemittels an der Werkstoffzusammensetzung 3 kann zwischen 5 Vol.-% und 60 Vol.-%, insbesondere zwischen 30 Vol.-% und 50 Vol.-%, betragen.

Der Summenanteil des zumindest einen Additivs an der Werkstoffzusammensetzung 3 kann zwischen 30 Vol.-% und 90 Vol.-%, insbesondere zwischen 60 Vol.-% und 80 Vol.-%, betragen.

Den Rest auf 100 Vol.-% Werkstoffzusammensetzung 3 bildet das zumindest eine Metallpulver bzw. der zumindest eine metallische Werkstoff.

Zur Herstellung des Formteils kann ein gemahlenes Pulver eingesetzt werden. Weiter können nicht-sphärische Pulverpartikel eingesetzt werden, beispielsweise ein sogenanntes wasserverdüstes Pulver, das spratzigen Pulverpartikel aufweisen kann. Nach einer Ausführungsvariante des Verfahrens können Pulverpartikel mit sphärischer Geometrie eingesetzt werden. Der Begriff „sphärisch“ bedeutet hierbei kugelförmig bzw. gerundet bzw. rund, als nicht eckige oder mit Spitzen versehene Pulverpartikel. Diese sphärischen Pulverpartikel liegen insbesondere in gasverdüsterten Pulvern vor.

Prinzipiell kann das eingesetzte Metallpulver Pulverpartikel unterschiedlichster Größe aufweisen. Gemäß einer bevorzugten Ausführungsvariante werden jedoch Pulver eingesetzt, die Metall-Pulverpartikel mit einem mittleren Partikeldurchmesser zwischen 1 µm und 250 µm aufweisen. Sphärische Metallpulver werden vorzugsweise mit Partikeln eingesetzt, die einen mittleren Partikeldurchmesser zwischen 5 µm und 70 µm aufweisen. Es können auch Metallpulver mit Partikeln mit unterschiedlichen bzw. mehreren Kornfraktionen aus einem Bereich von 1 µm bis 350 µm eingesetzt werden.

Das zumindest eine Bindemittel und/oder das zumindest eine Additiv kann ebenfalls pulverförmig eingesetzt werden. Dabei kann das zumindest eine Bindemittel Pulverpartikel mit einem mittleren Partikeldurchmesser zwischen 10 µm und 800

µm aufweisen. Das zumindest eine Additiv kann Pulverpartikel mit einem mittleren Partikeldurchmesser zwischen 10 µm und 800 µm aufweisen.

Die aus diesen Komponenten hergestellte Werkstoffzusammensetzung 3 kann gemäß einer Ausführungsvariante mit Partikel hergestellt werden, die einen mittleren Partikeldurchmesser zwischen 20 µm und 500 µm, insbesondere 50 µm bis 250 µm, aufweisen.

Es sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass die mittleren Partikeldurchmesser mittels Laserdiffraktometrie bestimmt werden.

Das Formteil 1 wird mittels eines additiven Herstellungsverfahrens hergestellt. Beispielsweise kann das Bauteil 1 mit jedem der bisher bekannten additiven Verfahren wie Laser Powder Bed Fusion, Selective Laser Sintering, Electron-Beam Powder Bed Fusion, Selective Laser Sintering, Binder Jetting, Direct Energy Deposition, Mold Jet Verfahren, Fused Deposition Molding, Stereolithography-Verfahren und anderen Verfahren hergestellt werden. Gemäß einer bevorzugten Ausführungsvariante des Verfahrens wird als additives Verfahren das Cold-Metal-Fusion-Verfahren (CMF-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 Laser Powder Bed Fusion Verfahren, insbesondere selektive Lasersintern, als Herstellungsverfahren für den Formling 1 schematisch dargestellt, das für sich ein eigenes Verfahren sein kann aber auch Teil des CMF-Verfahrens ist. Dabei wird die Werkstoffzusammensetzung 3 schichtweise vollflächig auf eine Plattform 4 aufgetragen. Die Schichten des Formteils 1 werden mittels eines Laserstrahles 5 entsprechend der Formteilgeometrie schrittweise in das Pulverbett gesintert. Zwischen den einzelnen Sinterschritten wird die Plattform 4 abgesenkt und eine neue Schicht aufgetragen. Die Energie, die durch den Laserstrahl 5 zugeführt wird, wird vom Pulver oder dem Bindemittel/Additive der Werkstoffzusammensetzung absorbiert und führt zu einem lokal begrenzten Sintern der Pulverpartikel oder Verschmelzen des Bindermittels.

