

SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
 BUNDESAMT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

① **CH 681 516 A5**

⑤ Int. Cl.⁵: **B 22 F 3/16**

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein
 Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

⑫ **PATENTSCHRIFT** A5

⑳ Gesuchsnummer: 3343/89

㉒ Anmeldungsdatum: 13.09.1989

㉔ Patent erteilt: 15.04.1993

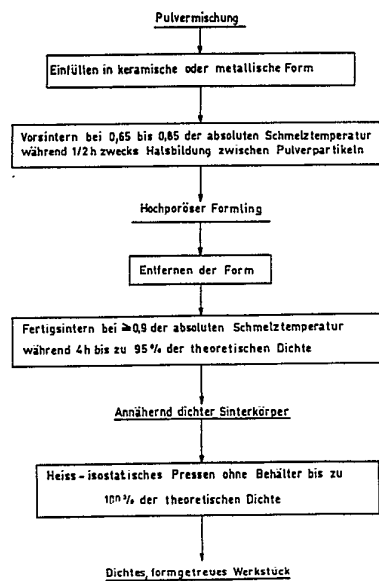
④⑤ Patentschrift veröffentlicht: 15.04.1993

⑦③ Inhaber:
 ASEA Brown Boveri AG, Baden

⑦② Erfinder:
 Jongenburger, Peter, Dr., Baden
 Tönnies, Christoph, Wettingen
 Verpoort, Clemens, Dr., Fislisbach

⑥④ **Verfahren zur pulvermetallurgischen Herstellung eines Werkstückes.**

⑥⑦ Verfahren zur pulvermetallurgischen Herstellung eines Werkstückes, indem ein bindemittel- und lösungsmittel-freies, trockenes Metall- oder Keramikpulver in eine Form abgefüllt, durch Klopfen vorverdichtet und bei 0,65 bis 0,85 der absoluten Schmelztemperatur während 1/2 h bis 1 h ohne nennenswerte Schwindung vorgesintert wird, wobei benachbarte Pulverpartikel lediglich an ihren Berührungspunkten durch Halsbildung zu einem gerüstartigen Formling verbunden werden. Der Formling wird aus der Form genommen und bei mindestens 0,9 der absoluten Schmelztemperatur während mindestens 1 h ohne zusätzliche Stützung durch eine Form fertiggesintert. Vorteilhafterweise wird der Sinterkörper zur Erreichung von mindestens 98 % der theoretischen Dichte zusätzlich behälterlos heiss-isostatisch gepresst.



Beschreibung

TECHNISCHES GEBIET

Herstellung von komplizierten Bauteilen aus metallischen oder keramischen Werkstoffen, wobei als Ausgangsmaterialien Pulver verwendet werden. Fragen des Sinterns und heiss-isostatischen Pressens im Hinblick auf das Schwinden.

Die Erfindung bezieht sich auf die Weiterentwicklung, Vervollkommnung und Vereinfachung pulvermetallurgischer Fertigungsmethoden für die Herstellung von Werkstücken mit vergleichsweise komplizierten Formen, wo die Probleme der Schwindung beim Sintern eine wichtige Rolle spielen. Anwendungsgebiet ist vor allem der Bereich von Bauteilen des Turbinenbaus.

Im engeren Sinne betrifft die Erfindung ein Verfahren zur pulvermetallurgischen Herstellung eines Werkstücks unter Heranziehung eines Sinterprozesses, wobei ein Pulver oder eine Pulvermischung zunächst in eine Form abgefüllt und mechanisch durch Klopfen, Rütteln oder Vibrieren vorverdichtet wird.

