

(19)



(11)

EP 2 123 377 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
25.11.2009 Patentblatt 2009/48

(51) Int Cl.:
B22F 5/00 *(2006.01)* **B22D 27/09** *(2006.01)*
B22D 27/15 *(2006.01)*

(21) Anmeldenummer: **08382020.9**

(22) Anmeldetag: **23.05.2008**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR
HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MT NL NO PL PT
RO SE SI SK TR**
Benannte Erstreckungsstaaten:
AL BA MK RS

(72) Erfinder: **Walls Angles, Isaac**
08228, Terrassa (Barcelona) (ES)

(74) Vertreter: **Graefe, Jörg et al**
Fritz Patent- und Rechtsanwälte
Ostentor 9
59757 Arnsberg (DE)

(71) Anmelder: **Rovalma, S.A.**
08228 Terrassa (ES)

(54) **Verfahren zur Herstellung eines Werkstücks, insbesondere eines Formgebungswerkzeugs oder eines Formgebungswerkzeugteils.**

(57) Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Herstellung eines Werkstücks, insbesondere eines Formgebungswerkzeugs oder eines Formgebungswerkzeugteils, umfassend die Schritte:

- Bereitstellen einer hitzebeständigen Form (2) mit einem ersten Formteil (2a) und mindestens einem zweiten Formteil (2b) in einer evakuierbaren Kammer (1),
- Einfüllen eines metallhaltigen Werkstoffs in die hitzebeständige Form (2),
- Erzeugen eines Vakuums in der evakuierbaren Kam-

mer (1),

- Erwärmen des metallhaltigen Werkstoffs,
- Verdichten des erwärmten metallhaltigen Werkstoffs in der hitzebeständigen Form (2) durch Heißpressen unter Vakuumbedingungen. Darüber hinaus betrifft die vorliegende Erfindung eine Vorrichtung zur Herstellung eines Werkstücks, insbesondere eines Formgebungswerkzeugs oder eines Formgebungswerkzeugteils.

EP 2 123 377 A1

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Herstellung eines Werkstücks, insbesondere eines Formgebungswerkzeugs oder eines Formgebungswerkzeugteils. Darüber hinaus betrifft die vorliegende Erfindung eine Vorrichtung zur Herstellung eines Werkstücks, insbesondere eines Formgebungswerkzeugs oder eines Formgebungswerkzeugteils.

[0002] Verfahren und Vorrichtungen der eingangs genannten Art zur Herstellung eines Werkstücks, insbesondere eines Formgebungswerkzeugs oder eines Formgebungswerkzeugteils, sind aus dem Stand der Technik in unterschiedlichen Ausführungsformen bekannt. Zwei der gebräuchlichsten Verfahren, um zum Beispiel Formgebungswerkzeuge beziehungsweise Formgebungswerkzeugteile herzustellen, sind das Gießen sowie das (mechanische) Bearbeiten geschmiedeter Blöcke.

[0003] Beim Gießen eines Formgebungswerkzeugs beziehungsweise Formgebungswerkzeugteils wird zunächst eine Legierung mit der gewünschten Zusammensetzung geschmolzen. Die Schmelze wird dann in eine Gussform eingegossen, deren Form bereits nahe an der gewünschten Endform des Formgebungswerkzeugs beziehungsweise Formgebungswerkzeugteils ist. Wenn die Legierungsschmelze in der Gussform erstarrt ist, wird sie zunächst grob bearbeitet, danach wärmebehandelt und anschließend fein nachbearbeitet.

[0004] Beim Bearbeiten geschmiedeter Blöcke wird die flüssige Schmelze zunächst zu einem Barren gegossen. Wenn der Barren erstarrt ist, wird er extrahiert, dann erneut aufgeheizt und anschließend - üblicherweise in mehreren Schritten - zu Stangen beziehungsweise Blöcken geschmiedet. Die auf diese Weise erhaltenen Stangen beziehungsweise Blöcke werden dann wieder aufgeheizt, um einen Ausheilprozess einzuleiten, welcher die spätere Nachbearbeitung vereinfacht. Wenn die Stangen ausgeheilt sind, werden sie üblicherweise in Blöcke mit den gewünschten Abmessungen geschnitten. Diese Blöcke werden dann in einem Grobbearbeitungsschritt in eine Form gebracht, die bereits nahe an der endgültigen Form des Formgebungswerkzeugs beziehungsweise Formgebungswerkzeugteils ist. Daran schließen sich wie beim oben beschriebenen Gießverfahren eine Wärmebehandlung und eine Feinbearbeitung an, um die Herstellung des Formgebungswerkzeugs beziehungsweise Formgebungswerkzeugteils abzuschließen. Die Bearbeitung der Stangen beziehungsweise Blöcke ist relativ aufwändig, so dass die Bearbeitungskosten bei diesem Verfahren um ein Vielfaches höher als die Materialkosten sind.

[0005] Wenn man die beiden vorstehend beschriebenen Herstellungsverfahren etwas genauer betrachtet, stellt sich die Frage, weshalb Formgebungswerkzeuge beziehungsweise Formgebungswerkzeugteile überhaupt aus geschmiedeten Blöcken hergestellt werden. In der Tat scheinen Gießverfahren zur Herstellung von Formgebungswerkzeugen beziehungsweise Formge-

bungswerkzeugteilen auf den ersten Blick sinnvoller zu sein, da sie erheblich kostengünstiger sind als das Bearbeiten geschmiedeter Blöcke. Auf der anderen Seite sind die mechanischen Eigenschaften der durch die beiden vorstehend beschriebenen Verfahren erhaltenen Formgebungswerkzeuge beziehungsweise Formgebungswerkzeugteile sehr unterschiedlich. Es ist die resultierende Zähigkeit/Duktilität der Formgebungswerkzeuge beziehungsweise Formgebungswerkzeugteile, die das verfahrenstechnisch erheblich komplexere und damit weitaus teurere Bearbeiten geschmiedeter Blöcke vorteilhaft macht. Während des Schmiedeprozesses werden nämlich die relativ spröden Karbidnetzwerke des Gussteils zerstört und die Zähigkeit/Duktilität kann dadurch sogar verdoppelt werden. Wenn die Teile relativ groß sind (größer als 600 mm für die meisten Kaltarbeitswerkzeugstähle und 200 mm für die meisten Schnellarbeitsstähle) wird dieser Effekt im Kernbereich des Blocks beziehungsweise der Stange nicht erreicht, wo die relativ spröde Gussteilstruktur erhalten bleibt.

[0006] Wenn eine noch höhere Zähigkeit/Duktilität des Formgebungswerkzeugs beziehungsweise Formgebungswerkzeugteils gewünscht ist, wird häufig ein noch komplexeres Verfahren eingesetzt. Dabei handelt es sich um die so genannte PulverMetallurgie (kurz: PM). Die Schmelze wird dabei nicht in einen Gussblock, sondern in einen Zerstäuber eingefüllt, welcher üblicherweise zumindest eine Düse aufweist, in der ein Gas gegen den flüssigen Metallstrom verbrannt wird, was dazu führt, dass das Metall zu kleinen, im Wesentlichen kugelförmigen Teilchen (Pulver) verdampft wird. Das auf diese Weise erhaltene Metallpulver wird anschließend in Stahlbehälter, die im Wesentlichen zylindrisch geformt sind, eingefüllt. Die Stahlbehälter werden dann evakuiert, um ein gewisses Maß an Vakuum zu erhalten, und in eine heißisostatische Pressvorrichtung eingeführt, in der hohe Temperaturen und Drücke erzeugt werden, um die Stahlbehälter zu verformen und zu erreichen, dass sich das Metallpulver verdichtet, so dass ein Barren erhalten wird. Wenn das Behältermaterial entfernt worden ist, bleibt ein Barren übrig, der geschmiedet werden kann und all den Bearbeitungsschritten unterzogen werden kann, die oben bei der Beschreibung des Verfahrens "Bearbeitung geschmiedeter Blöcke" näher erläutert worden sind. Dieses Herstellungsverfahren erhöht die Herstellungskosten zwar weiter. Andererseits kann aber die erreichbare Zähigkeit/Duktilität um ein Vielfaches höher sein als bei den auf herkömmliche Weise geschmolzenen und geschmiedeten Blöcken. Dies kann insbesondere dann erreicht werden, wenn die Legierung einen relativ hohen Gehalt einer spröden Keramikphase aufweist.

[0007] Das Schmieden erhöht zwar einerseits die Zähigkeit/Duktilität des Formgebungswerkzeugs beziehungsweise Formgebungswerkzeugteils, induziert jedoch andererseits einige unerwünschte Eigenschaften, von denen die wichtigste die Anisotropie ist. Das Schmieden schafft nämlich ein Materialgefüge, das zu unterschiedlichen Eigenschaften in der Schmiederichtung im

Vergleich zu den transversal zur Schmiederichtung verlaufenden Richtungen führt. Diese Anisotropie kann insbesondere während der Wärmebehandlung des Formgebungswerkzeugs beziehungsweise Formgebungswerkzeugteils nachteilig sein, da sie zu einem Werkstückverzug führt, so dass mehr Material für die Endbearbeitung übrig gelassen werden muss.

[0008] Ein weiteres Verfahren zur Herstellung eines Formgebungswerkzeugs beziehungsweise eines Formgebungswerkzeugteils ist das Sintern eines Metallpulvers. Dabei wird ein Metallpulver oder alternativ eine Mischung mehrerer Metallpulver gepresst, um einen Körper mit der gewünschten geometrischen Form und mit einer geeigneten Beschaffenheit zu erhalten, so dass er anschließend weiterbearbeitet werden kann. Ein derartiger Körper wird häufig auch als "Grünkörper" bezeichnet. Der Grünkörper wird dann bei hoher Temperatur über einen ausreichend langen Zeitraum gesintert, um eine Diffusionsbindung zu fördern. Wenn eine hohe Dichte gewünscht ist, wird ein abschließender heißisostatischer Pressschritt durchgeführt. Verschiedene Varianten eines derartigen Verfahrens sind zum Beispiel in der DE 198 252 23 C2, der WO 02/20863 A1, der DE 195 08 959 C2, der DE 197 52 505 C1, der DE 698 148 96 T2, der EP 1 281 461 A1 und der EP 0 919 635 A2 offenbart.