Generell kann das Formteil 1 mittels einer herkömmlichen Vorrichtung (insbesondere einem 3D-Drucker) zur additiven Herstellung von Bauteilen hergestellt werden. Diese Vorrichtung weist zumindest einen Datenspeicher auf bzw. ist dieser Vorrichtung zum Betrieb zumindest ein Datenspeicher zugeordnet. In diesem zumindest einen Datenspeicher wird ein erster Datensatz (CAD-Daten) für die Herstellung des Formteils 1 bereitgestellt. Dieser Datensatz umfasst dabei Daten betreffend die Geometrie. Weiter wird in diesem Datenspeicher ein zweiter Datensatz mit Prozessparametern zur Steuerung der Vorrichtung bereitgestellt. Mit den Prozessparametern wird beispielsweise die Druckgeschwindigkeit bzw. die Geschwindigkeit, mit der die einzelnen Schichten ausgebildet werden, festgelegt.

Durch das Abarbeiten der einzelnen Programmschritte, mit denen die Vorrichtung betrieben wird, werden die einzelnen Schichten zum Aufbau des Formteils 1 sukzessive übereinander hergestellt bzw. generell das Formteil 1 hergestellt.

Mit einer Einrichtung für die Energieeinbringung in die jeweils abgeschiedene Schicht werden die Partikel der Werkstoffzusammensetzung 3 innerhalb einer Schicht und mit der unmittelbar darunterliegenden Schicht verbunden, insbesondere in dem die Partikel zumindest oberflächlich angeschmolzen bzw. miteinander versintert werden.

Je nach additivem Verfahren wird die überschüssige, nicht aufgeschmolzene oder versinterte Werkstoffzusammensetzung 3 nach der Herstellung des Formteils 1 entfernt, wie dies z.B. bei dem in Fig. 1 dargestellten Verfahren der Fall ist, bei dem abseits der Geometrie des Formteils 1 sich befindende Werkstoffzusammensetzung 3 entfernt wird bzw. das Formteil 1 aus diesem „Pulverbett“ genommen wird.

Aus dem Formteil 1 kann in weiterer Folge durch Sintern des Formteils 1 das gewünschte Bauteil 6 hergestellt werden. Es ist dazu in Fig. 2 als Beispiel ein Zahnrad als Bauteil 6 dargestellt.

Es ist nun vorgesehen, dass in dem Formteil 1 und/oder im Bauteil 6 zumindest in oberflächennahen Bereichen bzw. Schichten der Kohlenstoffgehalt erhöht wird.

Der Begriff „erhöht“ umfasst dabei auch das erstmalige Einbringen von Kohlstoff in das Formteil 1, sodass also auch ein Formteil 1 mit 0 Gew.-% Kohlenstoff mitumfasst ist.

Der oberflächennahe Bereich kann sich bis zu einer Schichtdicke 7 von 1 mm erstrecken, wie dies in Fig. 2 angedeutet ist. Die Schichtdicke 7 wird dabei von einer äußeren Oberfläche 8 des Bauteils 6 aus gemessen/betrachtet. Die Schicht mit dem Kohlenstoff kann also eine Schichtdicke 7 zwischen 0,1 mm bis 1,5 mm aufweisen.

Es ist aber auch möglich, dass das Bauteil 6 unterhalb dieser oberflächennahen Schicht Schichten mit Kohlenstoff aufweist bzw. dass an allen Schichten des Bauteils 6 (also im gesamten Bauteil 6) Kohlenstoff vorhanden ist, beispielsweise durch Zumischen von Graphit, Vorlegieren und partielles Entbindern.

