



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11) **EP 1 127 639 A2**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
29.08.2001 Patentblatt 2001/35

(51) Int Cl.7: **B22F 3/15, F27D 9/00**

(21) Anmeldenummer: **01103716.5**

(22) Anmeldetag: **15.02.2001**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU
MC NL PT SE TR**
Benannte Erstreckungsstaaten:
AL LT LV MK RO SI

(30) Priorität: **24.02.2000 DE 10008694**

(71) Anmelder: **ALD Vacuum Technologies AG
63450 Hanau (DE)**

(72) Erfinder:
• **Aust, Andreas, Dipl.-Ing.(FH)
63584 Gründau (DE)**
• **Dannehl, Gerhard, Dipl.-Ing.(FH)
61231 Bad Nauheim (DE)**
• **Felski, Peter, Dipl.-Ing.(FH)
63450 Hanau (DE)**

(74) Vertreter: **Schickedanz, Willi, Dr. Dipl.-Ing.
Langener Strasse 68
63073 Offenbach (DE)**

(54) **Hochdrucksinterofen**

(57) Die Erfindung betrifft einen Hochdrucksinterofen, der nach Beendigung des Sinterprozesses schnell abgekühlt werden kann. Die Abkühlung wird dadurch beschleunigt, dass in dem Sinterofen ein inertes Gas

zum Zirkulieren gebracht wird, das seine Wärme an einen Wärmetauscher abgibt und dass die Kühleinrichtung asymmetrisch zur Achse des Hochdrucksinterofens angeordnet ist.

EP 1 127 639 A2

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft einen Hochdrucksinterofen nach dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1.

[0002] Beim Sintern wird zwischen Vakuumsintern, dem Sintern unter Partialdruck und dem HIP-Sintern (HIP = hot isostatic pressing) oder Überdruck-Sintern unterschieden.

[0003] Nachteilig ist bei Überdruck-Sinteröfen, dass sie eine relativ lange Abkühlzeit haben. So dauert es etwa sieben Stunden, um von 1500 °C bei 50 bar auf 80 °C und 30 bar zu kommen. Während dieser Zeit kann mit den Öfen nicht gearbeitet werden, und auch das beschäftigte Personal kann während der Zeit oft nichts anderes tun als zu warten.

[0004] Es ist bereits bekannt, für die Herstellung von Dauermagneten aus Seltenen Erden besondere Sinteröfen vorzusehen, die mittels Heizstäben aus Metall oder Graphit aufgeheizt werden (Crocker, Michael, Rare Earth and Advanced Furnace Techniques for Permanent Magnet Production, pmi, vol. 24, No. 2, 1992, S. 106 - 109). Der Aufheiz- und Kühlvorgang ist bei diesem Sinterofen zwar optimiert, doch ist nicht im Einzelnen angegeben, wie diese Optimierung erfolgt.

[0005] Ein bekannter Ofen zum isostatischen Wärmepressen weist eine Druckkammer auf, in der sich ein Ofenraum mit Heizkörpern befindet, wobei zwischen dem Ofenraum und einem Spalt zwischen einem isolierenden Mantel und der Innenwand der Druckkammer ein Gasverbindungsweg mit einem Ventil liegt (DE-C-27 22 065). Wenn das Ventil geöffnet wird, erhält man einen geschlossenen Strömungskreis, wobei sich eine Selbstzirkulation dadurch einstellt, dass das Gas im Spalt kälter und auch schwerer ist als das Gas im Ofenraum. Bei dem bekannten Ofen handelt es sich um einen vertikal aufgerichteten Ofen.

[0006] Bei einem anderen bekannten Sinterofen für die Pulvermetallurgie ist eine zum Kühlen des Ofeninneren vorgesehene Einrichtung mit einem Wärmetauscher versehen, der außerhalb des Ofenhauptkörpers angeordnet ist (DE-A-28 13 758). Dieser Sinterofen ist jedoch nicht für die Sinter-HIP-Technik geeignet, weil der eigentliche Ofenraum sehr klein und das gesamte Kesselvolumen um ein Vielfaches größer ist. Dies bedeutet, dass der Gaskonsum während der HIP-Phase, verglichen mit dem Chargenvolumen, sehr groß wäre. Da die Betriebskosten für Argon hoch sind, wäre der bekannte Sinterofen schon aus wirtschaftlichen Gründen als HIP-Ofen nicht verwendbar.