[0009] Der industrielle Bedarf an Werkstücken und Bauteilen mit maßgeschneiderten Eigenschaften ist in letzter Zeit sehr stark angestiegen. Daher sind neue Konzepte, wie zum Beispiel die intelligente Werkzeugherstellung entwickelt worden. Für viele Zwecke ist der einfachste Weg, um eine Komponente mit maßgeschneiderten Eigenschaften zu erhalten, ein Formgebungswerkzeug beziehungsweise ein Formgebungswerkzeugteil mit entsprechend gradierten Eigenschaften zu verwenden.

[0010] Aus der DE 195 089 59 C2 ist zum Beispiel ein Formkörper aus einem keramischen, pulvermetallurgischen oder Verbundwerkstoff bekannt. Ferner ist ein Verfahren zur Herstellung eines derartigen Formkörpers in der vorstehend genannten Druckschrift offenbart. Innerhalb des Formkörpers ändert sich die stoffliche Zusammensetzung und/oder die Struktur in einer, zwei oder allen drei Raumrichtungen. Die Änderungen können kontinuierlich oder diskontinuierlich sein. Zur Herstellung des Formkörpers werden ein oder mehrere Ausgangspulver zu einer oder mehreren formbaren Massen verarbeitet. Diese formbare(n) Masse/Massen wird/werden in einer, zwei oder allen drei Raumrichtungen kontinuierlich oder diskontinuierlich zu einem Formkörper verarbeitet und anschließend ausgehärtet, wobei das Aufbringen der formbaren Masse oder Massen in Abhängigkeit von der abschließend zu erzielenden Eigenschaftsgradierung erfolgt.

[0011] Aus dem Stand der Technik ist es ferner bekannt, Beton (trotz seiner im Vergleich zu anderen Werkstoffen sehr geringen Festigkeit und Zähigkeit) zur Herstellung von Formgebungswerkzeugen einzusetzen. In

der DE 699 08 273 T2 wird zum Beispiel ein Presswerkzeug beschrieben, welches hauptsächlich aus Beton besteht.

[0012] In der internationalen Patentanmeldung WO 2006/056621 A2 ist ein Verfahren zur Herstellung eines Formgebungswerkzeugs durch eine superplastische Deformation oder durch Heißverdichten eines metallischen Pulvers in einer Zementform beschrieben. Die Eigenschaften des Formgebungswerkzeugs, die durch das Heißverdichten des Pulvers erhalten werden, sind unter besonderer Berücksichtigung der Festigkeit und Zähigkeit/Duktilität nicht besonders gut. Die Ursache dafür liegt insbesondere in der Oberflächenoxidation des metallischen Pulvers, die dessen optimale Verdichtung verhindert. Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Herstellung eines Werkstücks, insbesondere eines Formgebungswerkzeugs oder eines Formgebungswerkzeugteils, zur Verfügung zu stellen, welches eine endformnahe Herstellung eines Werkstücks ermöglicht, das eine vorteilhafte Kombination aus hoher Festigkeit und gleichzeitig günstigen Zähigkeits- und Duktilitätseigenschaften aufweist. Darüber hinaus liegt der vorliegenden Erfindung die Aufgabe zugrunde, eine Vorrichtung zur Herstellung eines entsprechenden Werkstücks, insbesondere eines Formgebungswerkzeugs oder Formgebungswerkzeugteils, zur Verfügung zu stellen.

[0013] Diese Aufgabe wird hinsichtlich des Verfahrens durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Eine weitere erfindungsgemäße Lösung liefert ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 4. Hinsichtlich der Vorrichtung wird die der vorliegenden Erfindung zugrundeliegende Aufgabe durch eine Vorrichtung mit den Merkmalen des Anspruchs 10 gelöst. Die Unteransprüche betreffen vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung.

[0014] Gemäß Anspruch 1 umfasst ein erfindungsgemäßes Verfahren zur Herstellung eines Werkstücks, insbesondere eines Formgebungswerkzeugs oder eines Formgebungswerkzeugteils, die nachfolgenden Schritte:

- Bereitstellen einer hitzebeständigen Form mit einem ersten Formteil und mindestens einem zweiten Formteil in einer evakuierbaren Kammer,
- Einfüllen eines metallhaltigen Werkstoffs in die hitzebeständige Form,
- Erzeugen eines Vakuums in der evakuierbaren Kammer,
- Erwärmen des metallhaltigen Werkstoffs,
- Verdichten des erwärmten metallhaltigen Werkstoffs in der hitzebeständigen Form durch Heißpressen unter Vakuumbedingungen.

[0015] Gemäß Anspruch 1 werden die Werkstücke, wie zum Beispiel Formgebungswerkzeuge beziehungsweise Formgebungswerkzeugteile, unter Vakuumbedingungen durch Verdichten des erwärmten metallhaltigen Werkstoffs, der beispielsweise als fester metallhaltiger Körper vorliegen kann, in einer hitzebeständigen Form hergestellt. Die Herstellung des Werkstücks erfolgt in einer evakuierbaren Kammer, in der das Vakuum erzeugt werden kann und in der gegebenenfalls auch eine Inertgasatmosphäre und/oder eine Reduktionsgasatmosphäre erzeugt werden können/kann. Das erfindungsgemäße Verfahren ermöglicht in besonders vorteilhafter Weise die Herstellung endformnaher, lokal isotroper Werkstücke (zum Beispiel Formgebungswerkzeuge beziehungsweise Formgebungswerkzeugteile), wie sie durch die aus dem Stand der Technik bekannten Gießverfahren erhalten werden können, mit mechanischen Eigenschaften, wie sie durch die bekannten Pulvermetallurgie-Verfahren erhalten werden können. Durch das Erzeugen eines Vakuums kann insbesondere der Sauerstoffgehalt im Restgas innerhalb der evakuierbaren Kammer reduziert werden, so dass eine Sauerstoffkontamination der Oberfläche des metallhaltigen Werkstoffs weitgehend verhindert, zumindest jedoch erheblich verringert werden kann und somit Werkstücke, wie zum Beispiel Formgebungswerkzeuge beziehungsweise Formgebungswerkzeugteile, von besonders hoher Qualität erzeugt werden können.

[0016] Um den Sauerstoffgehalt innerhalb der evakuierbaren Kammer weiter zu reduzieren, nachdem der metallhaltige Werkstoff in die hitzebeständige Form eingefüllt worden ist, wird in einer besonders vorteilhaften Ausführungsform vorgeschlagen, dass eine Anzahl von Spülungen der evakuierbaren Kammer mit einem Reduktionsgas und/oder einem Inertgas durchgeführt wird, bevor das Vakuum in der evakuierbaren Kammer erzeugt wird. Vorteilhaft kann zwischen zwei Spülungen mit dem Inertgas beziehungsweise Reduktionsgas (zumindest kurzzeitig) ein Vakuum in der evakuierbaren Kammer erzeugt werden. Das Vakuum braucht kein Hochvakuum zu sein. Durch das sich an die Spülungen anschließende Erzeugen des Vakuums ist das Restgasniveau innerhalb der evakuierbaren Kammer relativ gering.

[0017] In einer besonders bevorzugten Ausführungsform wird vorgeschlagen, dass in der evakuierbaren Kammer ein Hochvakuum erzeugt wird und das Heißpressen des erwärmten metallhaltigen Werkstoffs unter Hochvakuumbedingungen durchgeführt wird. Der Druckbereich des Hochvakuums, der innerhalb der evakuierbaren Kammer erzeugt wird, liegt vorteilhaft in einer Größenordnung zwischen etwa 10^{-3} und etwa 10^{-7} mbar. Durch das Erzeugen eines Hochvakuums kann insbesondere der Sauerstoffgehalt im Restgas innerhalb der Vakuumkammer weiter reduziert werden, so dass eine Sauerstoffkontamination der Oberfläche des metallhaltigen Werkstoffs weiter verringert werden kann.

[0018] Gemäß Anspruch 4 umfasst ein alternatives erfindungsgemäßes Verfahren zur Herstellung eines

Werkstücks, Formgebungswerkzeugs oder eines Formgebungswerkzeugteils die nachfolgenden Schritte:

- Bereitstellen einer hitzebeständigen Form mit einem ersten Formteil und mindestens einem zweiten Formteil in einer evakuierbaren Kammer,
- Einfüllen eines metallhaltigen Werkstoffs in die hitzebeständige Form,
- Erzeugen eines Vakuums in der evakuierbaren Kammer und Halten des Vakuums über einen Zeitraum t_{Vakuum} ,
- Erzeugen einer Inertgasatmosphäre oder Reduktionsgasatmosphäre in der evakuierbaren Kammer nach Ablauf des Zeitraums t_{Vakuum} ,
- Erwärmen des metallhaltigen Werkstoffs,
- Verdichten des erwärmten metallhaltigen Werkstoffs in der hitzebeständigen Form durch Heißpressen in der Inertgasatmosphäre oder Reduktionsgasatmosphäre.

[0019] Bei dieser alternativen erfindungsgemäßen Lösung erfolgt das Verdichten des erwärmten metallhaltigen Werkstoffs in der hitzebeständigen Form durch Heißpressen somit nicht unter Vakuumbedingungen, sondern in einer Inertgasatmosphäre oder Reduktionsgasatmosphäre. Dadurch kann eine Sauerstoffkontamination des metallhaltigen Werkstoffs ebenfalls wirksam verhindert werden. Dieses erfindungsgemäße Verfahren ermöglicht ebenfalls in besonders vorteilhafter Weise die Herstellung endformnaher, lokal isotroper Formgebungswerkzeuge beziehungsweise Formgebungswerkzeugteile, wie sie durch das Gießverfahren erhalten werden können, mit Festigkeitseigenschaften, wie sie durch ein Pulvermetallurgie-Verfahren erhalten werden können.

