

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
31. Oktober 2002 (31.10.2002)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 02/085561 A2

(51) Internationale Patentklassifikation⁷: **B23B 27/14**,
C22C 29/08

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE02/01460

(22) Internationales Anmeldedatum:
20. April 2002 (20.04.2002)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
101 20 172.9 24. April 2001 (24.04.2001) DE

(DE). **BUCHKREMER, Hans-Peter** [DE/DE]; Im Mühlenkamp 31, 52525 Heinsberg (DE). **AHMAD-KHAN-LOU, Ariane, Marjam** [DE/GR]; Avlidos 2, GR-15127 Melissia (GR). **BRAM, Martin** [DE/DE]; Meyburginsel 31, 52428 Jülich (DE). **STÖVER, Detlev** [DE/DE]; Taubenforst 9, 52328 Niederzier (DE).

(74) **Gemeinsamer Vertreter: FORSCHUNGSZENTRUM JÜLICH GMBH**; Wilhelm-Johnen-Strasse, 52425 Jülich (DE).

(81) **Bestimmungsstaaten (national):** JP, US.

(84) **Bestimmungsstaaten (regional):** europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR).

(71) **Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): FORSCHUNGSZENTRUM JÜLICH GMBH** [DE/DE]; Wilhelm-Johnen-Strasse, 52425 Jülich (DE).

(72) **Erfinder; und**

(75) **Erfinder/Anmelder (nur für US): NELLES, Heinz** [DE/DE]; Krausstr. 6, 52459 Inden (DE). **BADER, Volker** [DE/DE]; Mittelstr. 13, 41836 Hückelhoven

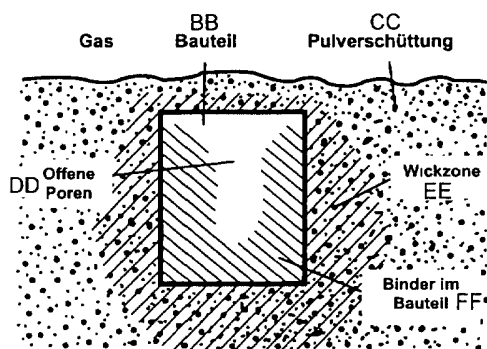
Veröffentlicht:

— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

(54) **Title:** PRODUCTION OF COMPONENT PARTS BY METAL INJECTION MOULDING (MIM)

(54) **Bezeichnung:** HERSTELLUNG VON BAUTEILEN DURCH METALLFORMSPRITZEN (MIM)



(57) **Abstract:** The invention relates to a method for producing component parts with a high degree of dimensional precision, made of NiTi-shape memory alloys. The invention makes it possible to apply a known metal injection moulding method to NiTi-shape memory alloys by adapting the binding system, temperature control and reducing the time necessary for debinding.

(57) **Zusammenfassung:** Die Erfindung betrifft ein Herstellungsverfahren zur endkonturnahen Herstellung von Bauteilen aus NiTi-Formgedächtnislegierungen. Das bekannte Verfahren des Metallformspritzens wird durch Anpassung des Bindersystems sowie der Temperaturführung und Zeitminimierung bei der Entbinderung erfindungsgemäß für den Einsatz von NiTi-Formgedächtnislegierungen ermöglicht.

- BB COMPONENT PART
- CC POWDER LAYER
- DD OPEN PORES
- EE ABSORPTION AREA
- FF BINDING IN THE COMPONENT

WO 02/085561 A2

Beschreibung

Herstellung von Bauteilen durch Metallformspritzen (MIM)

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung von Bauteilen, insbesondere ein Verfahren der endabmessungsnahen Herstellung von Bauteilen mit Hilfe des Metallformspritzens.

5

Stand der Technik

Das Metallformspritzen (MIM = Metal Powder Injection Moulding), auch Metallpulverspritzen genannt, ist als ein Verfahren zur Massenherstellung von metallischen Bauteilen bekannt, insbesondere für die endkonturnahe (NNS = near net shape) Herstellung solcher Bauteile (R.M. German, A. Bose (Hrsg.): "Injection Moulding of Metals and Ceramics", New Jersey, Metal Powder Industries Federation MPIF (1997)).