STAND DER TECHNIK

Bei zahlreichen Fertigungsmethoden in der metallurgischen und keramischen Industrie wird von Pulvern ausgegangen. Pulvermetallurgische Verfahren haben den Vorteil, dass sich praktisch jede beliebige Form erzielen lässt. Es besteht die Absicht, Werkstücke pulvermetallurgisch als Fertigteile herzustellen, um teure Bearbeitungskosten teilweise oder ganz einsparen zu können. Die bekannten Verfahren zur Erzielung von Nettoformen (Net-Shape) oder Nahezu-Nettoformen (Near-Net-Shape) der Werkstücke gehen alle von Aufschlämmungen (Schlicker, Paste) von Pulvern in Lösungsmitteln unter Verwendung eines Binders aus. Als Zusätze zu Pulvermischungen werden verwendet:

- Wasser + Binder + Additive (Schlicker giessen, Gefriertrocknen: «Slip casting, Freeze Drying»)
- Wasser + Zellulose (Metall-Pulver-Spritzgiessen nach Rivers: «MIM by Rivers Process»)
- Thermoplaste (Metall-Pulver-Spritzgiessen)

Bei allen diesen nassmechanischen Methoden treten zahlreiche Schwierigkeiten bezüglich Qualität, Freiheit der Gestaltung, Reproduzierbarkeit und Wahl der Zusammensetzung auf:

- Blasenbildung beim Mischen von Pulver mit Binder und Lösungsmittel.
- Begrenzung der Wandstärke der Werkstücke (z.B. max. 510 mm für «MIM»), da andererseits der Binder nicht mehr vollständig entfernt werden kann.
- Auftreten von Binderrückständen (z.B. Kohlenstoff), die auch nach dem «Ausbrennen» des Binders im Werkstück verbleiben und dessen Zusammensetzung unkontrolliert beeinträchtigen können.
- Notwendigkeit der Neuauswahl/Neuentwicklung des Binders bei Übergang auf andere Formen und/oder Zusammensetzungen der Werkstücke. Zum Stand der Technik werden die nachfolgenden Druckschriften zitiert:

- GB Pat. Appl. 2 088 414
- EP Pat. Appl. 0 191 409
- R. Billet, «PLASTIC METALS: From Fiction to Reality with Injection Molded P/M Materials», Parmatech Corporation, San Rafael, California, P/M-82 in Europe Int. PM Conf. Florence I 1982.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

- E. Lange und M. Poniatowski, «Pulvermetallurgisches Spritzgiessen – ein neues Formgebungsverfahren für Sinterteile komplizierter Gestalt», Konstruktion 40 (1988) 233–238.

- Göran Sjöberg, «Powder Casting and Metal Injection Moulding», Manuscript submitted to Metal Powder Report September 1987.

Die bekannten Verfahren lassen zu wünschen übrig. Es besteht daher ein Bedürfnis nach Verbesserung und Weiterentwicklung der pulvermetallurgischen/pulverkeramischen Fertigungsmethoden.

DARSTELLUNG DER ERFINDUNG

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren anzugeben, mit welchem, ausgehend von Metall- oder Keramikpulvern ein vergleichsweise kompliziert geformtes Werkstück beliebigen Querschnittes und unbegrenzter Wandstärke gefertigt werden kann. Das Verfahren soll ein reproduzierbares Fertigerzeugnis liefern, das nicht mehr oder höchstens geringfügig zusätzlich bearbeitet werden muss. Bei der Pulververarbeitung sollen Blasen sowie unerwünschte schädliche Rückstände vermieden werden. Das Verfahren soll bezüglich Auswahl der Form und der Zusammensetzung des herzustellenden Werkstücks grösstmögliche Freizügigkeit und Universalität gewährleisten.

Diese Aufgabe wird dadurch gelöst, dass im eingangs erwähnten Verfahren das vorverdichtete Pulver in einer ersten Phase bei einer vergleichsweise niedrigen Temperatur, welche im Bereich von 0,65 bis 0,85 der absoluten Schmelztemperatur des für das Werkstück zu verwendenden Werkstoffs liegt, während 1/2 h bis 1 h derart vorgesintert wird, dass die einzelnen Pulverpartikel lediglich an ihren Berührungspunkten durch Halsbildung ohne nennenswerte Schwindung miteinander verbunden werden, dass der auf diese Weise vorgesinterte Formling sorgfältig aus der Form entfernt oder die letztere zerstört wird, und dass schliesslich der Formling in sich selbst freitragendem Zustand bei einer erhöhten Temperatur, welche bei mindestens 0,9 der absoluten Schmelztemperatur liegt, während mindestens 1 h bis zu einer Dichte von mindestens 90% des theoretischen Wertes fertiggesintert wird.