[0020] Ein Vorteil der hier vorgestellten erfindungsgemäßen Verfahren besteht darin, dass die erreichbaren Werkstücktoleranzen so gering sind, dass ein sich üblicherweise anschließender Grobbearbeitungsschritt (beispielsweise mittels spanender Bearbeitungsverfahren) des Werkstücks ebenfalls eliminiert werden kann. Vorzugsweise weist ein mit den hier vorgestellten Verfahren hergestelltes Werkstück (Formgebungswerkzeug beziehungsweise Formgebungswerkzeugteil) eine Kerbschlagzähigkeit von mehr als 50 J/cm^2 auf, während der Härtegrad vorzugsweise größer als 58 HRC ist.

[0021] In einer besonders bevorzugten Ausführungsform wird vorgeschlagen, dass das Heißpressen mit konstanter Dehnrate durchgeführt wird. Die Dehnrate kann zum Beispiel über eine Änderung der Vorschubgeschwindigkeit eines Metallzylinders, mittels dessen ein Druck auf die Form und damit auf den metallhaltigen Werkstoff ausgeübt wird, konstant gehalten werden.

[0022] Es kann in einer vorteilhaften Ausführungsform vorgesehen sein, dass der metallhaltige Werkstoff in Form mindestens einer Schicht eines metallhaltigen Pulvers oder einer metallhaltigen Pulvermischung in die hitzebeständige Form eingefüllt wird. Das Verfahren umfasst dann insbesondere den Schritt des Heißpressens des metallhaltigen Pulvers beziehungsweise der metallhaltigen Pulvermischung in der hitzebeständigen Form, welche vorzugsweise nur eine geringe Wasserbeimischung aufweist. Das zur Herstellung des Werkstücks verwendete metallhaltige Pulver kann vollständig aus einem Material bestehen. Das metallhaltige Pulver kann zum Beispiel auch eine Mischung eines Metallpulvers mit Keramikpartikeln sein, wobei die Keramikpartikel ihrerseits eine Beschichtung aufweisen können.

[0023] Für zahlreiche Anwendungen kann die Möglichkeit, Mischungen verschiedener metallhaltiger Pulver oder mehrere Schichten beziehungsweise Bereiche aus unterschiedlichen metallhaltigen Pulvern zu verwenden und in die hitzebeständige Form einzugeben, besonders vorteilhaft sein. In einer besonders vorteilhaften Ausführungsform wird daher vorgeschlagen, dass beim Einfüllen des metallhaltigen Pulvers oder der metallhaltigen Pulvermischung mindestens zwei Schichten oder Bereiche mit unterschiedlicher chemischer Zusammensetzung erzeugt werden. Dadurch ist es in besonders vorteilhafter Weise möglich, Werkstücke (insbesondere Formgebungswerkzeuge beziehungsweise Formgebungswerkzeugteile) mit maßgeschneiderten mechanischen und/oder physikalischen Eigenschaften herzustellen, die auch innerhalb ihres Volumens gradiert sein können. Auf diese Weise können also mit anderen Worten auch Werkstücke erzeugt werden, die innerhalb ihres Volumens in einer, zwei oder auch allen drei Raumrichtungen unterschiedliche mechanische und/oder physikalische Eigenschaften aufweisen. Die Eigenschaftsgradienten können kontinuierlich oder auch diskontinuierlich sein.

[0024] Besonders interessant ist in diesem Zusammenhang auch die Möglichkeit, ein Metallpulver mit vergleichsweise harten beschichteten oder unbeschichteten Partikeln zu mischen. Dadurch kann ein besseres Verhältnis zwischen der Zähigkeit/Duktilität und der Verschleißbeständigkeit erhalten werden. Die beschichteten Partikel, die mit dem metallhaltigen Pulver vermischt werden können, sind in der Regel allerdings relativ teuer. Die hier beschriebenen Verfahren ermöglichen die Verwendung derartiger Partikel, ohne ihre intrinsischen Eigenschaften zu verschlechtern und erlauben es ferner, nur die minimal erforderliche Menge dieser Partikel zu verwenden. Die Partikel können nämlich nur in denjenigen Bereichen des Formgebungswerkzeugs beziehungsweise Formgebungswerkzeugteils platziert werden, wo sie tatsächlich erforderlich sind, so dass die Herstellungskosten für das Werkstück so gering wie möglich gehalten werden können. Einige beschichtete Partikel erfordern es, bestimmte Diffusionsparameter (insbesondere Temperatur und Zeit) während des Prozesses zu

steuern, um eine Verschlechterung der intrinsischen Eigenschaften zu vermeiden oder optimale Eigenschaften zu erhalten, wobei die hier vorgestellten Verfahren dafür besonders gut geeignet sind. Es besteht insbesondere die Möglichkeit, unterschiedliche Arten von metallhaltigen Pulvern beziehungsweise metallhaltigen Pulvermischungen in unterschiedliche Arbeits- und Trägerzonen eines Formgebungswerkzeugs beziehungsweise Formgebungswerkzeugteils einzubringen, um auf diese Weise maßgeschneiderte Werkzeugeigenschaften zu erhalten.

[0025] In einer besonders bevorzugten Ausführungsform wird vorgeschlagen, dass das Verdichten des erwärmten metallhaltigen Werkstoffs in einem superplastischen Zustand des Werkstoffs erfolgt. Das Aufheizen des metallhaltigen Werkstoffs in der hitzebeständigen Form zum Erreichen des superplastischen Zustands erfolgt vorzugsweise vergleichsweise langsam. Der superplastische Zustand eines metallhaltigen Werkstoffs wird (werkstoffabhängig und abhängig von der Dehnrate) üblicherweise bei einer Temperatur von etwa 800°C bis etwa 1050°C erreicht. Das Verdichten des erwärmten metallhaltigen Werkstoffs im superplastischen Zustand ist insbesondere dann vorteilhaft, wenn der Werkstoff in Form eines in seiner Geometrie vorgeformten Körpers vorliegt. Dies ist zum Beispiel für einen vorverdichteten, formstabilen Grünling der Fall. Wenn der metallhaltige Werkstoff in Pulverform vorliegt, kann das Heißpressen auch in einem nicht-superplastischen Zustand erfolgen, obwohl auch hier das Verdichten im superplastischen Zustand besonders vorteilhaft ist.

[0026] Um insbesondere bei einem in Pulverform vorliegenden metallhaltigen Werkstoff die größtmögliche Dichte innerhalb des Werkstücks erzeugen zu können, sieht eine besonders bevorzugte Verfahrensvariante vor, dass der metallhaltige Werkstoff nach dem Erreichen des superplastischen Zustands weiter auf seine Diffusionsbeschleunigungstemperatur aufgeheizt wird. Diese Diffusionsbeschleunigungstemperatur ist legierungsabhängig und liegt zum Beispiel bei einem Werkzeugstahl in einer Größenordnung von etwa 1150°C. Legierungen aus Molybdän haben demgegenüber eine höhere Diffusionsbeschleunigungstemperatur über 1800°C und Legierungen aus Kupfer haben eine Diffusionsbeschleunigungstemperatur, die kleiner als 900°C ist. Vorzugsweise wird die Diffusionsbeschleunigungstemperatur über einen längeren Zeitraum, üblicherweise über einen Zeitraum von mehr als 30 Minuten gehalten. Die Haltezeit hängt insbesondere von der Diffusionsbeschleunigungstemperatur und dem ausgeübten Druck ab. Sie kann gegebenenfalls mehrere Stunden oder auch mehrere Tage betragen.

[0027] In einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform wird vorgeschlagen, dass der metallhaltige Werkstoff zumindest teilweise geschmolzen wird und in einem zumindest teilweise flüssigen Zustand verdichtet wird. Der metallhaltige Werkstoff braucht nicht vollständig geschmolzen zu sein. Es besteht zum Beispiel die Möglich-

keit, dass vor dem Verdichten nur eine Phase des metallhaltigen Werkstoffs geschmolzen wird. Diese Ausführungsform des Verfahrens kann für einige Anwendungszwecke vorteilhaft sein.

[0028] Damit ein metallhaltiges Pulver beziehungsweise eine metallhaltige Pulvermischung beim Heißpressen seine/ihre größtmögliche Dichte erreicht, müssen insbesondere die folgenden Prozessbedingungen eingehalten werden

a) ausreichend Zeit und eine ausreichend hohe Temperatur, damit der Diffusionsprozess stattfinden kann;

b) ein ausreichend hoher Druck, damit das metallhaltige Pulver fließen und die Leerstellen auffüllen kann (ein Bereich der superplastischen Deformation des metallhaltigen Pulvers ist dabei, wie oben bereits erwähnt, besonders vorteilhaft);

c) das Fehlen von Sauerstoff, um eine Oberflächenoxidation des metallhaltigen Pulvers zu vermeiden.

[0029] Der Druck, der während des Heißpressens (beispielsweise mittels eines Metallzylinders) auf den erwärmten metallhaltigen Werkstoff ausgeübt wird, ist vorzugsweise größer als 20 MPa. Der Druck während des Verdichtens des metallhaltigen Werkstoffs kann - abhängig von der Belastbarkeit des Formmaterials - insbesondere zwischen etwa 20 MPa und etwa 250 MPa betragen.

[0030] In einer weiteren vorteilhaften Weiterbildung des Verfahrens kann vor dem Aufheizen des metallhaltigen Werkstoffs ein Kaltpressschritt durchgeführt werden. Dieser ist insbesondere bei der Verwendung eines metallhaltigen Pulvers beziehungsweise einer metallhaltigen Pulvermischung besonders vorteilhaft. Durch den Kaltpressschritt kann die Porosität des metallhaltigen Pulvers beziehungsweise der metallhaltigen Pulvermischung geschlossen werden, um so wenig zusammenhängende Porosität wie möglich im Werkstoff zu belassen.

[0031] Nach dem Kaltpressschritt kann die evakuierbare Kammer gegebenenfalls mit einer Reduktionsatmosphäre gespült werden, bevor mit den übrigen Verfahrensschritten fortgefahren wird. In einer alternativen Variante kann das metallhaltige Pulver beziehungsweise die metallhaltige Pulvermischung auch in eine kontrollierte Atmosphäreumgebung eingegeben werden. Unabhängig davon, welcher Prozess verfolgt wird, ist es wichtig, die Anwesenheit von Sauerstoff zwischen Pulverkörnern möglichst zu vermeiden.