15

Das MIM-Verfahren erlaubt es, kleine bis mittelgroße komplex geformte Teile in hohen Stückzahlen kostengünstig und automatisiert herzustellen. Das MIM-Verfahren liefert Bauteile mit einer Dichte von 95 - 98% der theoretischen Dichte, durch nachträgliches heißisostatisches Pressen der Körper (ohne Kapselwerkstoff) kann eine Dichte von 100% erzielt werden.

20

Das Verfahren umfaßt das Plastifizieren von Metallpulvern mit sphärischer bzw. irregulärer Morphologie (Partikelgrößen des Pulvers 5 - 300 μm) mittels eines Bin-

25

dersystems zu einem sog. Feedstock. Die Homogenisierung des feedstocks erfolgt in einem Kneteter. Danach wird der feedstock in die Spritzgußmaschine eingefüllt. In einer beheizten Zone werden Teile des Bindersystems (z. B. geeignete Wachse) aufgeschmolzen. Eine Schnecke fördert die thermoplastische Masse in das teilbare Formenwerkzeug. Nach Beendigung der Formfüllung erstarrt die Flüssigphase wieder und ermöglicht die Entnahme des Bauteils aus der Form. Die Entfernung des Bindersystems erfolgt durch einen der Sinterung vorgeschalteten Entbinderungsschritt. Je nach Bindersystem werden dabei die Zusatzstoffe auf unterschiedliche Art wieder aus dem Bauteil entfernt.

Es wird unterschieden zwischen thermischen Entbinderungsverfahren (Herausschmelzen oder Zersetzen über die Gasphase), Lösungsmitlextraktion sowie katalytische Entbinderung. Im Anschluß erfolgt der Sinterprozeß, bei dem über Diffusionsprozesse eine Verdichtung des Bauteils auf bis zu 98 % der theoretischen Dichte erreicht wird. Aufgrund des hohen Bindergehalts treten beim Sintern große Schwindungen (15 - 20 %) auf. Die Kontrolle des Schwindungsverhaltens ist eine der wesentlichen Anforderungen bei der Herstellung von near-net-shape Bauteilen.

Typische geeignete Materialien für die metallische Komponente beim Metallpulverspritzen sind rostfreier Stahl, Carbonstahl, Werkzeugstahl oder Legierungsstahl, aber auch Ferrit, Wolframcarbid und Mischungen aus Kupfer /Bronze, Kobalt/Chrom oder auch Wolfram/Kupfer.

Formgedächtnislegierungen sind Metalle, die nach einer Verformung wieder ihre ursprüngliche Gestalt annehmen, wenn man sie auf eine bestimmte Temperatur erwärmt. Dabei können sie beachtliche Kräfte entfalten. (W.J. Buehler, J.V. Gilfrich, R.C. Wiley: Ocean Eng. 1 (1968), 105). Vielleicht am bekanntesten sind Nickel-Titan-Legierungen.

Mögliche Einsatzgebiete für Formgedächtnislegierungen sind Mikromanipulatoren und Roboteraktuatoren, die die fließenden Bewegungen menschlicher Muskeln nachahmen können. Bei Stahlbetonstrukturen könnten Sensoren aus Formgedächtnislegierungen eingesetzt werden, die beispielsweise Risse im Beton oder Korrosion in den Stahl-Verstärkungsstangen aufspüren und den im Innern auftretenden Spannungen entgegenwirken.

Bisher werden Formgedächtnislegierungen auf der Basis der intermetallischen Phase NiTi bevorzugt schmelzmetallurgisch hergestellt. Die konventionelle Formgebung durch mechanische Bearbeitung von schmelzmetallurgischen Halbzeugen aus NiTi-Werkstoffen ist jedoch begrenzt, da die Legierungen im martensitischen Zustand eine hohe Bruchdehnung aufweisen und damit eine schlechte Zerspanbarkeit besitzen. Infolgedessen ist eine Nachbearbeitung von schmelzmetallurgisch hergestellten Bauteilen nur unter zeitlich hohem Aufwand und hohem Werkzeugverschleiß möglich.