WEG ZUR AUSFÜHRUNG DER ERFINDUNG

Die Erfindung wird anhand der durch Figuren näher erläuterten Ausführungsbeispiele beschrieben. Dabei zeigt:

Fig. 1 ein Fliessbild (Blockdiagramm) des Verfahrens allgemein,

Fig. 2 einen schematischen Schnitt durch ein Haufwerk loser Pulverpartikel im Ausgangszustand,

Fig. 3 einen schematischen Schnitt durch eine

Agglomeration leicht verdichteter Pulverpartikel nach dem Einfüllen in die Form,

Fig. 4 einen schematischen Schnitt durch einen vorgesinterten Formling und Pulverpartikel nach dem Vorsintern,

Fig. 5 einen schematischen Schnitt durch einen Sinterkörper und Pulverpartikel nach dem Fertigsintern.

Fig. 6 einen schematischen Schnitt durch ein fertiges dichtes, formgetreues Werkstück und Pulverpartikel nach dem heiss-isostatischen Pressen.

In Fig. 1 ist ein Fliessbild (Blockdiagramm) des Verfahrens in allgemeinsten Art dargestellt. Aus diesem Bild ist die stufenweise Verdichtung des Pulvers durch Einfüllen in Form, Vorsintern, Fertigsintern und heiss-isostatisches Pressen deutlich erkennbar. Das Diagramm bedarf keiner weiteren Erklärungen.

Fig. 2 bezieht sich auf einen schematischen Schnitt durch ein Haufwerk loser Pulverpartikel im Ausgangszustand. 1 stellt lose Pulverpartikel im Anlieferungszustand vor dem Einfüllen in die Form dar. Die Pulverpartikel 1 sind so gezeichnet, dass sie sich praktisch nicht berühren, um diesen Zustand der geringen Schüttdichte von den nachfolgenden sukzessiver Verdichtung abzuheben.

Fig. 3 zeigt einen schematischen Schnitt durch eine Agglomeration leicht verdichteter Pulverpartikel nach dem Einfüllen in die Form. 2 stellen durch Klopfen, Rütteln oder Vibrieren der Form leicht verdichtete Pulverpartikel nach dem Einfüllen in die Form dar. Die Pulverpartikel 2 berühren sich punktwiese.

In Fig. 4 ist ein schematischer Schnitt durch einen vorgesinterten Formling sowie Pulverpartikel nach dem Vorsintern dargestellt. 3 sind zwei benachbarte Pulverpartikel nach dem Vorsintern. Durch diese Wärmebehandlung bildet sich an der Berührungsstelle dank gegenseitiger Diffusion eine Brücke, Hals 4 genannt. Es handelt sich um eine echte metallurgische Bindung (im Falle von Metallpartikeln). 5 ist der gebildete gerüstartige vorgesinterte Formling bestehend aus punktwiese über besagte Hälse verbundenen Pulverpartikeln.

Fig. 5 bezieht sich auf einen schematischen Schnitt durch einen Sinterkörper und Pulverpartikel nach dem Fertigsintern dar, die annähernd vollständig durch Diffusion verschweisst sind. Die ehemalige Berührungszone 7 der benachbarten Pulverpartikel nach dem vollständigen Zusammensintern ist durch eine gestrichelte Linie angedeutet. 8 ist der gebildete Sinterkörper mit geringer Porosität.