[0032] In einer besonders bevorzugten Ausführungsform ist vorgesehen, dass die Prozesswärme nach dem Verdichten des metallhaltigen Werkstoffs, vorzugsweise mittels einer Kühlvorrichtung, gezielt abgeführt wird. Ein Zweck einer derartigen gezielten Wärmeabfuhr kann darin bestehen, das Herstellungsverfahren insgesamt zu beschleunigen. Darüber hinaus können durch die geziel-

te Wärmeabfuhr die mikrostrukturellen Eigenschaften des Werkstücks eingestellt werden. Dabei ist es besonders vorteilhaft, wenn der auf den metallhaltigen Werkstoff ausgeübte Druck während der gezielten Abfuhr der Prozesswärme (Kühlphase) gehalten wird. Durch diese Maßnahme können Geometrieabweichungen, insbesondere Schrumpfungen des Werkstücks, weitgehend verhindert werden.

[0033] In einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform wird vorgeschlagen, dass sich an den Schritt des Verdichtens des metallhaltigen Werkstoffs oder des Abführens der Prozesswärme mindestens ein Nachbearbeitungsschritt anschließt. Dieser mindestens eine Nachbearbeitungsschritt kann insbesondere die Durchführung eines Feinbearbeitungs- und/oder Hartbearbeitungsverfahrens umfassen. Dabei können zum Beispiel Schleifverfahren, Hochgeschwindigkeitsfräsvfahren oder thermisch unterstützte Laserbearbeitungsverfahren zum Einsatz kommen. Der mindestens eine Nachbearbeitungsschritt wird nicht unter Vakuumbedingungen beziehungsweise unter einer Gasatmosphäre ausgeführt.

[0034] Zusammenfassend erlauben die hier vorgestellten Verfahren zur Herstellung eines Werkstücks, insbesondere eines Formgebungswerkzeugs beziehungsweise eines Formgebungswerkzeugteils, ein Maßschneidern von Funktionalitäten, die sich direkt aus der metallurgischen und mikrostrukturellen Zusammensetzung des verwendeten metallhaltigen Werkstoffs (insbesondere eines Werkzeugstahls) ableiten lassen.

[0035] Solche Funktionalitäten sind zum Beispiel

- Verschleißbeständigkeit,
- Wärmeleitfähigkeit,
- elektrische Leitfähigkeit,
- Beständigkeit unter thermischer und/oder mechanischer Beanspruchung,
- sensorische und aktuatorische Funktionalitäten auf der Grundlage piezoelektrischer Effekte, eines Formgedächtniseffektes oder der Absorption elektromagnetischer Wellen.

[0036] Dabei kann eine solche ortsvariable Funktionalitätsverteilung unterschiedlichen Motivationen folgen.

1. Integrales Temperaturmanagement

[0037] Im Bereich der Umformung von Blechwerkstoffen ist die Technologie des Press-, Form- oder Profilhärtens von zunehmendem Interesse für die Herstellung solcher Bauteile, die in Ihrer Anwendung höchsten Anforderungen hinsichtlich Sicherheit und Energieeffizienz genügen müssen. Solche Prozesse sind einerseits durch die Ausnutzung eines deutlich erhöhten Formänderungsvermögens bei hohen Prozesstemperaturen gekennzeichnet, andererseits durch die unmittelbar im Anschluss beziehungsweise bereits mit der Formgebung stattfindende thermische Behandlung. Sofern es sich bei

einer solchen thermischen Behandlung um ein Härten handelt, ist es aus technologischen Gründen, jedoch auch aus Gründen der Prozessproduktivität einerseits wünschenswert, eine schnelle Abfuhr der im Werkstück gespeicherten Wärme zu erreichen, andererseits kann jedoch eine vorzeitige Härtung die weitere Ausformung durch eine Herabsetzung des Formänderungsvermögens nachhaltig behindern. Die Folgen sind erhöhte Formgebungskräfte bis hin zum Bauteilversagen durch Rissbildung. Die Gefahr einer vorzeitigen Wärmeabfuhr tritt im Bereich des Blechhalters beim Presshärten auf, da hier der Erstkontakt Werkzeug-Werkstück noch vor Beginn des eigentlichen Umformprozesses und damit weit vor dem Erreichen der Endkontur des Werkstückes eintritt. Die damit verbundene vorzeitige Abkühlung kann dadurch vermieden beziehungsweise in ihrer Auswirkung reduziert werden, dass in diesem Bereich lokal vorliegende geringe Wärmeleitfähigkeiten für den Werkzeugwerkstoff vorgesehen werden. Aufgrund des zeitversetzten Kontaktes zwischen dem Werkzeug und dem Werkstück in den übrigen Bereichen ist hier eine entsprechend höhere Wärmeleitfähigkeit dagegen durchaus erwünscht.

2. Zeit- und ortsvariables Temperaturmanagement

[0038] Ist es nun das Ziel, durch eine Variabilisierung der thermischen Prozessbedingungen im Sinne orts- und zeitvariabler thermomechanischer Prozessbedingungen Bauteile herzustellen, die komplexe mikrostrukturelle Eigenschaftsverläufe aufweisen, so entstehen aus solchen Prozessstrategien durchaus komplexe Anforderungsprofile für das Werkzeug. Lokal veränderliche Wärmeleitfähigkeiten sind dabei nur ein Ausführungsmerkmal, andere Merkmale können darin bestehen, durch die Ausnutzung ortsvariabler elektrischer, piezoelektrischer Effekte, ja sogar auch Formgedächtniseffekten bis hin zur Absorption elektromagnetischer Wellen diese Flexibilisierung im Hinblick auf sensorische und aktuatorische Aufgaben im Sinne einer gezielten Einstellung lokaler thermischer und/oder mechanischer Prozessbedingungen zu unterstützen.

[0039] Gemäß Anspruch 10 umfasst eine erfindungsgemäße Vorrichtung zur Herstellung eines Werkstücks, insbesondere eines Formgebungswerkzeugs oder eines Formgebungswerkzeugteils:

- eine evakuierbare Kammer,
- eine hitzebeständige Form, die in der evakuierbaren Kammer untergebracht ist und ein erstes Formteil und mindestens ein zweites Formteil aufweist, die einen Formhohlraum bilden, wobei ein metallhaltiger Werkstoff, insbesondere ein metallhaltiges Pulver oder eine metallhaltige Pulvermischung, in den Formhohlraum einfüllbar ist,
- Mittel zum Erzeugen eines Vakuums in der evaku-

ierbaren Kammer,

- Mittel zum Erwärmen des metallhaltigen Werkstoffs in der hitzebeständigen Form,
- Mittel zum Verdichten des erwärmten metallhaltigen Werkstoffs in der hitzebeständigen Form durch Heißpressen.

[0040] Die erfindungsgemäße Vorrichtung ist insbesondere zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 9 geeignet, so dass Werkstücke, wie zum Beispiel Formgebungswerkzeuge beziehungsweise Formgebungswerkzeugteile, mit den oben beschriebenen vorteilhaften Eigenschaften hergestellt werden können. Die hitzebeständige Form, die zur Herstellung des Werkstücks verwendet wird, sollte hinsichtlich ihrer mechanischen Ausgestaltung dazu geeignet sein, dem Druck standzuhalten, welcher erforderlich ist, um ein metallhaltiges Pulver beziehungsweise eine metallhaltige Pulvermischung fließen zu lassen. Der während des Verdichtens auf den metallhaltigen Werkstoff wirkende Druck kann - abhängig von der Belastbarkeit des Formmaterials - zwischen etwa 20 MPa und etwa 250 MPa betragen.

[0041] In einer besonders vorteilhaften Ausführungsform ist vorgesehen, dass die Vorrichtung darüber hinaus Mittel zum Erzeugen einer Inertgasatmosphäre und/oder einer Reduktionsgasatmosphäre aufweist. Das Verdichten des metallhaltigen Werkstoffs kann bei einer derartigen Ausgestaltung der Vorrichtung in einer Inertgasatmosphäre oder einer Reduktionsgasatmosphäre durchgeführt werden. Dadurch kann eine Sauerstoffkontamination der Oberfläche des metallhaltigen Werkstoffs verhindert werden.

[0042] In einer besonders bevorzugten Ausführungsform kann die hitzebeständige Form eine keramikhaltige und/oder graphithaltige Form sein. Die auf das Formmaterial, aus dem die hitzebeständige Form hergestellt ist, einwirkenden Drücke sind im Allgemeinen größer als 20 MPa, häufig auch größer als 30 MPa bis 40 MPa, so dass Beton, Mörtel oder Zement mit einer geringen Wasserbeimischung und mit einem Gehalt mindestens eines Keramikwerkstoffs als Materialien zur Herstellung der hitzebeständigen Form besonders vorteilhaft sind. Dabei sind Al_2O_3 , Zirkonoxid, Siliziumkarbid oder SiO_2 die bevorzugten Zusatzwerkstoffe für die Herstellung der hitzebeständigen Form. Vorzugsweise kann der Beton, Zement oder Mörtel einen Gehalt von mindestens 40%, vorzugsweise von mindestens 60%, insbesondere von mindestens 80% Al_2O_3 aufweisen. Es kann zum Beispiel auch vorgesehen sein, dass der Beton, Zement oder Mörtel eine Festigkeit aufweist, die höher als 150 MPa (vorzugsweise höher als 200 MPa) ist.

[0043] Die Mittel zum Erwärmen des metallhaltigen Werkstoffs können in einer besonders vorteilhaften Ausführungsform mindestens ein Heizelement umfassen, das zum Beispiel in die hitzebeständige Form eingebettet

sein kann. Vorzugsweise erstreckt sich das mindestens eine Heizelement in Umfangsrichtung mindestens eines der Formteile (vorzugsweise in einem Abstand von etwa 10 bis 20 mm vom Formhohlraum), so dass ein gleichmäßiges Aufheizen des metallhaltigen Werkstoffs erreicht werden kann. Das mindestens eine Heizelement kann zum Beispiel aus einem Ni-Cr-Widerstandsdraht oder aus einem Fe-Cr-Al-Widerstandsdraht bestehen. Andere Widerstandsheizdrähte, die beispielsweise aus Molybdän oder Wolfram bestehen können, können ebenfalls verwendet werden. Auch ein induktiv arbeitendes Heizelement ist einsetzbar.