[0007] Um eine HIP-Anlage schnell kühlen zu können, ist bereits ein besonderes Verfahren vorgeschlagen worden (DE-A-34 43 664). Bei diesem Verfahren wird im Behälter zur Kühlung zwangsweise ein Gasstrom vom aufgeheizten HIP-Gut zur Behälterinnenwand eingestellt und im Innenraum des Behälters in einer wesentlich kälteren Zone ein oder mehrere Wärmespeicher angeordnet, durch die der vom HIP-Gut kommende Kühlgasstrom hindurchgeführt wird. Der Volu-

menbedarf für den Wärmespeicher ist hierbei allerdings beträchtlich, und es wird mehr Gas benötigt, was die Betriebskosten erhöht. Außerdem muss der Wärmespeicher während des Heizbetriebs weitgehend thermisch isoliert sein.

[0008] Weiterhin ist eine Vorrichtung zur Schnellkühlung von Werkstücken und des Druckbehälters einer HIP-Anlage beim heißisostatischen Pressen bekannt, die aus einem wassergekühlten Druckbehälter, Außen- und Innenwänden und einer darin befindlichen Isolierhaube besteht, die das zu pressende Werkstück umgibt (DE-A-38 33 337). Für eine Schnellkühlung ist eine automatische Vorrichtung vorgesehen, die eine Öffnung an der Oberseite der Isolierhaube freigibt, wenn die Abkühlung des Werkstücks und des Ofens 1400 °C erreicht hat.

[0009] Bei einem anderen bekannten Verfahren zum Kühlen eines Sinterofens wird ein Kühlgas in einem geschlossenen Kreislauf durch den Ofen und über die Sinterwerkstücke sowie über ein Kühlelement, das sich in dem Ofen befindet, getrieben (EP-A-0 995 960). Hierbei kann als Antrieb die natürliche Konvektion dienen.

[0010] Schließlich ist noch ein Hochdrucksinterofen für Presslinge aus Metall- und/oder Nichtmetallpulvern bekannt, bei dem die Abkühlzeit durch den Einbau einer Kühleinrichtung zwischen Druckgehäuse und thermischer Isolierung verkürzt wird (DE-A-36 25 788). Die Kühleinrichtung ist hierbei nur im oberen Bereich des Druckgehäuses eingebaut. Ein Nachteil dieses bekannten Hochdrucksinterofens besteht darin, dass nur eine geringe Gas-Zirkulation und damit Kühlung stattfindet.

[0011] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, bei einem Hochdrucksinterofen der zuletzt genannten Art mit einfachen Mitteln eine Gasbewegung hervorzurufen.

[0012] Diese Aufgabe wird gemäß den Merkmalen des Patentanspruchs 1 gelöst.

[0013] Die Erfindung betrifft somit einen Sinterofen, der nach Beendigung des Sinterprozesses schnell abgekühlt werden kann. Die Abkühlung wird dadurch beschleunigt, dass in dem Sinterofen ein inertes Gas zum Zirkulieren gebracht wird, das seine Wärme an einen Wärmetauscher abgibt.

[0014] Der mit der Erfindung erzielte Vorteil besteht insbesondere darin, dass durch bloßes asymmetrisches Anordnen des Kühlsystems im Ofen eine Eigenkonvektion eines inerten Gases entsteht, die als Zwangs-Kühlvorrichtung wirkt, weil durch diese Eigenkonvektion das inerte Gas zum Zirkulieren gebracht wird, das seine Wärme an einen Wärmetauscher abgibt.

[0015] Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung ist in den Zeichnungen dargestellt und wird im Folgenden näher beschrieben. Es zeigen:

Fig. 1a den Temperaturverlauf bei einer herkömmlichen Kühlung im Vergleich zur erfindungsgemäßen Kühlung;

- Fig. 1b den Druckverlauf bei einer herkömmlichen Kühlung im Vergleich zur erfindungsgemäßen Kühlung;
- Fig. 2 eine perspektivische Ansicht eines Sinterofens;
- Fig. 3 die Frontseite des Sinterofens nach Fig. 2 bei geöffneter Tür;
- Fig. 4 eine detaillierte Darstellung der Innenstruktur eines erfindungsgemäßen Sinterofens.

[0016] In der Fig. 1a sind die Temperaturverläufe in einem herkömmlichen Sinterofen und in einem erfindungsgemäßen Sinterofen dargestellt.

[0017] Die zeitlich parallel hierzu verlaufenden Druckverläufe zeigt die Fig. 1b.