Der Anteil an Kohlenstoff an der Zusammensetzung des Bauteils 6 beträgt zumindest in der oberflächennahen Schicht bis 1,5 mm zwischen 0,1 Gew.-% und 1,5 Gew.-%, beispielsweise zwischen 0,1 Gew.-% und 1,3 Gew.-% oder zwischen 0,2 Gew.-% und 1 Gew.-% zwischen 0,2 Gew.-% und 0,8 Gew.-%, insbesondere zwischen 0,3 Gew.-% und 0,8 Gew.-%. Dieser Kohlenstoffgehalt kann aber auch in Schichten des Bauteils 6 unterhalb der oberflächennahen Schicht oder im gesamten Bauteil 6 vorhanden sein. Dabei ist es möglich, dass die Kohlenstoffkonzentration über eine größere Schichtdicke 7 als 1 mm oder über das gesamte Bauteil im Rahmen der herstellungsbedingten Schwankungen konstant ist, oder dass der Kohlenstoffanteil mit zunehmender Schichtdicke 7, gemessen ab der Oberfläche 8 abnimmt, also eine Kohlenstoffgradient in Richtung auf den Kern des Bauteils 6 (d.h. die Mitte des Bauteils 6) ausgebildet wird. Dieser Kohlenstoffgradient kann bis zu einem Kohlenstoffanteil von 0 Gew.-% ausgebildet werden bzw. sein. Der Kohlenstoffanteil kann in Richtung zum Kern aber auch zunehmen, z.B. durch entkohlende Sinterung eines kohlenstoffhaltigen Bauteils.

Die Einbringung des Kohlenstoffs in das Formteil 1 bzw. das Bauteil 6 kann mit unterschiedliche Verfahren erfolgen, insbesondere die nachfolgend genannten

Methoden. Diese können jeweils einzeln oder auch in Kombinationen von zumindest zwei der genannten Methoden angewandt werden. In diesem Fall ist die Menge des jeweils eingebrachten Kohlenstoffs aufeinander abzustimmen, damit das Bauteil 6 einen Gesamtkohlenstoffgehalt entsprechend voranstehenden Ausführungen aufweist.

Entsprechend einer ersten Ausführungsvariante kann der Kohlenstoff bereits dem Metallpulver zugesetzt bzw. zulegiert werden, bevor es zur Werkstoffzusammensetzung 3 verarbeitet wird. Der Kohlenstoff kann damit über den gesamten Querschnitt verteilt in das Formteil 1 bzw. Bauteil 6 eingebracht werden.

Als Kohlenstoff kann beispielsweise Grafit verwendet werden. Der Kohlenstoff kann aber auch in Form von Carbiden, wie beispielsweise Eisencarbid, Chromcarbid, Nickelcarbid, Molybdäncarbid, Kohle dem Metallpulver zugesetzt werden.

Diese Kohlenstoffquellen können dem Metallpulver mit einem mittleren Partikeldurchmesser zwischen 1 μm und 50 μm , insbesondere zwischen 5 μm und 50 μm , zugesetzt werden.

Nach einer anderen Ausführungsvariante kann der Kohlenstoff der Werkstoffzusammensetzung 3 zugesetzt werden. Die voranstehenden Ausführungen zum Kohlenstoff sind auch auf diese Ausführungsvariante übertragbar. Wenn der Kohlenstoff bzw. die Kohlenstoffverbindungen der Werkstoffzusammensetzung 3 zugesetzt wird, dann fällt dessen/deren Anteil unter den voranstehend genannten Summenanteil des zumindest einen Additivs an der Werkstoffzusammensetzung 3.

Auch bei dieser Ausführungsvariante kann der Kohlenstoff über den gesamten Querschnitt verteilt in das Formteil 1 bzw. Bauteil 6 eingebracht werden. Es ist aber auch möglich, den Kohlenstoff nur an der Oberfläche von Partikeln der Werkstoffzusammensetzung 3 vorzusehen, wenn in einem ersten Schritt alle Bestandteile bis auf die Kohlenstoffquelle miteinander vermischt werden und die Kohlenstoffquelle erst danach zugegeben bzw. zugemischt wird. Je nach Zeitpunkt des Zumischens kann also die Schichtdicke, bis zu der der Kohlenstoff vorhanden ist, in den Partikeln der Werkstoffzusammensetzung 3 eingestellt werden.

