

(19)



REPUBLIK  
ÖSTERREICH  
Patentamt

(10) Nummer:

**AT 408 078 B**

(12)

**PATENTSCHRIFT**

(21) Anmeldenummer: 2019/98  
(22) Anmeldetag: 01.12.1998  
(42) Beginn der Patentdauer: 15.01.2001  
(45) Ausgabetag: 27.08.2001

(51) Int. Cl.<sup>7</sup>: **B22F 3/10**  
B22F 3/11

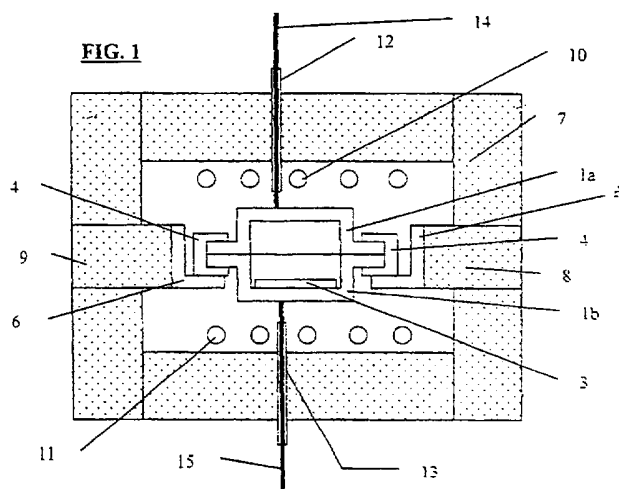
(56) Entgegenhaltungen:  
GB 924715A (LOR) 01.05.63  
EP 242152A2 (TOYO) 21.10.87  
DE 19717894A1 (MEPURA) 27.11.97

(73) Patentinhaber:  
CAG ALU-FOAM PRODUKTIONS-GMBH  
A-3182 MARKTL, NIEDERÖSTERREICH (AT).

(54) VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR HERSTELLUNG VON KÖRPERN AUS METALLSCHAUM

**AT 408 078 B**

(57) Verfahren zur Herstellung von Körpern aus Metallschaum nach dem pulvermetallurgischem (PM-) Verfahren, bei welchem ein PM-Halbzeug (3) in eine zumindest zweiteilige Kokille (1) aus Metall, Keramik od. dgl. eingelegt und die geschlossene Kokille (1) so weit aufgeheizt wird bis das Halbzeug (3) schmilzt, wobei das in das PM-Halbzeug (3) eingebaute Treibmittel dissoziiert und Gas abspalten wird, so daß die Schmelze des Matrixmetalls aufschäumt und die Kokille (1) ausfüllt, worauf die Kokille abgekühlt wird und die von Gasbläschen durchsetzte Schmelze zu einer porigen Struktur geringer spezifischer Dichte erstarrt, wobei das Halbzeug (3) in eine, vorzugsweise in die untere Kokillenhälfte (1b) eingelegt wird und die Energiezufuhr zum Aufheizen und Schmelzen des PM-Halbzeuges (3) im wesentlichen nur durch Aufheizen dieser Kokillenhälfte (1b) erfolgt, wobei dieser Kokillenhälfte (1b) im Vergleich zu der oberen Kokillenhälfte (1a) wesentlich größere Energiemengen zugeführt werden und die letztere im wesentlichen nur auf Schmelztemperatur des Matrixmetalls aufgeheizt wird.



Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Herstellung von Körpern aus Metallschaum nach dem pulvermetallurgischem (PM-) Verfahren, bei welchem ein PM-Halbzeug in eine zumindest zweiteilige Kokille aus Metall, Keramik od. dgl. eingelegt und die geschlossene Kokille so weit aufgeheizt wird bis das Halbzeug schmilzt, wobei das in das PM-Halbzeug einge-  
 5 baute Treibmittel dissoziiert und Gas abspalten wird, so daß die Schmelze des Matrixmetalls aufschäumt und die Kokille ausfüllt, worauf die Kokille abgekühlt wird und die von Gasbläschen durchsetzte Schmelze zu einer porigen Struktur geringer spezifischer Dichte erstarrt.