[0018] Die Temperaturverlaufs-Kurve I ist in mehrere Abschnitte unterteilt. Der durch die Bezugsszahlen 1 und 2 definierte Abschnitt stellt die Aufheizphase dar, d. h. diejenige Phase, in der das zu sinternde Material von 0 °C auf z. B. 1370 °C aufgeheizt wird. Diese Phase dauert beispielsweise vier Stunden. Anschließend wird die erreichte Endtemperatur von 1370 °C etwa knapp zwei Stunden gehalten. Diese Phase ist in der Fig. 1a durch die Bezugsszahlen 2 und 3 markiert.

[0019] Etwa neunzig Minuten nach dem durch die Bezugsszahl 2 markierten Erreichen der Endtemperatur wird der Gasdruck, der als Kurve II in der Fig. 1b dargestellt ist, von 0 auf ca. 500 MPa erhöht. Diese Druckerhöhung ist durch die Bezugsszahlen 4 und 5 markiert. Bis zu dem Zeitpunkt, der durch den Punkt 3 in Fig. 1a bzw. durch Punkt 8 in Fig. 1b gekennzeichnet ist, verlaufen Temperatur und Druck in einem herkömmlichen und in einem erfindungsgemäßen Sinterofen parallel.

[0020] Bei der anschließenden Abkühlphase laufen die entsprechenden Kurven auseinander, was durch die Bezugszeichen III bzw. IV in Fig. 1a und durch die Bezugszeichen V und VI in Fig. 1b angedeutet ist. Hierbei bezeichnen die Kurvenstücke III bzw. V den herkömmlichen Verlauf von Temperatur und Druck, während die Kurvenstücke IV und VI den Verlauf bei einem erfindungsgemäßen Sinterofen bezeichnen.

[0021] Während der Abkühlphase fällt die Temperatur im herkömmlichen Betrieb von Punkt 3 auf Punkt 6 und von dort auf Punkt 7. Bei der Abkühlung nach der Erfindung fällt die Temperatur dagegen von Punkt 3 über Punkt 11 nach Punkt 12. Man erkennt hieraus, dass die Endtemperatur, die in Punkt 12 die gleiche ist wie in Punkt 7, bei der erfindungsgemäßen Abkühlung entsprechend der Kurve IV wesentlich schneller erreicht wird.

[0022] Der in den Kurven III bzw. IV auftretende Knick in den Punkten 6 bzw. 11 ist eine Folge der Öffnung des Muffendeckels.

[0023] Entsprechend den in der Fig. 1a dargestellten Temperaturverläufen verhalten sich auch die in der Fig.

1b dargestellten Druckverläufe. Bei der herkömmlichen Abkühlung sinkt der Druck von Punkt 8 über Punkt 9 zu Punkt 10, während er bei der erfindungsgemäßen Abkühlung von Punkt 8 über Punkt 13 nach Punkt 14 abfällt. Man erkennt hieraus, dass der Druck bei dem erfindungsgemäßen Sinterofen wesentlich schneller seinen Endzustand erreicht hat als bei der herkömmlichen Abkühlung.

[0024] Die Fig. 2 zeigt einen Sinterofen 20 in einer perspektivischen Darstellung. Dieser Sinterofen hat eine zylindrische Form und ruht auf einem Gestell 21. An der Vorderseite befindet sich eine Tür 22, die um ein Scharnier 23 schwenkbar ist.

[0025] In der Fig. 3 ist der gleiche Sinterofen 20 noch einmal in einer Ansicht von vorn dargestellt, wobei die Tür 22 geöffnet ist. Man erkennt hierbei einen Chargenraum 24, in dem sich während des Sintervorgangs das zu sinternde Material befindet. Dieser Chargenraum 24 ist von einem Suszeptor 25 umschlossen, der von einer Heizung 26 umgeben ist. Bei einer Variante der Erfindung kann dieser Suszeptor 25 auch entfallen. Die Heizung 26 ist ihrerseits von einem Isolationszylinder 27 umgeben. Weitere Einzelheiten des inneren Aufbaus des Sinterofens 20 erkennt man aus der Fig. 4.