[0044] Ferner kann in einer bevorzugten Ausführungsform mindestens eine Kühlvorrichtung vorgesehen sein, die ebenfalls in die hitzebeständige Form eingebettet sein kann, geeignet, den metallhaltigen Werkstoff innerhalb der hitzebeständigen Form gezielt abzukühlen. Dadurch kann zusätzlich eine Kühlmöglichkeit für den in die hitzebeständige Form eingefüllten metallhaltigen Werkstoff zur Verfügung gestellt werden. Die Kühlvorrichtung kann zum Beispiel eine Anzahl von Hohlräumen umfassen, die bei der Herstellung definiert in die hitzebeständige Form eingebracht werden. Durch diese Hohlräume kann ein flüssiges oder gasförmiges Kühlfluid strömen, das mittels einer Versorgungseinrichtung oder dergleichen gefördert werden kann, um den metallhaltigen Werkstoff in der hitzebeständigen Form nach dem Verdichten gezielt kühlen zu können.

[0045] Die Kühlvorrichtung kann zum Beispiel mindestens ein Rohr umfassen, das in die hitzebeständige Form eingebettet ist und durch das ein flüssiges oder gasförmiges Kühlfluid zirkulieren kann. Die evakuierbare Kammer kann darüber hinaus auch mit einem gasförmigen Kühlfluid (zum Beispiel mit Stickstoff oder Argon) geflutet werden. Vorzugsweise kann das gasförmige Kühlfluid aus einem Drucktank oder einer Druckgasflasche in die Hohlräume, das Rohr oder die evakuierbare Kammer einströmen, da sich das Gas bei der Ausdehnung weiter abkühlt. Es besteht insbesondere die Möglichkeit, dass die Kühlvorrichtung einen Kühlkreislauf bildet, innerhalb dessen das Kühlfluid zirkulieren kann und innerhalb dessen beispielsweise ein Wärmetauscher oder eine Kompressionsstufe vorgesehen sein kann.

[0046] Darüber hinaus können zumindest ein Temperaturerfassungsmittel und Regelungsmittel vorgesehen sein, um die Temperatur des metallhaltigen Werkstoffs in der Form zu regeln.

[0047] Um die hitzebeständige Form zu erzeugen, wird zunächst ein Modell mit der gewünschten Geometrie des Werkstücks (beispielsweise eines Formgebungswerkzeugs beziehungsweise Formgebungswerkzeugteils) hergestellt. Dieses Formenmodell kann aus unterschiedlichen Materialien (zum Beispiel aus Polystyren, Polypropylen, Holz oder Aluminium) hergestellt werden. Zahlreiche andere Thermoplaste, Metalle oder sogar Keramikwerkstoffe können zur Herstellung des Formenmodells verwendet werden. Um das Formenmodell zu erhalten, können herkömmliche Verfahrenstechniken oder

auch so genannte Rapid-Prototyping-Techniken (zum Beispiel mechanisches Bearbeiten, Stereo-Lithographie, dreidimensionaler Wachsdruck, Gießen und so weiter) eingesetzt werden.

[0048] Mit dem auf diese Weise erhaltenen Formenmodell kann die Form zum Beispiel durch Gießen des hitzebeständigen Formmaterials hergestellt werden, insbesondere, wenn das Formmaterial ein Pulver oder Pulvergemisch, Beton, Mörtel oder dergleichen enthält. Wenn die Form in dieser Weise hergestellt wird, ist es sehr einfach, mindestens ein Heizelement (insbesondere ein Widerstandsheizelement oder ein Induktionsheizelement), ein Kühlelement und gegebenenfalls auch Temperaturerfassungsmittel in die Form einzubetten. Wenn die Form durch eine dreidimensionale keramische Drucktechnik oder durch eine vergleichbare Technik erzeugt wird, welche es erlaubt, die hitzebeständige Form direkt - also ohne weitere Zwischenschritte - zu erhalten, muss kein entsprechendes Formenmodell hergestellt werden. Dasselbe trifft zu, wenn die hitzebeständige Form durch eine unmittelbare mechanische Bearbeitung eines festen Blocks eines hitzebeständigen Formmaterials erhalten wird.

[0049] Wenn man die hitzebeständige Form zum Beispiel aus Beton herstellt, wird der Beton zusammen mit einer geringen Wasserbeimengung und vorzugsweise einer Beimischung eines Keramikwerkstoffs in das Formenmodell eingefüllt. Um eine Porenbildung zu vermeiden und auch kompliziertere Geometrien mit dem Formmaterial auszufüllen, sollte das Füllen des Formenmodells möglichst schnell erfolgen. Anschließend wird die Form bei einer hohen Temperatur (zum Beispiel etwa 1200° C) ausgehärtet, so dass die Restfeuchtigkeit aus dem Beton entweichen kann. Es besteht ferner die Möglichkeit, das Formenmodell während des Einfüllens des Formmaterials zum Beispiel auf einem Schwingungstisch oder dergleichen in Schwingungen zu versetzen. Es hat sich gezeigt, dass dadurch die Porosität der Form wesentlich verringert werden kann.

[0050] Nachdem die Form in der vorstehend beschriebenen Weise hergestellt und in der evakuierbaren Kammer bereitgestellt worden ist, kann der Formhohlraum zumindest teilweise mit dem metallischen Werkstoff, insbesondere mit einem metallhaltigen Pulver beziehungsweise mit einer metallhaltigen Pulvermischung gefüllt werden. Daran schließen sich dann die übrigen Prozessschritte für die Herstellung des Werkstücks an.

[0051] In einer besonders bevorzugten Ausführungsform wird vorgeschlagen, dass die Oberfläche des Formhohlraums der hitzebeständigen Form zumindest abschnittsweise eine Keramikschicht und/oder eine Trenn- und Schmiermittelschicht aufweist. Die Keramikschicht kann zum Beispiel eine Oxidschicht (zum Beispiel aus Zirkonoxid) oder eine Karbidschicht (zum Beispiel aus Siliziumkarbid) sein. Jedes andere Keramikmaterial, das nicht mit heißem Metall reagiert, kann ebenfalls verwendet werden. Die Trenn- und Schmiermittelschicht kann zum Beispiel aus Graphit, Molybdän-Disulfid, Schwefel,

Phosphor, Bornitrid, Glimmer oder einem anderen Material bestehen, welches die relativ hohen Prozesstemperaturen aushalten kann. Es ist ebenfalls sehr wünschenswert, dass das verwendete Formmaterial eine relativ geringe Wärmeleitfähigkeit aufweist, damit es als Isolator zwischen der Aufheizzone, in der das metallhaltige Pulver beziehungsweise das metallhaltige Pulvergemisch erwärmt wird, und dem Äußeren der Form dienen kann, insbesondere, wenn die hitzebeständige Form in einer vorteilhaften Ausführungsform einen vorgespannten Armierungsring aus Metall aufweist. Ein derartiger vorgespannter Armierungsring kann Druckspannungen in der Form erzeugen, um die Zugspannungen zu kompensieren, die beim Verdichten des erwärmten metallhaltigen Werkstoffs entstehen.

[0052] Um eine Reaktion des metallhaltigen Werkstoffs mit dem Formmaterial der hitzebeständigen Form zu vermeiden, kann die Oberfläche des Formhohlraums in einer besonders vorteilhaften Ausführungsform zumindest abschnittsweise eine Farbschicht oder Dispersionschicht aufweisen. Durch das Aufbringen einer Farbe beziehungsweise Dispersion kann die Oberfläche des Formhohlraums chemisch inerte gemacht werden. Auch Schmiermittel können zu diesem Zweck verwendet werden. Es kann auch vorteilhaft sein, die Emissivität der Oberfläche der keramischen Form zu erhöhen, um den Prozess energetisch effizienter zu gestalten und die Wärme dort zu halten, wo sie erforderlich ist. Das aktive Material der Farbe oder der Dispersion kann zum Beispiel Zirkonoxid, Bornitrid, Molybdändisulfid sein oder andere Komponenten auf Graphit-, Phosphor-, oder Sulfidbasis (um nur einige zu nennen) umfassen.

[0053] Um insbesondere die Scherfestigkeit der hitzebeständigen Form zu erhöhen, kann in einer bevorzugten Ausführungsform vorgesehen sein, dass die hitzebeständige Form mit Metallteilchen und/oder Metallstangen und/oder Metalldrähten und/oder Metalldrahtgeweben verstärkt ist. Als Material kann Eisen oder Stahl eingesetzt werden. Für Hochtemperaturanwendungen können jedoch besonders hitzebeständige Metalle, wie zum Beispiel Wolfram oder Molybdän und deren Legierungen und auch Legierungen auf Nickel- oder Kobaltbasis vorteilhafter sein. Zum Verstärken der hitzebeständigen Form können darüber hinaus auch Textilfasern und/oder Polymerfasern und/oder Keramikfasern und/oder Glasfasern und/oder Langfasergewebe dieser Werkstoffe verwendet werden.

[0054] Die Mittel zum Verdichten des metallhaltigen Werkstoffs können insbesondere einen Metallzylinder umfassen, der mit dem zweiten Formteil der hitzebeständigen Form in Wirkverbindung steht. Während des Betriebs der Vorrichtung kann der Metallzylinder einen ausreichend hohen Druck auf die hitzebeständige Form beziehungsweise einen Teil der hitzebeständigen Form ausüben, um dadurch den metallhaltigen Werkstoff in der Form zu verdichten.

[0055] Weitere Merkmale und Vorteile der vorliegenden Erfindung werden deutlich anhand der nachfolgen-

den Beschreibung bevorzugter Ausführungsbeispiele unter Bezugnahme auf die beiliegende Abbildung. Dabei zeigt

- 5 Fig. 1 eine schematisch stark vereinfachte Darstellung einer Vorrichtung gemäß einem bevorzugten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung, die zur Durchführung eines Verfahrens zur Herstellung eines Werkstücks, insbesondere eines Formgebungswerkzeugs oder eines Formgebungswerkzeugteils, geeignet ist.