Fig. 6 zeigt einen schematischen Schnitt durch ein fertiges dichtes formgetreues Werkstück und Pulverpartikel nach dem heiss-isostatischen Pressen. 9 stellen zwei benachbarte Pulverpartikel nach dem heiss-isostatischen Pressen dar. Die Partikel sind vollständig durch Diffusion unter allseitigem Druck verschweisst. 10 ist die ehemalige Korngrenze der benachbarten Pulverpartikel nach vollständiger Verdichtung durch heiss-isostatisches Pressen. Als Endprodukt liegt ein fertiges und formge-

treues Werkstück 11 nach dem heiss-isostatischen Pressen vor.

Ausführungsbeispiel 1:

Als Werkstück wurde eine Schaufel für eine rotierende thermische Maschine, in vorliegendem Fall für einen Axialverdichter, hergestellt. Die Schaufel mit Tragflügelquerschnitt hatte die folgende Endabmessungen:

| | | |
|---------------|---|--------|
| Länge | = | 120 mm |
| Breite | = | 26 mm |
| grösste Dicke | = | 3,5 mm |
| Profilhöhe | = | 7 mm |

Als Werkstoff wurde ein Cr-Stahl mit der deutschen Bezeichnung nach DIN X20CrMoV 12 1 mit der nachfolgenden Zusammensetzung gewählt:

| | | |
|----|---|-------------|
| Cr | = | 12 Gew.-% |
| Mo | = | 1 Gew.-% |
| V | = | 0,3 Gew.-% |
| C | = | 0,20 Gew.-% |
| Fe | = | Rest |

Zur Herstellung der Schaufel wurde von einem durch Gasstrahlzerstäubung erzeugten Pulver mit einer maximalen Partikelgrösse von 50 µm ausgegangen. Das Pulver wurde trocken, ohne jeglichen Binder in eine in den Innenabmessungen um ca. 10 % linear vergrösserte keramische Form aus Al₂O₃ eingefüllt und durch 50-maliges Klopfen kalt verdichtet. Es wurde auf diese Weise eine Klopf-dichte von ca. 64% der vollen Dichte erreicht. Das Einschüttende der keramischen Form wurde mit Stahlwatte verstopft und dann mit einem Draht befestigt, um ein nachträgliches Austreten des Pulvers anlässlich der Prozesshandhabung zu vermeiden. Dann wurde die gefüllte Form evakuiert, wozu ein mit Argon gefluteter Vakuumofen verwendet wurde. Die Atmosphäre des Vorsinterns war demzufolge Argon mit einem Restdruck von 5 m bar.

Nun wurde das Ganze zwecks Vorsintern des Pulvers bei einer Temperatur von 1100°C während 1 h geglüht. Dabei wurde durch Halsbildung zwischen benachbarten Pulverpartikeln ein gerüstartiger Formling gebildet, der nach der Abkühlung genügend Festigkeit hatte, um die Keramikform zu entfernen. Diese war so geteilt, dass sie weiter verwendet werden konnte. Bei diesem Vorsinterprozess betrug die Schwindung praktisch gleich Null, sodass der Formling ohne Schwierigkeiten aus der Form genommen werden konnte. Dieser wurde nun ohne stützende Form frei auf einer Unterlage aufliegend im Vakuumofen bei einer Temperatur von 1350°C während 4 h in Argonatmosphäre von 1 m bar Restdruck fertiggesintert. Dabei schwand er linear um ca. 10% , was einer Volumenschwindung

von ca. 27% entsprach. Dabei wurde eine Dichte von 92% des theoretischen Wertes erreicht.

Ausführungsbeispiel 2:

Als Werkstück wurde eine Schaufel ähnlicher Abmessungen, wie unter Beispiel 1 angegeben, gefertigt. Der Werkstoff war X20CrMo V 12 1. Es wurde im wesentlichen gleich wie bei Beispiel 1 vorgegangen. Das Fertigsintern wurde bei einer Temperatur von 1380°C während 2 h durchgeführt. Die erreichte Dichte betrug 94% des theoretischen Wertes.

Das Werkstück wurde nun zusätzlich heiss-isostatisch nachgepresst, indem es ohne zuvor eingekapselt zu werden (behälterlos) in eine Warmpresse eingeführt und während 1/2 h einem allseitigen Druck von 2000 bar bei einer Temperatur von 12°C unterworfen wurde. Die dabei erreichte Dichte betrug 9% des theoretischen Wertes.