[0026] Bei der Darstellung der Fig. 4 handelt es sich um einen Schnitt des Chargenraums 24 mit den ihn umgebenden Bauteilen. Diese Ansicht entspricht im Wesentlichen der Ansicht der Fig. 3, wobei jedoch die Tür 22 weggelassen ist. Der zylindrische Sinterofen 20 ruht auf dem Gestell 21, das zwei nebeneinander angeordnete Stützen 30, 31 aufweist. Die äußere Hülle des Sinterofens 20 wird durch einen Stahlmantel 32 gebildet. In einem geringen Abstand von und konzentrisch zu diesem Stahlmantel 32 ist ein weiterer Stahlmantel 33 angeordnet. In dem Zwischenraum zwischen dem äußeren Stahlmantel 32 und dem inneren Stahlmantel 33 befindet sich ein Kühlmedium 34, z. B. Kühlwasser.

[0027] Wiederum konzentrisch zum äußeren Stahlmantel 32 ist ein Isolierzylinder 27 angeordnet, der aus einem Laminat aus Graphit und Filz besteht. Dieser Isolierzylinder 27 wird von drei Bolzen 35, 36, 37 gehalten, die gleichzeitig für die Stromzuführung zur Heizung 26 dienen. Die Bolzen 35, 36, 37 sind durch die Stahlmantele 33, 32 nach außen geführt und mit Kabelanschlüssen 38, 39, 40 versehen. Mit diesen Kabelanschlüssen 38, 39, 40 sind zweiphasige Kabel 41, 42, 43 verbunden, die beispielsweise für eine Wechselspannung von 50 Volt und einen Wechselstrom von 3500 A ausgelegt sind. Die Verbindungsstellen zwischen den Kabeln 41 bis 43 und den Kabelanschlüssen 38 bis 40 sind mit jeweils einem Schutzgehäuse 44, 45, 46 umgeben. In den inneren Sinterbereich 24 ragen zwei Stützbolzen 47, 48 hervor, auf denen eine zu sinternde Charge 49 ruht. Diese Charge 49 ist von dem zyklischen Suszeptor 25 umgeben, der in seinem unteren und seitlichen Bereich von drei Heizkreisen 50, 51, 52 umgeben ist, von denen jeder vier Heizstäbe 53, 54, 55, 56 bzw. 57, 58, 59, 60 bzw. 61, 62, 63, 64 aufweist, die in die Zeichenebene

hineinragen und über elektrisch leitende Brücken miteinander verbunden sind. Zwischen dem Isolationszylinder 27 und dem inneren Stahlmantel 33 ist ein sog. Kühlhemd angeordnet, das z. B. aus zwei Lagen 65, 66 Graphit und einer Lage Kupfer 67 besteht. Dieses Kühlhemd 65, 66, 57 dient als Wärmetauscher. Wesentlich für das Kühlhemd ist die Lage Kupfer 57.

[0028] Für die Überwachung der Temperatur des Kühlwassers zwischen den Stahlmänteln 32, 33 sind mehrere Temperaturfühler 68, 69, 70 vorgesehen. Des weiteren sind zwei Regel-Temperaturfühler 71, 72 vorgesehen, welche die Temperatur im inneren Sinterbereich 24 erfassen.

[0029] Die Funktionsweise des in der Fig. 4 dargestellten Sinterofens 20 wird nachfolgend beschrieben.

[0030] Durch Anlegen der fließt Strom durch die Heizung 26, die sich hierauf erwärmt. Die von der Heizung 26 erzeugte Wärme wird über den Suszeptor 25 in den Chargenraum 24 abgegeben, wo sich die zu sinternde Charge 49 befindet. Über dem oberen Bereich des Suszeptors 25 ist keine Heizung vorgesehen, weil dort die Wärme im Wesentlichen nach oben - also ineffektiv - abgestrahlt würde. Die Temperatur im Chargenraum 24 erhöht sich nun entsprechend der in der Fig. 1a dargestellten Temperaturkurve. Trotz des aus einem Graphit-Filz-Laminat bestehenden Isolationszylinders 27 gibt die Heizung 26 auch Wärme in Richtung auf den äußeren Stahlmantel 32 ab, was jedoch unerwünscht ist, da sich dieser nicht aufheizen, sondern von außen anfassbar bleiben soll. Die durch den Isolationszylinder 27 nach außen dringende Wärme gelangt in den Zwischenraum 75 zwischen dem Isolationszylinder 27 und dem inneren Stahlmantel 33. In diesem Zwischenraum 75 befindet sich ein Gas, z. B. Argon oder Stickstoff, das als Temperaturträger dient. Dieses Gas gibt seine Wärme an das Kühlhemd 65, 66, 67 und an das Kühlmedium 34 im Zwischenraum ab.