[0056] Eine Vorrichtung, die zur Durchführung eines Verfahrens zur Herstellung eines Werkstücks, insbesondere eines Formgebungswerkzeugs oder eines Formgebungswerkzeugteils geeignet ist, umfasst eine evakuierbare Kammer 1 mit einem Vakuumsystem, mittels dessen im Inneren der evakuierbaren Kammer 1 ein Vakuum, vorzugsweise ein Hochvakuum in einer Größenordnung zwischen 10^{-3} und 10^{-7} mbar erzeugt werden kann. Das Vakuumsystem kann zum Beispiel eine Drehschieberpumpe und eine daran angeschlossene Turbomolekularpumpe umfassen. Die Drehschieberpumpe erzeugt dabei ein Vorvakuum für die Turbomolekularpumpe. Ferner sind Drucksensormittel vorgesehen, damit der Druck innerhalb der evakuierbaren Kammer 1 gemessen und kontinuierlich überwacht werden kann.

[0057] Die Vorrichtung weist ferner eine hitzebeständige Form 2 auf, die zum Beispiel keramisch und/oder graphitisch sein kann und ein erstes (unteres) Formteil 2a mit einem Formhohlraum sowie ein zweites (oberes), relativ zum ersten Formteil 2a bewegbar geführtes Formteil 2b umfasst. Man erkennt, dass der Innendurchmesser des ersten Formteils 2a größer als der Außendurchmesser des zweiten Formteils 2b ist, so dass das zweite Formteil 2b in den Formhohlraum des ersten Formteils 2a eingeführt werden kann. Die beiden hitzebeständigen Formteile 2a, 2b sind vorzugsweise aus Beton und einem Keramikwerkstoff (zum Beispiel Al_2O_3) hergestellt und weisen nur eine geringe Wasserbeimengung auf.

[0058] In das erste Formteil 2a ist ein Heizelement 3 eingebettet, damit das erste Formteil 2a bei der Durchführung des Verfahrens aufgeheizt werden kann. Vorzugsweise beträgt der Abstand des Heizelements 3 von der inneren Oberfläche des Formhohlraums des ersten Formteils 2a etwa 10 bis 20 mm. Das Heizelement 3 ist erforderlich, um die für die Herstellung des Werkstücks benötigte Temperatur zu erreichen. Dabei ist es vorteilhaft, wenn das Heizelement 3 wie in dem hier gezeigten Ausführungsbeispiel unmittelbar in die hitzebeständige Form 2 eingebettet ist. Das Heizelement 3 kann zum Beispiel ein Widerstandsheizelement oder ein Induktionsheizelement sein, wobei die letztgenannte Variante wegen kürzerer Aufheizzeiten und besserer Isolation vorteilhafter ist, wenngleich sie jedoch etwas schwieriger zu kalibrieren ist. Ferner kann eine (in Fig. 1 nicht explizit gezeigte) Kühlvorrichtung vorgesehen sein, mittels derer auch eine Kühlung des metallhaltigen Werkstücks in der

Form 2 möglich ist.

[0059] In Fig. 1 ist beispielhaft eine mögliche Position des Heizelements 3 innerhalb des ersten Formteils 2a der hitzebeständigen Form 2 gezeigt. Alternativ dazu kann das erste Formteil 2a auch modular aufgebaut sein und beispielsweise eine innere Kontaktlage, daran angrenzend das Heizelement 3 und schließlich ein Isolationssschild aufweisen. Darüber hinaus ist in dem hier gezeigten Ausführungsbeispiel in das erste Formteil 2a ein Temperaturerfassungsmittel 4 eingebettet, das insbesondere ein herkömmliches Thermoelement umfassen kann. Dadurch kann die Prozesstemperatur während der Durchführung des Verfahrens kontinuierlich überwacht werden. Durch das Vorsehen des mindestens einen Heizelements 3, (gegebenenfalls einer Kühlvorrichtung), des Temperaturerfassungsmittels 4 und einer Regelungseinrichtung kann die Prozesstemperatur während der Durchführung des Verfahrens sehr exakt geregelt werden.

[0060] Ferner weist die Vorrichtung einen Metallzylinder 5 auf, mittels dessen ein Druck in Pfeilrichtung auf das zweite (obere) Formteil 2b ausgeübt werden kann. Die Oberfläche des Formhohlraums der hitzebeständigen Form 2 kann vorteilhaft mit einer Keramikschicht und/oder mit einer Trenn- und Schmiermittelschicht beschichtet sein. Die Keramikschicht kann zum Beispiel eine Oxidschicht (zum Beispiel aus Zirkonoxid) oder eine Karbidschicht (zum Beispiel aus Siliziumkarbid) sein. Jedes andere Keramikmaterial, das nicht mit dem heißen Metall innerhalb des Formhohlraums reagiert, kann ebenfalls verwendet werden. Die Trenn- und Schmiermittelschicht kann zum Beispiel aus Graphit, Molybdändisulfid, Schwefel, Phosphor, Bornitrid, Glimmer oder einem anderen Material bestehen, welches den hohen Prozesstemperaturen standhalten kann. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, ein Glaspulver als Trennmittel zu verwenden. Glas hat den Vorteil, dass sich bei hohen Temperaturen eine Glastrennschicht bildet, die nachteilige Oberflächenreaktionen mit der Umgebungsatmosphäre wirksam verhindern kann.

[0061] Ein metallhaltiger Werkstoff in Form eines metallhaltigen festen Körpers oder mindestens einer Schicht oder eines Bereichs eines metallhaltigen Pulvers oder einer metallhaltigen Pulvermischung, aus dem/der das Werkstück hergestellt werden soll, wird in den Formhohlraum des ersten Formteils 2a eingebracht und darin gemäß einem ersten Ausführungsbeispiel unter Hochvakuumbedingungen mit Hilfe des mindestens einen Heizelements 3 erwärmt. Damit das Verdichten des metallhaltigen Pulvers beziehungsweise der metallhaltigen Pulvermischung so rasch wie möglich erfolgen kann, ist die Erzeugung eines Hochvakuums im Inneren der evakuierbaren Kammer 1 während des Verdichtens besonders vorteilhaft. Dadurch, dass das Erwärmen unter Hochvakuumbedingungen in der evakuierbaren Kammer 1 durchgeführt wird, kann eine Sauerstoffkontamination des metallhaltigen Werkstoffs wirksam verhindert, zumindest jedoch erheblich verringert werden. Dies

ist insbesondere bei einer Verwendung eines metallhaltigen Pulvers beziehungsweise einer metallhaltigen Pulvermischung von besonderer Wichtigkeit, um optimale Werkzeugeigenschaften zu erhalten.

[0062] Die Erzeugung eines Hochvakuums ist mit den meisten Formmaterialien, aus denen die Form hergestellt werden kann, recht schwierig, da sie insbesondere bei höheren Temperaturen zum Ausgasen neigen. Überaus wichtig ist es, möglichst keinen Sauerstoff zu haben, welcher die Qualität der Pulveroberfläche verschlechtert und das vollständige Verdichten und Diffusionsschweißen des metallhaltigen Pulvers beziehungsweise Pulvergemischs verhindert. Eine Möglichkeit, um bessere Prozessbedingungen zu erhalten, besteht darin, die hitzebeständige Form 2 in einer Reduktionsgasatmosphäre auszuhärten, um auf diese Weise sicherzustellen, dass Leerstellen innerhalb des Formmaterials mit der Reduktionsgasatmosphäre aufgefüllt werden. Alternativ dazu kann die hitzebeständige Form 2 in der evakuierbaren Kammer 1 vor dem Einfüllen des metallhaltigen Werkstoffs aufgeheizt werden, dann ein Vakuum erzeugt werden und anschließend die Kammer 1 mit einer Reduktionsatmosphäre gefüllt werden, um die Leerstellen innerhalb des Formmaterials aufzufüllen.

[0063] Um den Sauerstoffgehalt in der evakuierbaren Kammer 1 weiter zu verringern und damit die Prozessbedingungen weiter zu verbessern, besteht darüber hinaus die Möglichkeit, dass mehrere Spülungen der evakuierbaren Kammer 1 mit einer Reduktionsgasatmosphäre und/oder einer Inertgasatmosphäre durchgeführt werden, bevor schließlich das Hochvakuum in der evakuierbaren Kammer 1 erzeugt wird. Vorteilhaft kann zwischen zwei Spülungen zumindest kurzzeitig ein Vakuum in der evakuierbaren Kammer 1 erzeugt werden.

[0064] Gemäß einem zweiten Ausführungsbeispiel wird nach dem Einfüllen des metallhaltigen Werkstoffs in die hitzebeständige Form zunächst ein Vakuum in der evakuierbaren Kammer 1 erzeugt und über einen bestimmten Zeitraum t_{Vakuum} gehalten. Nach Ablauf des Zeitraums t_{Vakuum} wird in der evakuierbaren Kammer 1 eine Inertgasatmosphäre oder Reduktionsgasatmosphäre erzeugt und der metallhaltige Werkstoff erwärmt. Das Verdichten des erwärmten metallhaltigen Werkstoffs in der hitzebeständigen Form 2 erfolgt dann durch Heißpressen in der Inertgasatmosphäre oder Reduktionsgasatmosphäre.

[0065] Der metallhaltige Werkstoff wird in beiden Ausführungsbeispielen nach dem Einfüllen in den Formhohlraum des ersten Formteils 2a der hitzebeständigen Form 2 aufgeheizt und dabei gegebenenfalls in einen superplastischen Zustand versetzt, der (werkstoffabhängig) bei Temperaturen zwischen etwa 800°C und etwa 1050°C erreicht wird. Wenn der metallhaltige Werkstoff in Form eines metallhaltigen Körpers vorliegt, erfolgt das Heißpressen bevorzugt in diesem superplastischen Zustand. Das Heißpressen erfolgt vorteilhaft mit konstanter Dehnrates und einer konstanten Vorschubgeschwindigkeit des Metallzylinders 5. Der Druck, welcher während

des Heißpressens vom Metallzylinder 5 erzeugt wird und über das zweite Formteil 2b auf den metallhaltigen Werkstoff innerhalb des ersten Formteils 2a wirkt, kann zwischen etwa 20 MPa und etwa 250 MPa betragen. Der Druck kann dabei kontinuierlich oder nur phasenweise auf den metallhaltigen Werkstoff innerhalb der hitzebeständigen Form 2 wirken.