Zwischen der Herstellung des Formteils 1 und der Herstellung des Bauteils 6, insbesondere durch Sintern, kann der Schritt des Entbinderns im Verfahren durchgeführt werden, wie dies an sich aus dem Stand der Technik bekannt ist. Beim Entbindern wird, gegebenenfalls mit erhöhter Temperatur, das Bindemittel aus dem Formteil 1 entfernt, sodass im Wesentlichen nur mehr die metallischen Bestandteile und gegebenenfalls ein Rest an Backbone-Bindemittel, das aus dem Grünling entstehende, sogenannte braune Bauteil in Form hält, übrigbleiben. Zur Entfernung des Bindemittels kann alternativ oder zusätzlich zur thermischen Entbinderung auch ein Lösungsmittel verwendet werden.

Es kann nun nach einer weiteren Ausführungsvariante vorgesehen werden, dass das Bindemittel und/oder das weitere Additiv, insbesondere der Weichmacher, als Kohlenstoffquelle eingesetzt wird bzw. werden. Hierzu eignen sich insbesondere polymere, organische Bindemittel, wie die voranstehend genannten. Dazu wird das Bindemittel nicht vollständig entfernt, sondern beispielsweise pyrolytisch (unter Ausschluss von Sauerstoff) unter anderem in Kohlenstoff umgewandelt. Dieser Kohlenstoff wird im Formteil 1 belassen und dient dann als Kohlenstoffquelle für die Herstellung des Bauteils 6.

Die Pyrolyse erfolgt bei erhöhter Temperatur, wobei sich diese nach der Art des Polymers richten kann. Beispielsweise kann die Temperatur während der Pyrolyse zwischen 300 °C und 600°C betragen.

Die Menge an Kohlenstoff, der pyrolytisch bereitgestellt wird, kann über das eingesetzte Polymer (d.h. den Anteil an Kohlenstoff am Polymer) und/oder durch Zugabe von Sauerstoff in einem Anteil, dass nicht der gesamte Kohlenstoff umgesetzt wird (Zugabe unterstöchiometrischer Mengen an Sauerstoff), etc., eingestellt werden.

Nach einer anderen Ausführungsvariante kann vorgesehen werden, dass die Entbinderung nur teilweise durchgeführt wird und dass das verbleibende Bindemittel pyrolytisch unter anderem zu Kohlenstoff umgesetzt wird.

Nach einer anderen Ausführungsvariante kann dazu vorgesehen werden, dass die Teilentbinderung mit einem Lösungsmittel, insbesondere einem organischen Lösungsmittel, wie z.B. Aceton, durchgeführt wird. Neben der Art des Lösungsmittel kann die Restmenge an Bindemittel im Formteil 1 auch hier über die Verweildauer des Lösungsmittels im Formteil 1 bzw. des Formteils 1 im Lösungsmittel festgelegt werden.

Wie voranstehend ausgeführt, wird das Formteil 1 zum Bauteil 6 gesintert. Dabei kann nach einer Ausführungsvariante vorgesehen sein, dass der Kohlenstoff während des Sinterns aus einer aufkohlenden Sinteratmosphäre in das Formteil 1 (nur oberflächennah) eingebracht wird.

Das kohlenstoffhaltige Gas (Aufkohlgas) kann der Sinteratmosphäre in einem Anteil zugesetzt werden, der ausgewählt ist aus einem Bereich mit einer unteren Grenze von 0,05 Vol.-% und einer oberen Grenze von 0,1 Vol.-%. Die restliche Sinteratmosphäre an sich kann dem Stand der Technik zusammengesetzt sein.

Als kohlenstoffhaltiges Gas kann zumindest ein Gas ausgewählt aus einer Gruppe umfassend Methan, Ethan, Ethen, Propan, Acetylen, CO, Endogas, etc., verwendet werden.