Ausführungsbeispiel 3:

Es wurde eine Turbinenschaufel mit Tragflügelprofil folgender Abmessungen hergestellt:

| | |
|---------------|----------|
| Länge | = 160 mm |
| Breite | = 30 mm |
| grösste Dicke | = 5 mm |
| Profilhöhe | = 10 mm |

Als Werkstoff wurde ein Cr/Ni-Stahl mit der Bezeichnung AISI 316 mit folgender Zusammensetzung verwendet:

| | |
|----|---------------|
| Cr | = 17 Gew.-% |
| Mo | = 2,2 Gew.-% |
| Ni | = 12 Gew.-% |
| Mn | = 2 Gew.-% |
| Si | = 1 Gew.-% |
| C | = 0,08 Gew.-% |
| Fe | = Rest |

Das zur Verwendung gelangte Pulver war durch Gasstrahlzerstäubung erzeugt worden und hatte eine maximale Partikelgrösse von 30 µm. Das Einfüllen in die Form und das Vorverdichten des Pulvers erfolgte in analoger Weise wie bei Beispiel 1. Es wurde unter N₂/H₂-Atmosphäre bei 1000°C während 1/2 h vorgesintert. Nach Entfernen der Form wurde unter einem Druck von 1 bar bei einer Temperatur von 1370°C während 2 h unter einer Argonatmosphäre fertiggesintert.

Das Werkstück erreichte eine Dichte von 93% des theoretischen Wertes.

Ausführungsbeispiel 4:

Als Werkstück wurde eine Verdichterschaufel der gleichen Abmessungen und der gleichen Zusammensetzung (Stahl X20CrMoV 12 1) gefertigt. Das durch Gaszerstäubung hergestellte Ausgangspulver hatte eine Partikelgrösse von maximal 20 µm. Der Prozess des Vorsinterns wurde bei einer Temperatur von 900°C während 1/2 h unter N₂-Atmosphäre durchgeführt. Nach Entfernen der Form wurde in der unter Beispiel 3 angegebenen Atmosphäre bei einer Temperatur von 1350°C während 1 h unter einem Druck von 1 bar fertiggesintert.

Die vom Werkstück erreichte Dichte betrug 95% des theoretischen Wertes.

Die Erfindung ist nicht auf die Ausführungsbeispiele beschränkt.

Das Verfahren zur pulvermetallurgischen Herstellung eines Werkstücks unter Heranziehung eines Sinterprozesses, wobei ein Pulver oder eine Pulvermischung zunächst in eine Form abgefüllt und mechanisch durch Klopfen, Rütteln oder Vibrieren vorverdichtet wird, wird derart durchgeführt, dass das vorverdichtete Pulver in einer ersten Phase bei einer vergleichsweise niedrigen Temperatur, welche im Bereich von 0,65 bis 0,85 der absoluten Schmelztemperatur des für das Werkstück zu verwendenden Werkstoffs liegt, während 1/2 h bis 1 h auf eine Weise vorgesintert wird, dass die einzelnen Pulverpartikel lediglich an ihren Berührungspunkten durch Halsbildung ohne nennenswerte Schwindung miteinander verbunden werden und der auf diese Weise vorgesinterte Formling sorgfältig aus der Form entfernt oder die letztere zerstört wird und schliesslich der Formling in sich selbst freitragenden Zustand bei einer erhöhten Temperatur, welche bei mindestens 0,9 der absoluten Schmelztemperatur liegt, während mindestens 1 h bis zu einer Dichte von mindestens 90 % des theoretischen Wertes fertiggesintert wird. Vorzugsweise wird das Werkstück zusätzlich einem behälterlosen heiss-isostatischen Pressen zur Erreichung einer Dichte von 98 bis 100% des theoretischen Wertes unterworfen.

In einer besonderen Ausbildung des Verfahrens wird der Vorsinterprozess unter Vakuum oder unter Argonatmosphäre bei reduziertem Druck durchgeführt.