Bei den bisher angewandten Methoden, wie sie u.a. in der **DE 197 17 894** beschrieben sind, wurden die Kokillen in Öfen aufgeheizt. Um einen vorzeitigen Verlust an Treibgas zu vermeiden, darf eine bestimmte Zykluszeit nicht überschritten werden. Es muß daher eine Ofentemperatur gewählt werden, die wesentlich über der Schmelztemperatur des Matrixmetalles liegt, um einen ausreichenden Wärmeübergang einerseits zwischen Ofenatmosphäre und der Kokille und anderer-  
 10 seits zwischen der Kokille und dem in die Kokille eingelegten Halbzeug zu gewährleisten. Die bei diesen hohen Ofentemperaturen erzielten Oberflächenstrukturen der Schaumteile haben signifikante Unterschiede aufgewiesen. Die Unterseite des Teiles hatte im allgemeinen eine schöne, gleichmäßige Struktur, während die Oberseite vielfach Einfallstellen und Oxydanhäufungen aufgewiesen hat. Ähnliche Unterschiede waren in der Zellstruktur festzustellen: während in der unteren Teilhälfte eher eine feinporige, gleichmäßige Zellstruktur dominiert hat, sind in der oberen Hälfte größere Poren vorherrschend, wobei vielfach ein Kollabieren der Zellwände festzustellen war.

Der Erfindung liegt nun die Erkenntnis zugrunde, daß eine gleichmäßig gute Oberflächen- und Porenstruktur sowohl an der Unter- als auch an der Oberseite durch eine geeignete, unabhängige Temperaturführung für die beiden Kokillenhälften während des Aufschäumvorganges erzielbar ist.

Erfindungsgemäß wird das Halbzeug in eine, vorzugsweise in die untere Kokillenhälfte eingelegt wobei die Energiezufuhr zum Aufheizen und Schmelzen des PM-Halbzeuges im wesentlichen  
 25 nur durch Aufheizen dieser Kokillenhälfte erfolgt, während die andere, vorzugsweise die obere Kokillenhälfte im wesentlichen nur bis zum Schmelzpunkt des Matrixmetalls aufgeheizt wird.

Durch das erfindungsgemäße Verfahren wird zu dem Zeitpunkt, zu welchem der flüssige Metallschaum vorliegt, eine weitgehend gleichmäßige Temperatur beider Kokillenhälften erreicht und eine Überhitzung der oberen Kokillenhälfte, die zunächst nicht mit dem Halbzeug in Kontakt  
 30 ist, vermieden. Der unteren Kokillenhälfte, welche das Halbzeug enthält, werden durch den Aufheizvorgang und das Aufschmelzen des Halbzeuges große Wärmemengen entzogen, so daß trotz sehr unterschiedlicher Energiezufuhr zu den beiden Kokillenhälften die zum Zeitpunkt des Aufschäumens des Halbzeuges resultierenden Temperaturen in etwa übereinstimmen.

In der **GB 924 715** ist ein Verfahren beschrieben, nach welchem Metallschaum durch Erhitzen  
 35 von Mischungen von Metallpulver und Treibmittelpulver direkt hergestellt werden soll. Diese Methode entspricht nicht dem klassischen pulvermetallurgischem Verfahren: Für die Bildung von Metallschäumen nach diesem PM-Verfahren ist es wesentlich, daß im Halbzeug die die Matrix-Metall-Partikel umgebenden Oxidschichten aufgerissen und die Treibmittelpartikel im wesentlichen gasdicht in die Partikel des Matrixmetalls eingeschweißt sind. Ein wesentlicher Verfahrensschritt des  
 40 PM-Prozesses ist daher eine Umformung der Pulvermischung mit einem Umformgrad von mindestens 80 %. Die Umformung kann durch Strangpressen oder Walzen erfolgen, wobei das Pulver im allgemeinen durch ein vorgeschaltetes Kompaktieren zu einem leichter handhabbaren Körper verdichtet wird. Beim Aufschmelzen eines auf diese Weise hergestellten PM-Halbzeuges dissoziiert das Treibmittel wobei Treibgas (im allgemeinen Wasserstoff) freigesetzt wird. Dieses bildet in  
 45 der Schmelze, die zunächst eine relativ hohe Viskosität aufweist, eine Vielzahl von Poren.

Beim Erhitzen von losen Pulvermischungen, wie dies in der **GB 924 715** vorgeschlagen wird, kommt es gemäß den obigen Ausführungen, nicht zu einer Schaumbildung, da sich durch die, die einzelnen Partikel umhüllende Oxidschichten keine Schmelze ausbildet, welche die Treibmittel-  
 50 partikel gasdicht umschließt. Das Treibgas kann daher mehr oder minder ungehindert entweichen.