Der Einsatz des Metallformspritz-Verfahrens auch für NiTi-Formgedächtnislegierungen scheiterte bislang daran, daß neben einer wirtschaftlichen Produktion auch

alle für die Formgedächtniseigenschaften notwendigen geringen Verunreinigungsgehalte im Endprodukt gewährleistet sein müssen. Die sich ergebende Schwierigkeit bei der NiTi-Bauteilfertigung über Metallpulverspritzguß (MIM) liegt darin, den Gehalt an Sauerstoff und Kohlenstoff so gering wie möglich zu halten. Hohe Verunreinigungsgehalte führen zu einer verminderten Sinteraktivität der Metallpulver und verschlechtern die Werkstoffeigenschaften im gesinterten Bauteil (z. B. durch Versprödung).

Eine weitere wichtige Voraussetzung für die Herstellung von NiTi-Formgedächtnislegierungen ist die genaue und reproduzierbare Einstellung der Legierungszusammensetzung. Bereits geringe Abweichungen in der Zusammensetzung führen zu deutlichen Abweichungen der charakteristischen Eigenschaften (z. B. der Umwandlungstemperaturen).

20 Aufgabe und Lösung

Aufgabe der Erfindung ist es, ein effektives und kostengünstiges Verfahren zur endkonturnahen Fertigung von Bauteilen aus einer vorlegierten NiTi-Formgedächtnislegierung zu schaffen. Weiterhin ist es Aufgabe der Erfindung die für das Verfahren notwendigen Materialien zur Verfügung zu stellen.

Die Aufgabe wird gelöst durch ein Verfahren mit der Gesamtheit der Merkmale des Hauptanspruchs. Vorteilhaft ausgeführte Ausführungsformen des Verfahrens und der dazu benötigten Materialien finden sich in den jeweils darauf rückbezogenen Unteransprüchen.

Gegenstand der Erfindung

Das erfindungsgemäße Verfahren zur endkonturnahen Herstellung von Bauteilen aus vorlegierten NiTi-Formgedächtnislegierungen umfaßt die folgenden Schritte.

5 Vorlegiertes NiTi-Pulver wird mit einem thermoplastischen Bindersystem zu einem Feedstock gemischt. Der Feedstock wird durch einen Spritzvorgang in die Form des Bauteils gebracht. Das Bauteil wird einem kapillaraktiven Stoff ausgesetzt, vorentbindert und anschließend

10 einem thermischen Entbinderungsprozeß unterzogen. Hierauf folgt das Sintern zum fertigen Bauteil.

Eine vorteilhafte Verfahrensvariante sieht die Verwendung eines Zwei-Komponenten-Binders auf Wachsbasis vor,

15 insbesondere eines Zwei-Komponenten-Binders aus einem Amidwachs und einem Polyolefinwachs in geeigneter Zusammensetzung. Das Amidwachs beeinflusst die Fließfähigkeit des Feedstocks und dient der Plastifizierung, während das Polyolefin zur Stabilisierung des Feedstocks

20 und des daraus erhaltenen Bauteils beiträgt.

Es können so Spritzgußmassen mit Viskositäten von ca. 5 bis 30 Pa·s verspritzt werden. Die sehr gute Fließfähigkeit der Masse erlaubt ein schnelles Einspritzen sowie eine lunker- und fehlerfreie Füllung selbst komplizierter Kavitäten mit Hinterschneidungen.

25

Ein weiterer Vorteil ist die hohe Werkstoffausbeute, da alle anfallenden Spritznebenprodukte ohne Qualitätsverlust wieder in den Herstellungsprozeß zurückgeführt

30 werden können. Dies erhöht die Wirtschaftlichkeit ins-

besondere im Hinblick auf die Verarbeitung teurer Werkstoffe.

5 Als weiterer Verfahrensschritt ist der Entbindungsprozeß anzusehen. Hierbei wird in einem kapillaraktiven Stoff bei 120 bis 150 °C die plastifizierende Komponente (Amidwachs) vorentbindert. Dies führt zu einer partiellen Entbinderung des gesamten Grünkörpers. Dieser Vorgang dauert ca. 2 Stunden. Hieran anschließend folgt die thermische Entbinderung bei der Komponenten bei ca. 480°C für 10 Stunden. Je nach Material können die kapillaraktiven Stoffe Sande oder keramische Pulver
10 (z. B. ZrO_2 , SiO_2 , SiC , Si_3N_4 oder Al_2O_3) sein. Das als Trennmittel zwischen dem kapillaraktiven Material und dem Bauteil dient Filterpapier, welches beim Entbindungsprozeß rückstandslos verascht.
15

20 Der Vorteil des erfindungsgemäßen Herstellungsverfahrens liegt darin, die Anteile an Kohlenstoff und Sauerstoff so gering zu halten, daß sie den Anforderungen für gute Formgedächtniseigenschaften genügen.