[0031] Da warme Gase stets nach oben steigen und kühle Gase nach unten fallen, bildet sich in dem Zwischenraum 75 ein Konvektionsstrom aus, der durch Pfeile 80, 81 angedeutet ist. Wird dieser Konvektionsstrom verstärkt, erfolgt hierdurch eine schnellere Kühlung. Durch die besondere asymmetrische Anordnung des Kühlhemds 65, 66, 67 wird eine Erhöhung des Konvektionsstroms bewirkt. Das Kühlhemd 65, 66, 67 befindet sich nur im oberen Bereich des Sinterofens 20 und liegt unsymmetrisch zur y- und z-Achse. Das Kühlhemd 65, 66, 67 beginnt auf der rechten Seite bei einem Winkel α zur z-Achse und endet bei einem Winkel von $-\beta$ zur z-Achse auf der linken Seite, wobei α in der Größenordnung von 40° und β in der Größenordnung von 15° liegen. Es versteht sich, dass das Kühlhemd auch aus anderen Materialien bestehen kann und α bzw. β auch andere Beträge besitzen können.

[0032] Durch die unsymmetrische Anordnung des Kühlhemds wird das inerte Gas im linken Teil des Sinterofens 20 stärker abgekühlt als im rechten Teil. Die Folge hiervon ist eine Zirkulation des Gases in Richtung

der Pfeile 80, 81, weil das auf der linken Seite in verstärktem Maße anfallende kühle Gas nach unten fällt und somit das wärmere Gas auf der rechten Seite nach oben drückt. Die Winkel α und β sind in der Fig. 4 nur beispielhaft angegeben. Es versteht sich, dass eine Optimierung dieser Winkel errechnet werden kann, beispielsweise über die Rechenmethode der Finiten Elemente. Bei dem Finite-Elemente-Verfahren handelt es sich ursprünglich um ein numerisches Verfahren unter Einsatz von Computern zur Ermittlung von Spannungen und Dehnungen am komplizierten, analytisch nicht berechenbaren, belasteten Bauteil, das aber auch auf Strömungen anwendbar ist. Wesentlich für die Entstehung eines verstärkten Konvektionsstroms des inerten Gases ist indessen die asymmetrische Anordnung des Kühlbereichs relativ zur y-Achse, d. h. der Winkel α auf der rechten Seite darf nicht noch einmal auf der linken Seite erscheinen.

[0033] Asymmetrisch in diesem Sinne heißt nicht unbedingt, dass das Kühlhemd stets einstückig ausgebildet und dann relativ zur y-Achse verschoben sein muss. Es wäre auch möglich, das Kühlhemd z. B. in der Nähe der y-Achse zu unterbrechen und auf der rechten Seite ein kleineres und auf der linken Seite ein größeres Kühlhemd-Teil vorzusehen.

Patentansprüche

1. Hochdrucksinterofen, mit

1.1 einem äußeren Gehäuse (32),

1.2 einem Chargenraum (24),

1.3 einer Heizung (26), die den Chargenraum (24) wenigstens teilweise umgibt,

1.4 einer Wärmeisolation (27) zwischen der Heizung (26) und dem äußeren Gehäuse (32),

1.5 einem mit einem Gas gefüllten Raum (75) zwischen der Wärmeisolation (27) und dem äußeren Gehäuse (32) und