Nach einer weiteren Ausführungsvariante dazu kann vorgesehen werden, dass der Sinteratmosphäre eine Stickstoffquelle beigemischt wird, wie beispielsweise N_2 , NH_3 . Dabei kann die Stickstoffquelle auch Teil einer reduzierenden Sinteratmosphäre sein, die auch Wasserstoff enthält. Beispielsweise kann ein Gemisch aus Stickstoff und Wasserstoff verwendet werden mit einem Verhältnis von N_2/H_2 ausgewählt aus einem Bereich mit einer unteren Grenze von 80/20 und einer oberen Grenze von 95/5. Es kann auch reiner N_2 eingesetzt werden.

Nach einer weiteren Ausführungsvariante kann vorgesehen werden, dass das Bauteil 6 mit einer (offenen) Porosität zwischen 20 % und 75 % hergestellt wird. Die Porosität kann beispielsweise über die Partikelgröße des verwendeten Metallpulvers und/oder Keramikpulvers und/oder die Sinterbedingungen festgelegt werden.

Zur Verringerung der Porosität kann nach Ausführungsvarianten vorgesehen sein, dass das Formteil 1 vor dem Sintern verdichtet wird und/oder dass das Bauteil 6 oberflächenverdichtet wird. Das Verdichten kann beispielsweise mechanisch erfolgen, z.B. mit einer Matrize, in oder durch die das Formteil 1 gepresst wird, oder bei rotationssymmetrischen Formteilen 1 mit einem Walzwerkzeug, etc. Es sind damit Bauteile 6 herstellbar, die zumindest an der Oberfläche eine Dichte von zumindest 95 %, insbesondere zumindest 98 %, der Dichte des Vollmaterials (hergestellt aus der Schmelze) aufweisen.

Zur Härtung des Bauteils 6 kann vorgesehen werden, dass dieses nach dem Sintern einer Wärmebehandlung unterzogen wird. Die Wärmebehandlung an sich kann dem Stand der Technik entsprechend durchgeführt werden, beispielsweise durch Vergüten. Es kann auch vorgesehen werden, dass das Bauteil 6 nach dem Sintern mit einer Abkühlrate von mindestens 2 °C/s abgekühlt wird, beispielsweise mit einer Abkühlrate ausgewählt wird aus einem Bereich mit einer unteren Grenze von 3 °C/s und einer oberen Grenze von 10 °C/s, und so durch die Schnellabkühlung gehärtet wird.

Mit diesen Ausführungsvarianten kann ein Bauteil hergestellt werden, der eine Oberflächenhärte von mindestens 55 HRC, ISO 4498:2010 (E) aufweist. Beispielsweise kann das Bauteil eine Oberflächenhärte zwischen 600 HV5 und 850 HV5, ISO 4498:2010 (E), aufweisen.

Es sei abschließend darauf hingewiesen, dass in der Beschreibung immer wieder die Bezeichnung Kohlenstoff verwendet wird, im Sinne der Erfindung darunter aber nicht nur elementarer Kohlenstoff, sondern auch Kohlenstoffverbindungen verstanden werden, wie beispielsweise die genannten Carbide.

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 wurden.

Bezugszeichenliste

- | | |
|---|--------------------------|
| 1 | Formteil |
| 2 | Formteilkörper |
| 3 | Werkstoffzusammensetzung |
| 4 | Plattform |
| 5 | Laserstrahl |
| 6 | Bauteil |
| 7 | Schichtdicke |
| 8 | Oberfläche |