25 In Experimenten konnten beispielsweise Kohlenstoffanteile von 1400 ppm und Sauerstoffanteile von 2300 ppm (Tabelle 1) erhalten werden. Bei diesen Verunreinigungsgehalten konnte die für die Formgedächtniseigenschaften wichtige reversible Austenit-Martensit-Umwandlung durch DSC-Messungen (differential scanning
30 calometry) nachgewiesen werden. Durch das erfindungsge-

mäße Verfahren können Ni-Ti-Bauteile mit einer Dichte von $\leq 95\%$ reproduzierbar hergestellt werden.

Spezieller Beschreibungsteil

5 Metal Powder Injection Moulding (MIM), auch als Metallpulverspritzguß bezeichnet, ist ein pulvermetallurgisches Formgebungsverfahren, welches eine kostengünstige und endkonturnahe Herstellung sehr komplizierter Formteile rationell und automatisierbar ermöglicht. Darüber
10 hinaus zeichnet sich das Pulverspritzen durch eine hohe Werkstoffausbeute aus, was eine effiziente Ausnutzung des derzeit noch recht teuren vorlegierten NiTi-Pulvers sicherstellt, da die anfallenden Angüsse und Ausschussteile dem Prozeß wieder zugeführt werden. Das Verfahren
15 verbindet die Vorteile des Spritzgießens von Thermoplasten (aus der Kunststoffverarbeitung bekannt) mit den metallkundlichen Möglichkeiten der Pulvermetallurgie.

20 1.) Pulver und Feedstockherstellung:
Für die Eignung eines Pulvers sind mehrere Faktoren entscheidend. Grundvoraussetzung ist eine hohe Reinheit der Ausgangspulver, da eine Zunahme an Verunreinigungen wie Sauerstoff, Kohlenstoff und Stickstoff im Pulver
25 während des Prozeßverlaufs unvermeidlich ist. Diese führen bei der Verarbeitung von Ti-Legierungen, die eine hohe Affinität zu diesen Elementen besitzen, zur Bildung von Oxiden, Carbiden und Nitriden. Diese wiederum beeinflussen die Formgedächtniseigenschaften und
30 führen zu einer Versprödung des Werkstoffs. Im Normalfall sollten Pulver der Korngröße (KG) $< 25\mu\text{m}$ eingesetzt werden. Größere Pulver würden zu niedrigeren End-

dichten führen. Ebenso spielt die Kornform eine Rolle, da z. B. sphärische Pulver eine höhere Packungsdichte ermöglichen und somit geringere Bindermengen benötigt werden, was eine geringere Schrumpfung des Bauteils bewirkt. Die Pulver werden mit heizbaren Knetern unter Zugabe des jeweiligen Bindersystems zum Feedstock verarbeitet. Der Binder übernimmt die Aufgabe, dem Pulver die richtigen rheologischen Eigenschaften für den Spritzvorgang zu verleihen und einen handhabbaren und stabilen Grünkörper zu gewährleisten. Jedoch ist eine rückstandsfreie Entfernung des Binders eine für die Eigenschaften des Bauteils wichtige Anforderung. Die Binderauswahl ist entscheidend für die Güte des Produkts, daher ist die richtige Binderzusammensetzung als ein „Know-How“ anzusehen. Da die genannten Anforderungen an Bindersysteme nicht allein durch ein System zu erfüllen sind, wird in der Regel ein Multikomponentensystem eingesetzt um zum einen die notwendige Viskosität beim Spritzen und zum anderen eine ausreichende Stabilität des Grünkörpers während der Entbinderung bzw. Sinterung zu gewährleisten. Die Bauteile sollten im Grünzustand frei von Spritzfehlern wie inneren Gaskanälen und Lunkern sowie Entmischungsinhomogenitäten sein. Ebenso muß das Bindersystem gute plastische und elastische Eigenschaften aufweisen, damit es aufgrund der unterschiedlichen thermischen Dehnung des Binders und des Pulvers beim Kühlen und Erstarren der Proben nicht zu Erstarrungsrissen kommt. Dies ist zum einen über die Prozeßsteuerung aber auch durch die Wahl eines geeigneten Bindersystems zu erreichen. Während des Verarbeitungsprozesses darf es zu keiner chemischen Reak-