[0066] Wenn der metallhaltige Werkstoff in Form eines metallhaltigen Pulvers beziehungsweise einer metallhaltigen Pulvermischung vorliegt, kann das Heißpressen auch unter nicht-superplastischen Bedingungen erfolgen. Es ist jedoch besonders vorteilhaft, das metallhaltige Pulvers beziehungsweise die metallhaltige Pulvermischung durch Heißpressen im superplastischen Zustand zu verdichten. Anschließend kann das metallhaltige Pulvers beziehungsweise die metallhaltige Pulvermischung über einen bestimmten Zeitraum (zum Beispiel etwa zwei Stunden) auf dessen Diffusionsbeschleunigungstemperatur erwärmt werden. Durch diese Maßnahme kann die größtmögliche Materialdichte im Werkstück erzeugt werden. Die Diffusionsbeschleunigungstemperatur ist legierungsabhängig und liegt zum Beispiel bei einem Werkzeugstahl in einer Größenordnung von etwa 1150° C. Legierungen aus Molybdän haben im Vergleich dazu eine höhere Diffusionsbeschleunigungstemperatur über 1800° C und Legierungen aus Kupfer haben eine Diffusionsbeschleunigungstemperatur, die kleiner als 900° C ist. Vorzugsweise wird die Diffusionsbeschleunigungstemperatur über einen längeren Zeitraum, üblicherweise über einen Zeitraum von mehr als 30 Minuten gehalten. Die Haltezeit, die gegebenenfalls auch mehrere Tage betragen kann, hängt insbesondere von der Diffusionsbeschleunigungstemperatur und dem ausgeübten Druck ab. Es kann auch vorgesehen sein, dass der metallhaltige Werkstoff zumindest teilweise geschmolzen wird und in einem zumindest teilweise flüssigen Zustand verdichtet wird. Der metallhaltige Werkstoff braucht nicht vollständig geschmolzen zu sein.

[0067] Es besteht zum Beispiel die Möglichkeit, dass vor dem Verdichten nur eine Phase des metallhaltigen Werkstoffs geschmolzen wird. Diese Ausführungsform des Verfahrens kann für einige Anwendungszwecke vorteilhaft sein.

Es besteht zum Beispiel auch die Möglichkeit, dass in die hitzebeständige Form 2 mindestens zwei Schichten oder Bereiche mit unterschiedlichen metallhaltigen Pulvern beziehungsweise metallhaltigen Pulvermischungen eingefüllt werden. Ein Schichtaufbau mit mindestens zwei Schichten erlaubt in besonders vorteilhafter Weise die Herstellung eines Werkstücks (beispielsweise eines Formgebungswerkzeugs beziehungsweise Formgebungswerkzeugteils) mit gradierten Werkzeugeigenschaften mit Hilfe des hier vorgestellten Verfahrens. So ist es zum Beispiel möglich, Formgebungswerkzeuge beziehungsweise Formgebungswerkzeugteile mit unterschiedlichen mechanischen und/oder physikalischen Eigenschaften innerhalb ihres Volumens herzustellen. Eine Eigenschaftsgradierung im Volumen kann in einer,

zwei oder allen drei Raumrichtungen (kontinuierlich oder diskontinuierlich) erzeugt werden. Häufig ist eine vergleichsweise harte und verschleißfeste Werkzeugoberfläche gewünscht, wohingegen ein demgegenüber weicherer Werkzeuggrundkörper ausreichend oder gegebenenfalls sogar besonders vorteilhaft ist.

[0068] Um die Kosten für das Formgebungswerkzeug beziehungsweise das Formgebungswerkzeugteil zu verringern, ist eine schichtbeziehungsweise bereichsweise unterschiedliche Materialzusammensetzung ebenfalls vorteilhaft. So können die optimalen Werkzeugeigenschaften, die normalerweise mit hohen Kosten verbunden sind, nur dort vorgesehen sein, wo sie auch tatsächlich benötigt werden. Der übrige Teil des Formgebungswerkzeugs beziehungsweise Formgebungswerkzeugteils kann aus einem Material mit ausreichenden Eigenschaften und wesentlich geringeren Materialkosten aufgebaut werden.

Es kann ferner vorgesehen sein, dass die Prozesswärme nach dem Verdichten des metallhaltigen Werkstoffs mit Hilfe der optional vorgesehenen Kühlvorrichtung gezielt abgeführt wird. Ein Zweck einer derartigen gezielten Wärmeabfuhr kann darin bestehen, das Herstellungsverfahren insgesamt zu beschleunigen. Darüber hinaus können durch die gezielte Wärmeabfuhr die mikrostrukturellen Eigenschaften des Werkstücks eingestellt werden. Dabei ist es besonders vorteilhaft, wenn der Druck während der gezielten Abfuhr der Prozesswärme (Kühlphase) gehalten wird. Dadurch können in vorteilhafter Weise Geometrieabweichungen, insbesondere Schrumpfungen des Werkstücks, weitgehend verhindert werden. Die Kühlvorrichtung kann zum Beispiel eine Anzahl von Hohlräumen umfassen, die definiert in die hitzebeständige Form 2 eingebracht werden. Durch die Hohlräume kann ein flüssiges oder gasförmiges Kühlfluid strömen, das mittels einer Versorgungseinrichtung gefördert werden kann, um den metallhaltigen Werkstoff in der hitzebeständigen Form 2 gezielt kühlen zu können.

[0069] Die Kühlvorrichtung kann zum Beispiel auch mindestens ein Rohr umfassen, das in die hitzebeständige Form 2 eingebettet ist und durch das ein flüssiges oder gasförmiges Kühlfluid zirkulieren kann. Die evakuierbare Kammer 1 kann darüber hinaus auch mit dem Kühlfluid (zum Beispiel mit Stickstoff oder Argon) geflutet werden. Vorzugsweise kann das gasförmige Kühlfluid aus einem Drucktank oder einer Druckgasflasche in die Hohlräume, das Rohr oder die evakuierbare Kammer 1 einströmen, da sich das Gas bei der Ausdehnung zusätzlich weiter abkühlt. Es besteht insbesondere die Möglichkeit, dass die Kühlvorrichtung einen Kühlkreislauf bildet, innerhalb dessen das Kühlfluid zirkulieren kann und innerhalb dessen beispielsweise ein Wärmetauscher oder eine Kompressionsstufe vorgesehen sein kann.