In einer anderen Ausbildung des Verfahrens wird der Vorsinterprozess unter N₂- oder N₂/H₂-Atmosphäre durchgeführt.

Vorteilhafterweise wird das Verfahren durchgeführt, indem als Pulver ein Stahlpulver eines 12%igen Cr-Stahles mit weiteren geringen Zusätzen an Mo und V mit einer Partikelgrösse von höchstens 50 µm verwendet, im Bereich von 900 bis 1100°C während 1/2 h bis 1 h vorgesintert und im Bereich von 1330 bis 1430°C während 1 h bis 4 h fertiggesintert wird.

Patentansprüche

1. Verfahren zur pulvermetallurgischen Herstellung eines Werkstücks unter Heranziehung eines Sinterprozesses, wobei ein Pulver oder eine Pul-

vermischung zunächst in eine Form abgefüllt und mechanisch durch Klopfen, Rütteln oder Vibrieren vorverdichtet wird, dadurch gekennzeichnet, dass das vorverdichtete Pulver in einer ersten Phase bei einer vergleichsweise niedrigen Temperatur, welche im Bereich von 0,65 bis 0,85 der absoluten Schmelztemperatur des für das Werkstück zu verwendenden Werkstoffs liegt, während 1/2 h bis 1 h derart vorgesintert wird, dass die einzelnen Pulverpartikel lediglich an ihren Berührungspunkten durch Halsbildung ohne nennenswerte Schwindung miteinander verbunden werden, dass der auf diese Weise vorgesinterte Formling sorgfältig aus der Form entfernt oder die letztere zerstört wird, und dass schliesslich der Formling in sich selbst freitragendem Zustand bei einer erhöhten Temperatur, welche bei mindestens 0,9 der absoluten Schmelztemperatur liegt, während mindestens 1 h bis zu einer Dichte von mindestens 90% des theoretischen Wertes fertiggesintert wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Werkstück zusätzlich einem behälterlosen heissisostatischen Pressen zur Erreichung einer Dichte von 98 bis 100% des theoretischen Wertes unterworfen wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Vorsinterprozess unter Vakuum oder unter Argonatmosphäre bei reduziertem Druck durchgeführt wird.

4. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Vorsinterprozess unter N₂- oder N₂/H₂-Atmosphäre durchgeführt wird.

5. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass als Pulver ein Stahlpulver eines 12%igen Cr-Stahles mit weiteren geringen Zusätzen an Mo und V mit einer Partikelgrösse von höchstens 50 µm verwendet, im Bereich von 900 bis 1100°C während 1/2 h bis 1 h vorgesintert und im Bereich von 1330 bis 1430°C während 1 h bis 4 h fertiggesintert wird.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