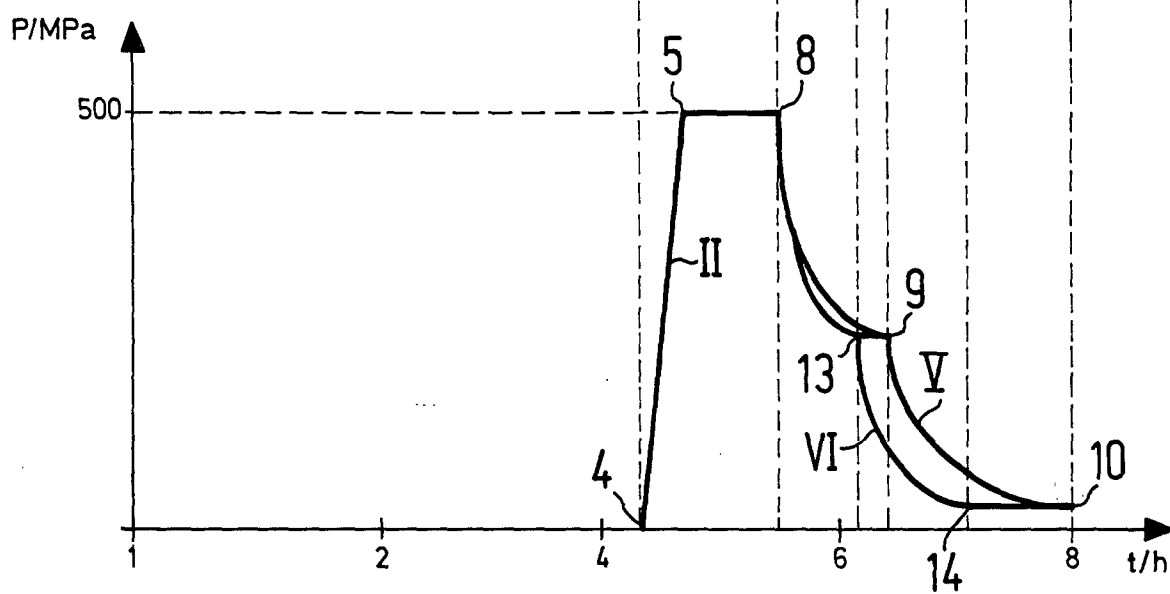
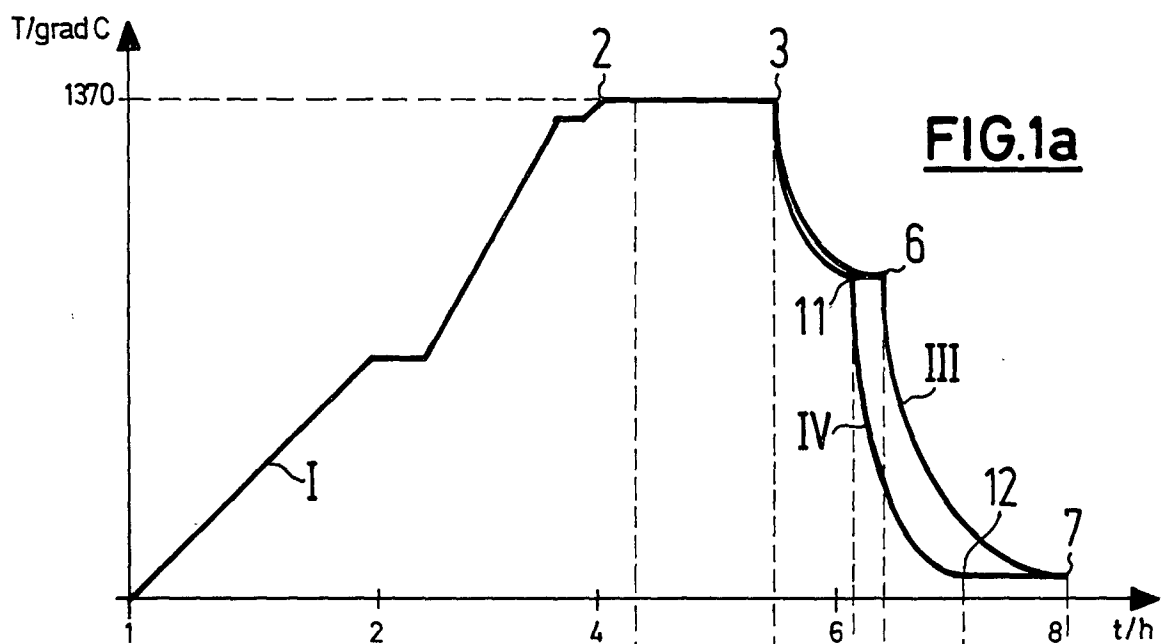
1.6 einer Kühleinrichtung (65 bis 67) zwischen der Wärmeisolation (27) und dem äußeren Gehäuse (32),

dadurch gekennzeichnet, dass die Kühleinrichtung (65 bis 67) asymmetrisch zur horizontalen und/oder vertikalen Achse des Hochdrucksinterofens (20) angeordnet ist.

2. Hochdrucksinterofen nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Kühleinrichtung (65 bis 67) nur in einem Teilbereich des Hochdrucksinterofens (20) vorgesehen ist.