Ziel der Erfindung ist eine Verbesserung des PM-Verfahrens, bei welchem ein metallisches Halbzeug in einer allseitig geschlossenen Form durch Erhitzen derselben zum Aufschäumen gebracht wird. Wie oben ausgeführt worden ist, gibt es im allgemeinen signifikante Unterschiede in der Oberflächenqualität der verschiedenen Flächen eines Schaumteiles. Während die, durch die untere Formhälfte geformten Flächen eine einwandfreie Oberflächenqualität aufweisen, sind die  
 55 durch die obere Formhälfte geformten Flächen vielfach in ihrer Qualität deutlich schlechter. Dies ist

darauf zurückzuführen, daß diese Formhälfte eine wesentlich höhere Temperatur annimmt, da im allgemeinen nur von der unteren Formhälfte Wärme zum Aufheizen und in der weiteren Folge auch zum Schmelzen des Halbzeuges abgezogen wird. Beim Kontakt der Schaumschmelze mit den sehr heißen Formteilen kommt es vielfach zu einem mehr oder weniger ausgeprägten Kollabieren der Schaumstruktur.

Im Gegensatz zur Erfindung sind gemäß der **GB 924 715** offene Formen vorgesehen, bei welchen also nur die Unterseite abgeformt wird, während die Oberseite frei aufgeschäumt wird. Die Oberfläche der Oberseite hat daher weder eine definierte Form und Struktur noch eine bestimmte Qualität, so daß aus dieser Veröffentlichung keine Anregung für eine dem Erfindungsgegenstand zu entnehmen ist.

Gemäß der Erfindung kann das oben angeführte Verfahren in einer Vorrichtung realisiert werden, welche zumindest zwei voneinander unabhängig regelbare Heizeinrichtungen aufweist, die je einer Kokillenhälfte zugeordnet sind, wobei die Heizeinrichtung, welche der Kokillenhälfte zugeordnet ist, in welche das PM-Halbzeug eingelegt ist, vorzugsweise der unteren Kokillenhälfte mit einer wesentlich höheren Leistung betrieben wird wie die zweite, der anderen, vorzugsweise der oberen Kokillenhälfte zugeordnete Heizeinrichtung.

Unter den gegebenen Randbedingungen ist die Zykluszeit wesentlich kleiner als die Zeit zur Erreichung eines stationären Zustandes notwendige Zeitspanne. Der Aufheizvorgang ist somit ein rein dynamischer Prozeß. Die Zeit zur Erreichen des Aufschäumens des Halbzeuges wird daher von vielen Parametern stark beeinflusst. Anstelle einer Zeitsteuerung wird daher gemäß einem weiteren Merkmal der Erfindung vorgeschlagen, einen Sensor vorzusehen, der den Zeitpunkt des Aufschäumens des Halbzeuges in der Kokille detektiert und die Heizeinrichtung und / oder die Fördereinrichtung steuert.

Weitere Merkmale der Erfindung ergeben sich aus den weiteren Unteransprüchen und der nachfolgenden Beschreibung eines Ausführungsbeispiels und unter Bezugnahme auf die Zeichnung. Die Fig. 1 stellt schematisch einen Querschnitt durch einen Tunnelofen gemäß der Erfindung dar. Die Fig. 2 zeigt, ebenfalls schematisch einen solchen Ofen im Längsschnitt, die Fig. 3 veranschaulicht das zugehörige Temperaturprofil. Das Diagramm gemäß Fig. 4 zeigt schließlich den zeitlichen Temperaturverlauf beider Kokillenhälften während des Schäumprozesses.

In Fig. 1 ist schematisch ein Querschnitt durch einen Ofen gemäß der Ebene AA in Fig. 2 dargestellt. Mit 1a und 1b sind die obere bzw. die untere Hälfte der Kokille bezeichnet. In die untere Kokillenhälfte 1b ist ein blechförmiges Halbzeug 3 eingelegt. Die beiden Kokillenhälften 1a und 1b werden durch an den Rändern aufgepreßte Klammern 4 aneinandergedrückt. Die Kokillen 1 sind in zwei in achsialer Richtung in dem Ofen angeordnete Schienen 5 und 6 gehalten und können in diesen in Längsrichtung durch einen nicht dargestellten Antrieb verschoben werden.

Mit 7 ist die Ofenausmauerung bzw. Isolierung bezeichnet, die zwei horizontale Konsolen 8 und 9 aufweist, welche die Schienen 5 und 6 tragen. Mit 10 und 11 sind elektrische Heizelemente für den Ofen bezeichnet.