P a t e n t a n s p r ü c h e

1. Verfahren zur Herstellung eines Bauteils (6) mittels eines additiven Verfahrens umfassend die Schritte:
 - Bereitstellen eines Metallpulvers;
 - Herstellung einer Werkstoffzusammensetzung (3) durch Vermengen des Metallpulvers mit zumindest einem Bindemittel und gegebenenfalls zumindest einem weiteren Additiv;
 - schichtweise Herstellung eines Formteils (1) aus der Werkstoffzusammensetzung (3) mittels des additiven Verfahrens;
 - vorzugsweise Sintern des Formteils (1) zu dem Bauteil (6),
dadurch gekennzeichnet, dass das Bauteil (6) zumindest in oberflächennahen Bereichen bis zu einer Schichtdicke (7) von 1 mm mit einem Gehalt an Kohlenstoff hergestellt wird, der zwischen 0,1 Gew.-% und 1,5 Gew.-% beträgt.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Kohlenstoff dem Metallpulver zugesetzt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Kohlstoff der Werkstoffzusammensetzung (3) zugesetzt wird.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass der Kohlenstoff aus dem Bindemittel und/oder dem weiteren Additiv, insbesondere Weichmacher, mittels Pyrolyse hergestellt wird.
5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass ein Teil des Bindemittels vor der Pyrolyse aus dem Formteil entfernt wird.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass der Kohlenstoff während des Sinterns aus einer aufkohlenden Sinteratmosphäre in das Formteil (1) eingebracht wird.

7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass der aufkohlenden Sinteratmosphäre eine Stickstoffquelle beigemischt wird.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass das Metallpulver mit Pulverpartikel eingesetzt wird, die einen mittleren Partikeldurchmesser zwischen 5 μm und 70 μm aufweisen.
9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Pulverpartikel mit sphärischer Geometrie eingesetzt werden.
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass als Werkstoffzusammensetzung Partikel hergestellt werden, die einen mittleren Partikeldurchmesser zwischen 1 μm und 350 μm aufweisen.
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass das Bauteil (6) nach dem Sintern einer Wärmebehandlung unterzogen wird.
12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass das Bauteil (6) mit einer Porosität zwischen 20 % und 75 % hergestellt wird.
13. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass das Formteil (1) vor dem Sintern verdichtet wird.
14. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass das Bauteil (6) oberflächenverdichtet wird.
15. Mittels eines additiven Verfahrens hergestelltes, vorzugsweise gesintertes, Bauteil (6) umfassend einen metallischen Bauteilkörper, dadurch gekennzeichnet, dass der Bauteilkörper zumindest in oberflächennahen Bereichen bis zu

einer Schichtdicke (7) von 1 mm einen Gehalt an Kohlenstoff zwischen 0,1 Gew.-% und 1,5 Gew.-% aufweist.

16. Bauteil (6) nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass dieser Oberflächenhärte von mindestens 55 HRC, ISO 4498:2010 (E) aufweist.