5

FIG.1

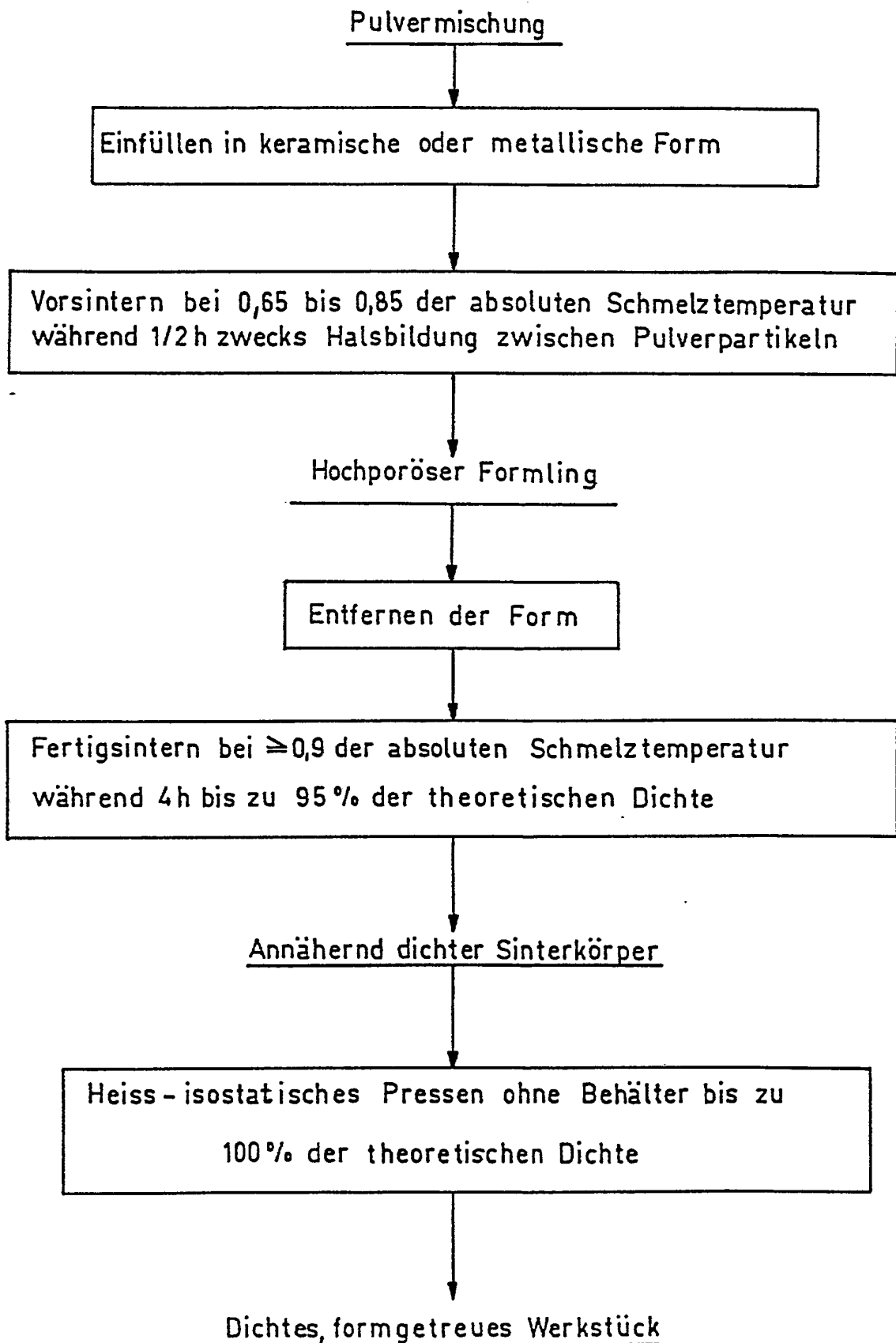


FIG.2



FIG.3

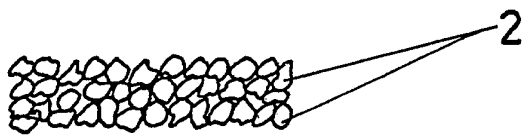


FIG.4

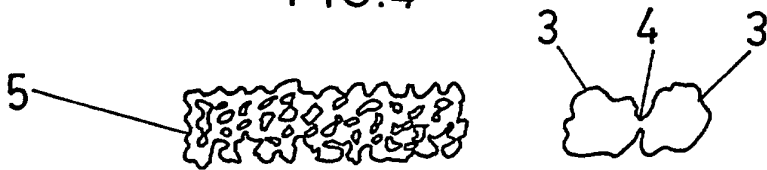


FIG.5

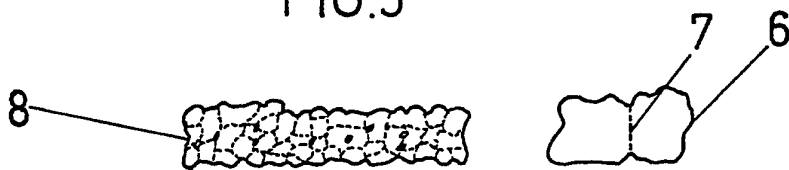


FIG.6