Patentansprüche

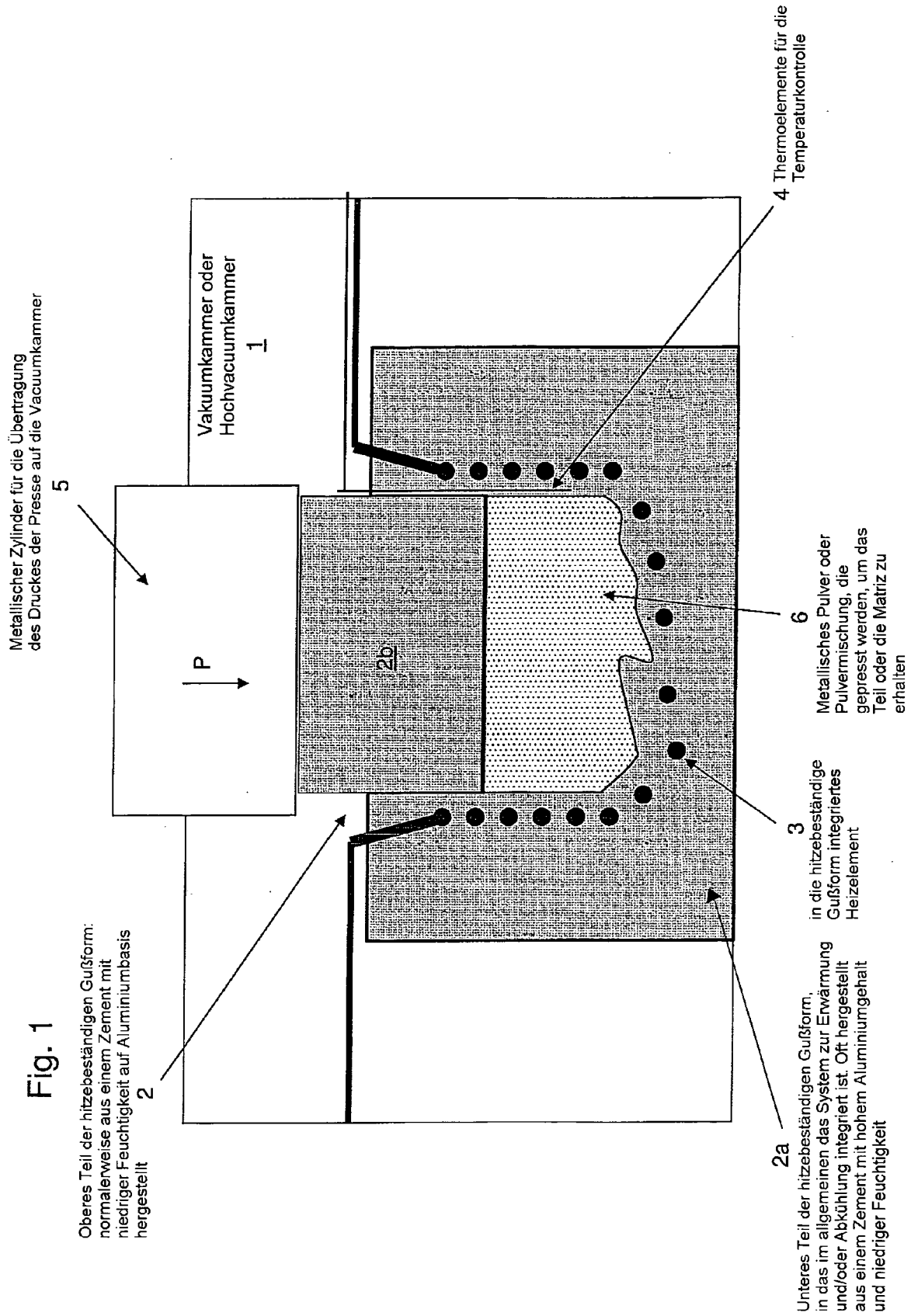
1. Verfahren zur Herstellung eines Werkstücks, insbesondere eines Formgebungswerkzeugs oder eines Formgebungswerkzeugteils, umfassend die Schritte:
 - Bereitstellen einer hitzebeständigen Form (2) mit einem ersten Formteil (2a) und mindestens einem zweiten Formteil (2b) in einer evakuierbaren Kammer (1),
 - Einfüllen eines metallhaltigen Werkstoffs in die hitzebeständige Form (2),
 - Erzeugen eines Vakuums in der evakuierbaren Kammer (1),
 - Erwärmen des metallhaltigen Werkstoffs,
 - Verdichten des erwärmten metallhaltigen Werkstoffs in der hitzebeständigen Form (2) durch Heißpressen unter Vakuumbedingungen.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Anzahl von Spülungen der evakuierbaren Kammer (1) mit einem Reduktionsgas und/oder einem Inertgas durchgeführt wird, bevor das Vakuum in der evakuierbaren Kammer (1) erzeugt wird.
3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** in der evakuierbaren Kammer (1) ein Hochvakuum erzeugt wird und das Heißpressen des erwärmten metallhaltigen Werkstoffs unter Hochvakuumbedingungen durchgeführt wird.
4. Verfahren zur Herstellung eines Werkstücks, insbesondere eines Formgebungswerkzeugs oder eines Formgebungswerkzeugteils, umfassend die Schritte:
 - Bereitstellen einer hitzebeständigen Form (2) mit einem ersten Formteil (2a) und mindestens einem zweiten Formteil (2b) in einer evakuierbaren Kammer (1),
 - Einfüllen eines metallhaltigen Werkstoffs in die hitzebeständige Form (2),
 - Erzeugen eines Vakuums in der evakuierbaren Kammer (1) und Halten des Vakuums über einen Zeitraum t_{Vakuum} ,
 - Erzeugen einer Inertgasatmosphäre oder Reduktionsgasatmosphäre in der evakuierbaren Kammer (1) nach Ablauf des Zeitraums t_{Vakuum} ,
 - Erwärmen des metallhaltigen Werkstoffs,
 - Verdichten des erwärmten metallhaltigen Werkstoffs in der hitzebeständigen Form (2) durch Heißpressen in der Inertgasatmosphäre oder Reduktionsgasatmosphäre.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** der metallhaltige Werkstoff in Form mindestens einer Schicht eines metallhaltigen Pulvers oder einer metallhaltigen Pulvermischung in die hitzebeständige Form (2) eingefüllt wird.
6. Verfahren nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** beim Einfüllen des metallhaltigen Pulvers oder der metallhaltigen Pulvermischung mindestens zwei Schichten oder Bereiche mit unterschiedlicher chemischer Zusammensetzung erzeugt werden.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** der metallhaltige Werkstoff zumindest teilweise geschmolzen wird und in einem zumindest teilweise flüssigen Zustand verdichtet wird.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** vor dem Aufheizen des metallhaltigen Werkstoffs ein Kaltpressschritt durchgeführt wird.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Prozesswärme nach dem Verdichten des metallhaltigen Werkstoffs gezielt abgeführt wird.
10. Vorrichtung zur Herstellung eines Werkstücks, insbesondere eines Formgebungswerkzeugs oder eines Formgebungswerkzeugteils, umfassend
 - eine evakuierbare Kammer (1),
 - eine hitzebeständige Form (2), die in der evakuierbaren Kammer (1) untergebracht ist und ein erstes Formteil (2a) und mindestens ein zweites Formteil (2b) aufweist, die einen Formhohlraum bilden, wobei ein metallhaltiger Werkstoff, insbesondere ein metallhaltiges Pulver oder eine metallhaltige Pulvermischung in den Formhohlraum einfllbar ist,
 - Mittel zum Erzeugen eines Vakuums in der evakuierbaren Kammer (2),
 - Mittel zum Erwärmen des metallhaltigen Werkstoffs in der hitzebeständigen Form (2),
 - Mittel zum Verdichten des erwärmten metallhaltigen Werkstoffs in der hitzebeständigen Form (2) durch Heißpressen.
11. Vorrichtung nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Vorrichtung darüber hinaus Mittel zum Erzeugen einer Inertgasatmosphäre und/oder einer Reduktionsgasatmosphäre aufweist.
12. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 10 oder 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Mittel zum Erwärmen des metallhaltigen Werkstoffs mindestens

ein Heizelement (3) umfassen, das in die hitzebeständige Form (2) eingebettet ist, und dass die Vorrichtung mindestens eine Kühlvorrichtung umfasst, geeignet, den metallhaltigen Werkstoff innerhalb der hitzebeständigen Form (2) gezielt abzukühlen, wobei die Kühlvorrichtung vorzugsweise in die hitzebeständige Form (2) eingebettet ist. 5

13. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 10 bis 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** die hitzebeständige Form (2) aus Beton, Zement oder Mörtel mit einer Beimischung mindestens eines Keramikwerkstoffs besteht. 10
14. Vorrichtung nach Anspruch 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Beton, Zement oder Mörtel einen Gehalt von mindestens 40 %, vorzugsweise von mindestens 60 %, insbesondere von mindestens 80 % Al_2O_3 aufweist. 15
20
15. Vorrichtung nach Anspruch 13 oder 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Beton, Zement oder Mörtel eine Festigkeit aufweist, die höher als 150 MPa, vorzugsweise höher als 200 MPa ist. 25
16. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 10 bis 15, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Vorrichtung einen mechanisch vorgespannten Armierungsring umfasst, geeignet, Druckspannungen in der hitzebeständigen Form (2) zu erzeugen. 30
17. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 10 bis 16, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Oberfläche des Formhohlraums der hitzebeständigen Form (2) zumindest abschnittsweise eine Keramikschicht und/oder eine Trenn- und Schmiermittelschicht aufweist. 35
18. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 10 bis 17, **dadurch gekennzeichnet, dass** die hitzebeständige Form (2) mit Metallteilchen und/oder Metallstangen und/oder Metalldrähten und/oder Metalldrahtgewebe verstärkt ist. 40
19. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 10 bis 18, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Mittel zum Verdichten des metallhaltigen Werkstoffs einen Metallzylinder (5) umfassen, der mit dem zweiten Formteil (2b) der hitzebeständigen Form (2) in Wirkverbindung steht. 45
50

55

Fig. 1





EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 08 38 2020

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	DE 101 46 986 A1 (SCHOTT GLAS [DE]) 10. April 2003 (2003-04-10)	1-12, 16-19	INV. B22F5/00
Y	* Abbildung 2 * * Absätze [0036], [0037] * -----	13-15	B22D27/09 B22D27/15
X	US 2004/009087 A1 (YI WUWEN [US] ET AL) 15. Januar 2004 (2004-01-15)	1-3	
A	* Abbildung 5 * * Absatz [0025] - Absatz [0029] * -----	4-19	
X	WO 2005/049251 A (METSO POWDERMET OY [FI]; LAITINEN ARTTU [FI]) 2. Juni 2005 (2005-06-02)	1-3	
A	* Abbildungen 1,2 * * Anspruch 1 * -----	4-19	
X	US 5 850 590 A (FURUTA SEIYA [JP] ET AL) 15. Dezember 1998 (1998-12-15)	1-12, 16-19	
Y	* Abbildung 1 * * Beispiel 1 * -----	13-15	
D,Y	EP 1 892 049 A (ROVALMA S A [ES]) 27. Februar 2008 (2008-02-27)	13-15	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
A	* Absatz [0014] - Absatz [0017] * -----	1-15	B22F B22D
D,A	EP 0 993 886 B (ISUZU MOTORS LTD [JP]) 28. Mai 2003 (2003-05-28)	1-19	
	* das ganze Dokument * -----		
-/--			
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort		Abschlußdatum der Recherche	
Den Haag		20. Oktober 2008	
		Prüfer	
		Morra, Valentina	
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE			
X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentedokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

2

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 08 38 2020

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
A	RIZKALLAH C ET AL: "CONDUITE AVANCEE DU PROCEDE DE COMPACTAGE ISOSTATIQUE A CHAUD (CIC). APPLICATION AU COMPACTAGE DE L'ASTROLOY//ADVANCED PROCESS CONTROL OF HOT ISOSTATIC PRESSING. APPLICATION TO STROLOY HIP" CAHIERS D'INFORMATIONS TECHNIQUES DE LA REVUE DE METALLURGIE, REVUE DE METALLURGIE. PARIS, FR, Bd. 98, Nr. 12, 1. Dezember 2001 (2001-12-01), Seiten 1109-1128, XP001101513 ISSN: 0035-1563 * das ganze Dokument * -----	1-19	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort		Abschlußdatum der Recherche	Prüfer
Den Haag		20. Oktober 2008	Morra, Valentina
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentedokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument			

 2
EPO FORM 1503 03.02 (P04C03)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 08 38 2020

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentedokumente angegeben.

Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

20-10-2008

Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
DE 10146986	A1	10-04-2003	KEINE		
US 2004009087	A1	15-01-2004	US	2005178661 A1	18-08-2005
WO 2005049251	A	02-06-2005	FI	20031698 A	22-05-2005
US 5850590	A	15-12-1998	KEINE		
EP 1892049	A	27-02-2008	WO	2006056621 A2	01-06-2006
EP 0993886	B	28-05-2003	DE	69908273 D1	03-07-2003
			DE	69908273 T2	08-04-2004
			EP	0993886 A2	19-04-2000
			JP	2000117348 A	25-04-2000
			US	6387309 B1	14-05-2002

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- DE 19825223 C2 [0008]
- WO 0220863 A1 [0008]
- DE 19508959 C2 [0008] [0010]
- DE 19752505 C1 [0008]
- DE 69814896 T2 [0008]
- EP 1281461 A1 [0008]
- EP 0919635 A2 [0008]
- DE 69908273 T2 [0011]
- WO 2006056621 A2 [0012]