Fig.1

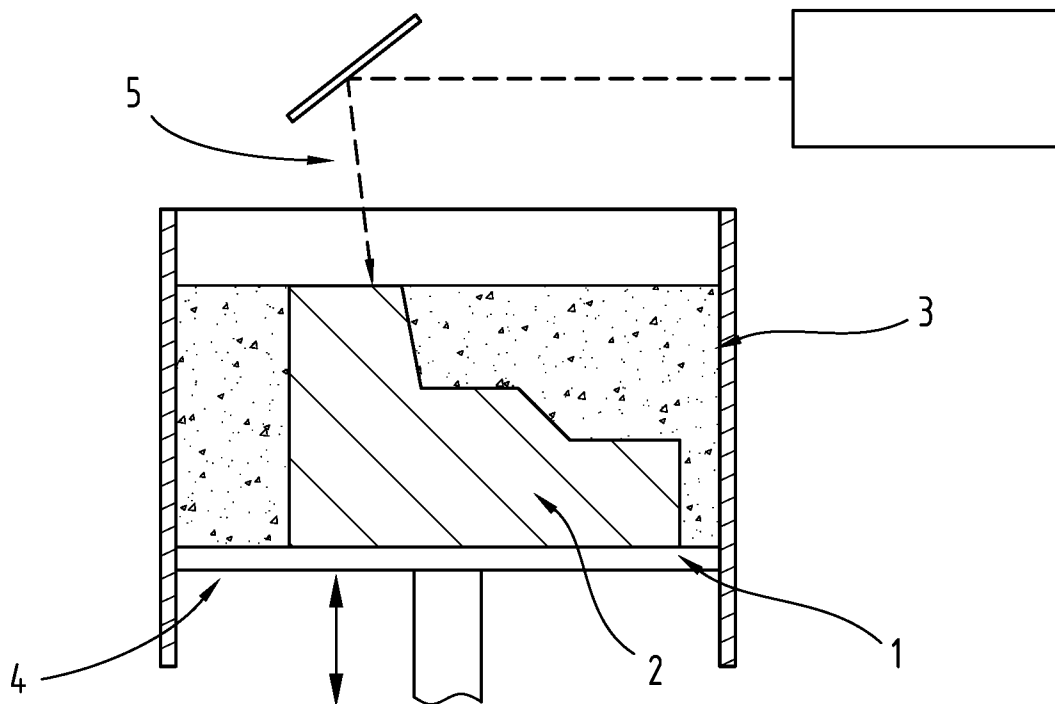
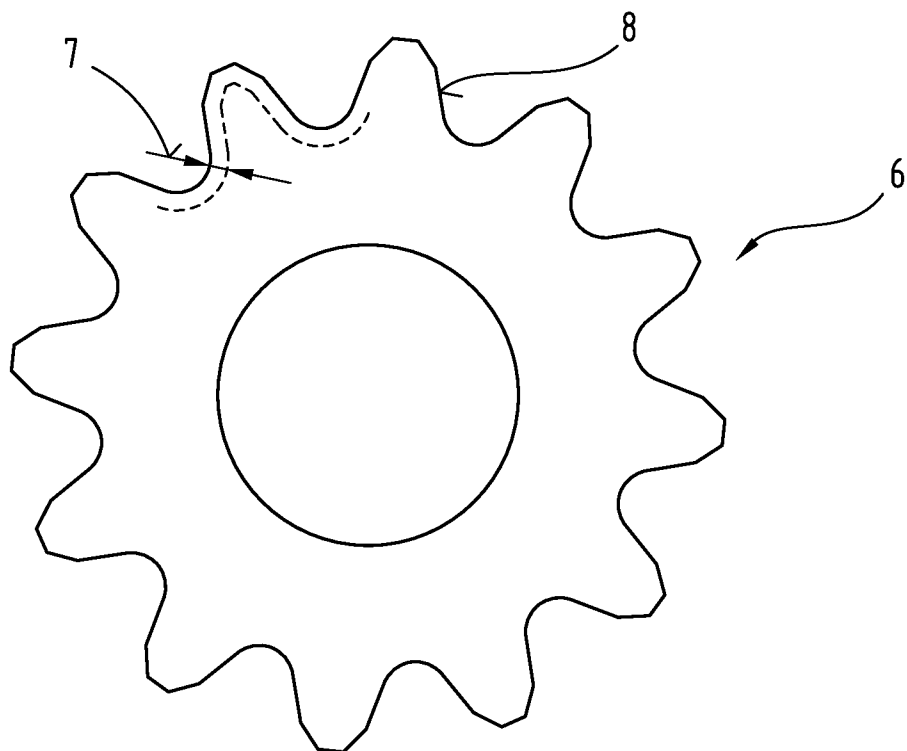


Fig.2



Klassifikation des Anmeldungsgegenstands gemäß IPC:

B22F 1/103 (2022.01); **B33Y 10/00** (2015.01); **B22F 7/00** (2006.01); **B33Y 40/20** (2020.01); **C23C 8/20** (2006.01); **C23C 8/44** (2006.01); **C23C 8/64** (2006.01); **C23C 16/26** (2006.01); **C23C 16/36** (2006.01)

Klassifikation des Anmeldungsgegenstands gemäß CPC:

B22F 1/103 (2022.01); **B33Y 10/00** (2015.01); **B22F 7/00** (2013.01); **B33Y 40/20** (2020.01); **C23C 8/20** (2013.01); **C23C 8/44** (2013.01); **C23C 8/64** (2013.01); **C23C 16/26** (2013.01); **C23C 16/36** (2013.01)

Recherchierter Prüfstoff (Klassifikation):

B22F, B33Y, C23C

Konsultierte Online-Datenbank:

EPODOC, WPI, Volltext-Patentdatenbanken EN und DE

Dieser Recherchenbericht wurde zu den am 18.11.2021 eingereichten Ansprüchen 1 - 16 erstellt.