3. Hochdrucksinterofen nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Kühleinrichtung (65 bis 67) Kupfer und/oder Graphit enthält.
4. Hochdrucksinterofen nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass das äußere Gehäuse (32) ein zylindrischer Stahlmantel ist. 5
5. Hochdrucksinterofen nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass in einem Abstand von der Innenseite des zylindrischen Stahlmantels ein zylindrisches Blech (33) verläuft. 10
6. Hochdrucksinterofen nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Charginraum (24) von einem Suszeptor (25) umgeben ist, der seinerseits wenigstens teilweise von der Heizung (26) umgeben ist. 15
7. Hochdrucksinterofen nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Suszeptor (25) von der Wärmeisolation (27) umgeben ist und sich die Heizung (26) zwischen diesem Suszeptor (25) und dieser Isolation (27) befindet. 20
25
8. Hochdrucksinterofen nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass das äußere Gehäuse (32) zylindrisch ausgebildet und mit seiner Längsachse zum Boden aufgestellt ist. 25
30
9. Hochdrucksinterofen nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass das äußere Gehäuse (32) auf einem Gestell (21) ruht und Träger (47, 48) für Sintermetalle (49) vorgesehen sind, die in den Charginraum (24) hineinragen. 30
35
10. Hochdrucksinterofen nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Kühleinrichtung (65 bis 67) im oberen Bereich des Gehäuses (32) angeordnet ist. 35
40
11. Hochdrucksinterofen nach Anspruch 1 und Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Kühleinrichtung (65 bis 67), bezogen auf eine z-Achse parallel zur Ebene der Standfläche, auf einer Seite bei einem Winkel α von etwa 40° beginnt und auf der anderen Seite bei einem Winkel β von -15° endet. 40
45
12. Hochdrucksinterofen nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Kühleinrichtung (65 bis 67) in mehrere Teil-Kühleinrichtungen unterteilt ist. 45
50