tion zwischen Pulver und Binder, kommen und es sollte ein gute Benetzbarkeit vorliegen.

Generell sind folgende Bindersysteme als bekannt zu bezeichnen, die sich im wesentlichen im Entbinderungsprozeß unterscheiden:

- 5 - Thermoplastische Binder;
- Polymerisations-Binder;
- Gelbildende Binder;
- Extraktionsbinder;
- 10 - Duroplaste.

Die Verwendung von thermoplastischen Bindern ist zur Zeit am stärksten verbreitet. Hierzu gehören kommerziell erhältliche Polymere wie Polyethylene, Polystyrene, Polypropylene und Wachse. Wachse bzw. niedermolekulare Polymere werden meistens als Hauptkomponente eingesetzt.

Bei dem in dem Verfahren eingesetzten Ausgangspulver kann beispielsweise ein kommerziell erhältliches, aus der Schmelze verdüstes NiTi Pulver mit einer KG < 25 μm und sphärischen Partikeln eingesetzt werden. Als vorteilhafte Binderkomponenten haben sich die Thermoplaste Amidwachs (als Plastifizierer) und Polyolefin (als Stabilisator) herausgestellt. Der sich ergebende Vorteil liegt in der Möglichkeit einer rein thermischen Entbinderung, die den Prozeß vereinfacht und zeitlich verkürzt und somit kosteneinsparend wirkt. Der Aufwand eines Zwischenschritts wie katalytische Entbinderung oder Lösungsmittelextraktion wird hierdurch vermieden.

2.) Entbinderung

Der Entbinderungsprozeß stellt eine wichtige Prozeßstufe für die Erreichung der Qualität der Fertigteile dar. Die Zeitintensität des Verfahrens beeinflusst die Rentabilität des Gesamtprozesses. Das Entbinderungsverfahren richtet sich nach dem jeweilig eingesetzten Bindersystem.

Bei der erfindungsgemäßen thermischen Entbinderung wird das Bindersystem durch das Erhitzen verflüssigt. Der flüssige Binder wird von der Formoberfläche entfernt, wodurch ein Konzentrationsgefälle vom Formteilinneren zur Oberfläche entsteht. Mit Hilfe der Kapillarkräfte wird ständig Binder aus dem Inneren an die Oberfläche transportiert, was zu einer kontinuierlichen Entbinderung führt.

Als eine sehr effektive Methode zur Entfernung des Wachses hat sich das kapillarkraftinduzierte Aufsaugen (Wicken) des Wachses im Temperaturbereich zwischen 120°C und 150°C bewährt. Hierbei wird mit einer Pulverschüttung gearbeitet, deren KG-Verteilung deutlich unterhalb der des Ausgangsmaterials liegt. Die Einbettung des Formteils vermindert die Entbinderungszeit erheblich und wirkt sich zudem stabilisierend auf das Bauteil aus.

Durch die Kapillarkräfte wird das aufgeschmolzene Wachs aus dem Bauteil herausgesogen. Die Verwendung von Filterpapier unterstützt diesen Effekt und schützt die Bauteile vor Anhaftung des verwendeten Wickmaterials. Das Bindersystem ist so aufgebaut, daß nach dem Entbinderungsprozeß der plastifizierende Anteil ausgetrieben bzw. verdampft ist. Ein geringer Restbinderanteil zwi-

schen einzelnen Partikeln gewährleistet die Formstabilität des Grünkörpers, bis dieser über den kombinierten Entbinderungs-/Sinterschritt ausgetrieben wird. Das Bauteil ist nach dem Wickprozeß noch handhabbar und
5 kann für die Sinterung aus dem Sandbett entfernt werden und für den Sinterprozeß auf ZrO₂-Sinterunterlagen gesetzt werden.