Kategorie ^{*)}	Bezeichnung der Veröffentlichung: Ländercode, Veröffentlichungsnummer, Dokumentart (Anmelder), Veröffentlichungsdatum, Textstelle oder Figur soweit erforderlich	Betreffend Anspruch
A	US 2018154437 A1 (MARK GREGORY THOMAS [US]) 07. Juni 2018 (07.06.2018) Beschreibung, [0005], [0009], [0016], [0147], [0150], [0190] - [0202]; Ansprüche 1, 5, 11	1 - 16
A	US 2021237156 A1 (KASPERCHIK VLADEK [US], SHAARAWI MOHAMMED S [US], MCKINNELL JAMES [US]) 05. August 2021 (05.08.2021) Beschreibung, [0007] - [0053]; Fig. 1, 2; Ansprüche 1 - 4, 11 - 15	1 - 16

Datum der Beendigung der Recherche:

18.07.2022

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.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung eines Bauteils (6) mittels eines additiven Verfahrens umfassend die Schritte:
 - Bereitstellen eines Metallpulvers;
 - Herstellung einer Werkstoffzusammensetzung (3) durch Vermengen des Metallpulvers mit zumindest einem Bindemittel und gegebenenfalls zumindest einem weiteren Additiv;
 - schichtweise Herstellung eines Formteils (1) aus der Werkstoffzusammensetzung (3) mittels des additiven Verfahrens;
 - vorzugsweise Sintern des Formteils (1) zu dem Bauteil (6),
dadurch gekennzeichnet, dass das Bauteil (6) zumindest in oberflächennahen Bereichen bis zu einer Schichtdicke (7) von 1 mm mit einem Gehalt an Kohlenstoff hergestellt wird, der zwischen 0,1 Gew.-% und 1,5 Gew.-% beträgt.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Kohlenstoff dem Metallpulver zugesetzt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Kohlenstoff der Werkstoffzusammensetzung (3) zugesetzt wird.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass der Kohlenstoff aus dem Bindemittel und/oder dem weiteren Additiv, insbesondere Weichmacher, mittels Pyrolyse hergestellt wird.
5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass ein Teil des Bindemittels vor der Pyrolyse aus dem Formteil entfernt wird.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass der Kohlenstoff während des Sinterns aus einer aufkohlenden Sinteratmosphäre in das Formteil (1) eingebracht wird.

7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass der aufkohlenden Sinteratmosphäre eine Stickstoffquelle beigemischt wird.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass das Metallpulver mit Pulverpartikel eingesetzt wird, die einen mittleren Partikeldurchmesser zwischen 5 μm und 70 μm aufweisen.
9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Pulverpartikel mit sphärischer Geometrie eingesetzt werden.
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass als Werkstoffzusammensetzung Partikel hergestellt werden, die einen mittleren Partikeldurchmesser zwischen 1 μm und 350 μm aufweisen.
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass das Bauteil (6) nach dem Sintern einer Wärmebehandlung unterzogen wird.
12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass das Bauteil (6) mit einer Porosität zwischen 20 % und 75 % hergestellt wird.
13. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass das Formteil (1) vor dem Sintern verdichtet wird.
14. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass das Bauteil (6) oberflächenverdichtet wird.
15. Mittels eines additiven Verfahrens hergestelltes, vorzugsweise gesintertes, Bauteil (6) umfassend einen metallischen Bauteilkörper, dadurch gekennzeichnet, dass der Bauteilkörper zumindest in oberflächennahen Bereichen bis zu

einer Schichtdicke (7) von 1 mm einen Gehalt an Kohlenstoff zwischen 0,1 Gew.-% und 1,5 Gew.-% aufweist.

16. Bauteil (6) nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass dieser Oberflächenhärte von mindestens 55 HRC, ISO 4498:2010 (E) aufweist.