55



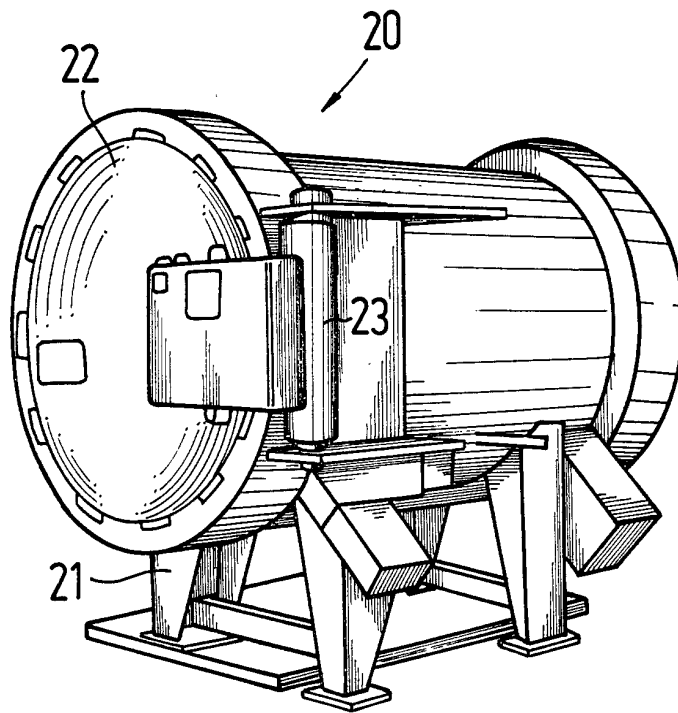


FIG. 2

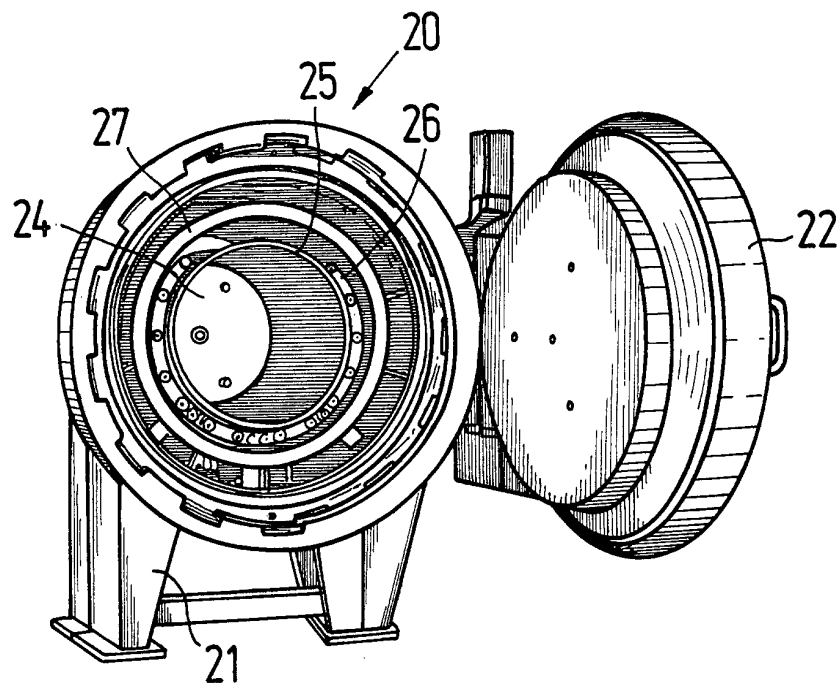


FIG. 3

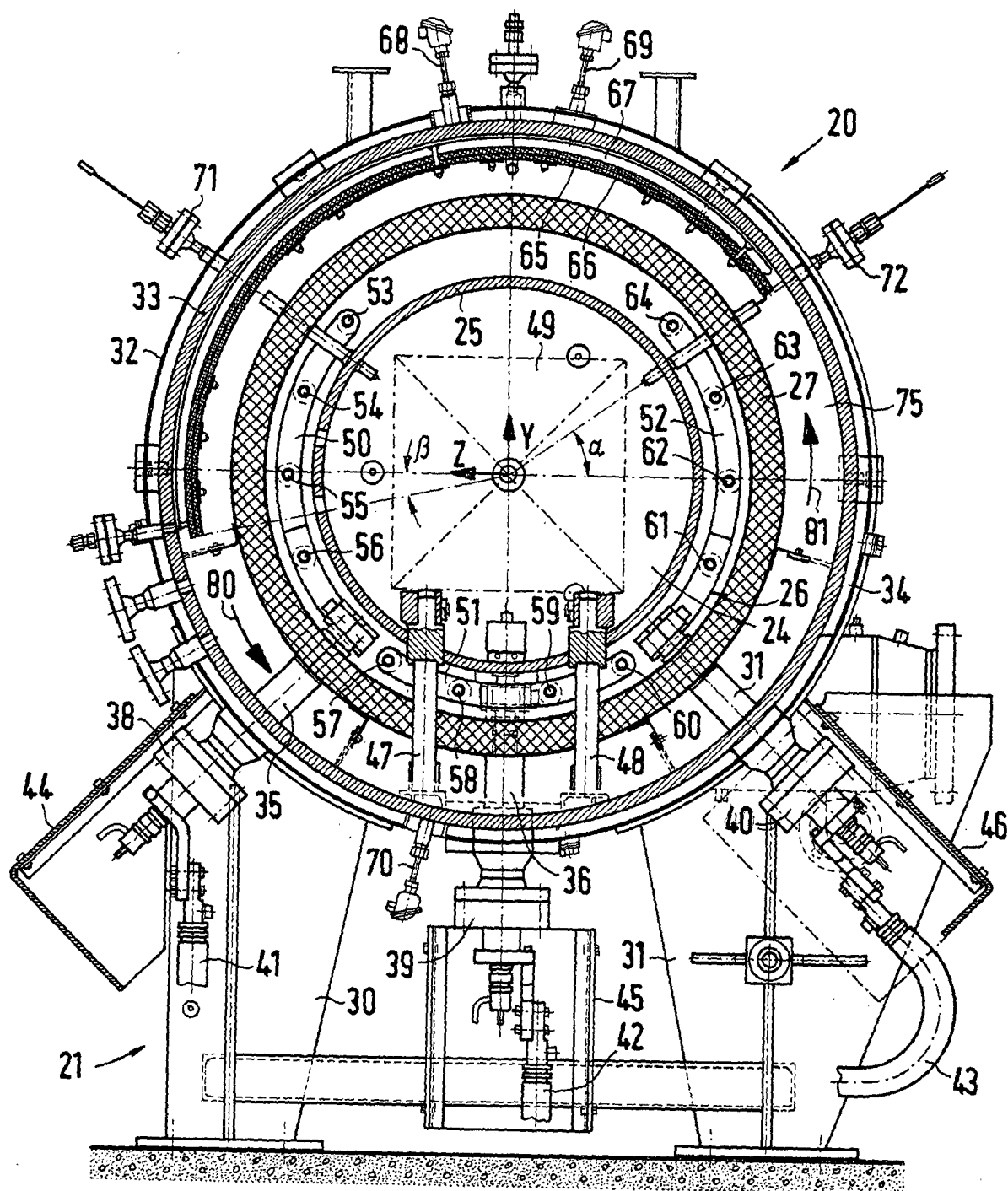


FIG. 4