3.) Sinterung

10 In der Anfangsphase des Sinterns muß der noch im Grünkörper vorhandene Restbinder ausgeheizt werden. Hierzu wird das Formteil aus dem Wicksand entfernt, auf eine Sinterunterlage plaziert und langsam auf die Entbinder-
15 tungstemperatur aufgeheizt und für 1-2 Stunden gehalten. Im Anschluß erfolgt die Sinterung im gleichen Prozeßschritt. Gesintert wird unter Schutzgas oder im Vakuum. Die erreichten Sinterdichten liegen reproduzierbar im Bereich von ~ 95% der theoretischen Dichte. Die
20 theoretische Dichte kann durch einen zusätzlichen HIP-Vorgang erreicht werden.

Ausführungsbeispiele:

Beispiel 1:

1400 g	NiTi-Pulver
25 64,4 g	Amidwachs
42,9 g	Polyolefin

Gesamtbinderanteil: 7,12 Gew.-% = 34 Vol.-%

Beispiel 2:

30 1800 g	NiTi-Pulver
64,4 g	Amidwachs
42,9 g	Polyolefin

Gesamtbinderanteil: 5,63 Gew.-% = 28 Vol.-%

Wickparameter:

- 5 - im ZrO₂-Sand mit KG < 10 µm unter Verwendung von Filterpapier
- strömende Argon-Atmosphäre oder Vakuum
- bei 120 - 150°C bis 4 Stunden.

10 Im Anschluß daran werden die Proben aus dem Wicksand entfernt.

Entbinderung-/Sinterparameter (Sinterunterlage ZrO₂):

- 15 - mit einer Rate von 1 K/Minute von RT auf 450°C unter strömender Argonatmosphäre aufheizen,
- Haltezeit bei 450°C: 2 Stunden,
- mit einer Rate von 5 K/Minute auf 1250°C aufheizen,
- Haltezeit 5 Stunden,
- alles unter Schutzgas (Argon, 1270 mbar)

20 Erreichte Sinterdichte entspricht 95 % der theoretischen Dichte.

Tab.1: Verunreinigungen an Kohlenstoff, Stickstoff und Sauerstoff im Ausgangsmaterial sowie nach der Entbinderung bzw. Sinterung der Bauteile.

25

	C [Gew.-%]	N [Gew.-%]	O [Gew.-%]
NiTi-Ausgangszustand	0.0677	0.0018	0.0763
nach Entbinderung	0.0953	0.0028	0.2431
Nach Sinterung	0.1460	0.0051	0.2308

Figuren

Figur 1: Prinzip des Wickverfahrens

Figur 2: Formteile nach dem Spritzvorgang

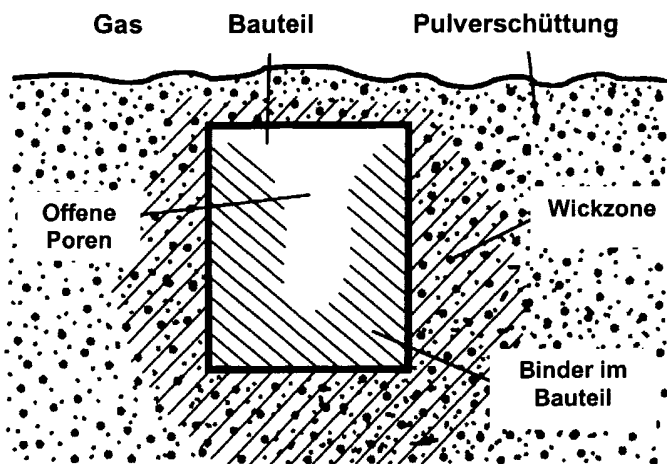
5 Figur 3: Bauteil nach der Endsinterung (andere
Geometrie als in Figur 2

Patentansprüche

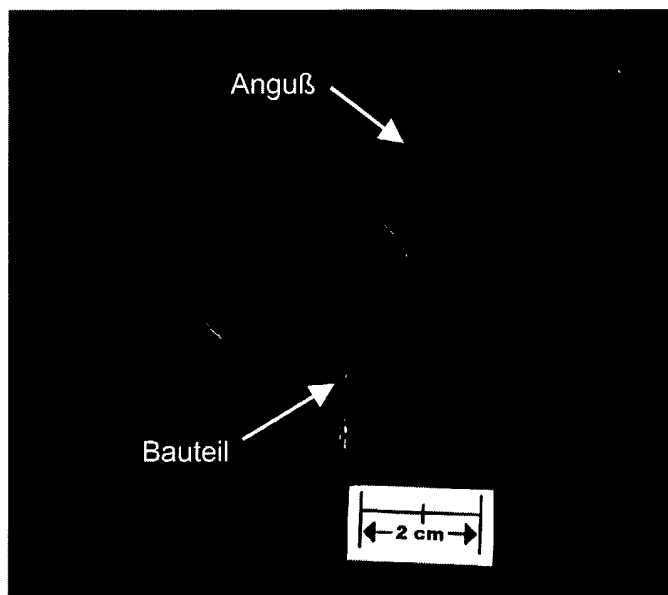
-
1. Verfahren zur Herstellung von Bauteilen aus vorlegierter NiTi-Formgedächtnislegierung unter Verwendung des Metallformspritzens, mit den Schritten
- 5 - vorlegiertes NiTi-Pulver wird mit einem thermoplastischen Binder zu einem Feedstock gemischt,
- durch einen Spritzvorgang wird der so gebildete Feedstock in die Form des Bauteils gebracht,
- das Bauteil wird einem kapillar-aktiven Stoff aus-
- 10 gesetzt und vorentbindert,
- das Bauteil wird anschließend einem thermischen Entbinderungsprozeß unterzogen,
- das vom Binder befreite Bauteil wird gesintert.
- 15 2. Verfahren nach vorhergehendem Anspruch, gekennzeichnet durch die Verwendung eines Zwei-Komponenten-Binders auf Wachsbasis.
- 20 3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch einen Binder umfassend Polyolefin.
- 25 4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch einen Binder umfassend 50 bis 65 Gew.-% Amidwachs und 35 bis 50 Gew.-% Polyolefin.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch einen Binder mit einem Gehalt von 64,4 Gew.-% Amidwachs und 42,9 Gew.-% Polyolefin.
- 5
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch einen Feedstock mit einer Viskosität zwischen 5 und 30 Pa.s.
- 10
7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch einen partiellen Entbindungsprozeß, bei dem zunächst ein Amidwachs aus dem Inneren des Grünteils entfernt wird.
- 15
8. Verfahren nach vorhergehendem Anspruch, bei dem das Amidwachs durch kapillarkraftinduziertes Aufsaugen mit Hilfe einer Pulverschüttung bewirkt wird.
9. Verfahren nach vorhergehendem Anspruch, bei dem die Pulverschüttung eine Korngröße aufweist, die kleiner ist als die Korngröße des eingesetzten NiTi-Pulvers.
- 20
10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche 7 bis 9, bei dem ein Filterpapier zwischen dem Grünteil und der Pulverschüttung eingesetzt wird.
- 25
11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche 7 bis 10 unter Verwendung einer ZrO₂-Pulverschüttung.
- 30

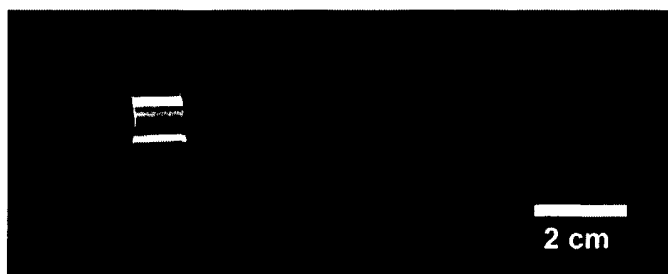
12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche 7 bis 11, bei dem die Pulverschüttung eine Korngröße aufweist, die kleiner ist, als die Korngröße des eingesetzten Metallpulvers, insbesondere mit Partikelgrößen im Bereich von 0,01 bis 1 μm .
- 5
13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche 7 bis 12, bei dem der Entbinderungsprozeß bei Temperaturen zwischen 120 und 480 °C durchgeführt wird.



Figur 1



Figur 2



Figur 3