12 und 13 sind Keramikrohre durch welche Thermoelemente 14 und 15 in den Ofen eingeführt und an die Oberflächen der beiden Kokillenhälften angepreßt werden können. Die Kokillen stellen zusammen mit den Schienen 5 und 6 und den beiden Konsolen 8 und 9 eine Schottwand zwischen dem oberen und dem unteren Ofensegment dar. Die Heizelemente 10 und 11 sind unabhängig voneinander regelbar, so daß in beiden Räumen unterschiedliche Temperaturen eingestellt werden können. In Fig. 2 ist schematisch ein Längsschnitt durch den Ofen gezeigt. Man erkennt die Abdichtung der beiden Ofensegmente durch die Kokillen 1. Zur weiteren Verbesserung der Abdichtung können die Kokillen bzw. die die beiden Kokillenhälften 1a und 1b zusammenpressenden Klammern 4 mit sich überlappenden Blechplatten ausgestattet sein (nicht dargestellt).

In den Ofen werden in Pfeilrichtung, eventuell auf eine definierte Temperatur von z.B. 200 °C vorgewärmte Kokillen 1 durch einen Schrittantrieb eingebracht. Die Kokillen werden im Ofen zunehmend aufgeheizt. Durch die Heizung 11 im unteren Ofensegment wird der unteren Kokillenhälfte 1b im Vergleich zur oberen Kokillenhälfte wesentlich mehr Energie zugeführt, so daß die Kokillenhälfte 1b in der eigentlichen Schäumstation (Ebene AA) eine Temperatur, die 100-150 °C über dem Schmelzpunkt des Halbzeuges liegt, erreicht. Demgegenüber wird die obere Kokillenhälfte nur auf eine Temperatur aufgeheizt, die in etwa dem Schmelzpunkt des Halbzeuges entspricht.

Das in der unteren Kokillenhälfte 1b befindliche Halbzeug 3 wird überwiegend durch Wärmeleitung, aber auch durch Konvektion und Strahlung von der Kokillenwand auf Schmelztemperatur aufgeheizt. Da das Halbzeug im allgemeinen nur an einigen Punkten an der Kokillinnenwand anliegt, kommt es an einzelnen Zonen früher zum Aufschmelzen. Durch die Metallschmelze wird der Wärmeübergang schlagartig verbessert und der Kokillenhälfte 1b die für das weitere Aufschmelzen des Halbzeuges notwendige Schmelzwärme entzogen, so daß die Temperatur dieser Kokillenhälfte deutlich abfällt. In der Schäumstation des Ofens ist ein „Schäumsensor“ vorgesehen, der den Zeitpunkt des Aufschäumens des Halbzeuges 3 in der Kokille 1 detektiert.

Ein solcher Schäumsensor kann sehr verschiedenartig aufgebaut sein: es können in der Kokille gegeneinander isolierte elektrische Kontakte vorgesehen sein, die durch die Metallschmelze miteinander leitend verbunden werden. Nach einem anderen Vorschlag wird der Wasserstoffanteil in der Ofenatmosphäre gemessen. Da beim Aufschäumen des Halbzeuges das Treibmittel, typischer Weise Titanhydrid dissoziiert wird mit Beginn des Aufschäumens Wasserstoff in relativ großen Mengen freigesetzt, so daß ein deutlicher Anstieg in der Wasserstoffkonzentration nachweisbar ist. Schließlich können die Kokillen mit je einer kleinen Bohrung versehen sein. Beim Aufschäumen des Halbzeuges wird im Kokillinnenraum durch das Treibgas ein Druck aufgebaut, so daß durch die Bohrung flüssiges Metall austritt, das in geeigneter Weise ein Signal auslöst.

In einer besonders vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung wird vorgeschlagen, als Kriterium für den Schäumprozeß im Inneren der Kokille den plötzlichen Temperaturabfall an der unteren Kokillenhälfte, die ja das Halbzeug enthält heranzuziehen, der einerseits auf den verbesserten Wärmeübergang bei Auftreten von flüssigem Metall, andererseits auf den Entzug der Schmelzwärme aus der Kokillinnenwand zurückzuführen ist.

Die Temperaturmessung kann z.B. durch in der Schäumstation auf die untere Kokillenhälfte angepreßte Thermoelemente 15 erfolgen, die in Keramikrohren 13 geführt sind. Die Temperaturmessung kann aber auch berührungslos mit Pyrometer od. dgl. durchgeführt werden. Den Temperaturmeßeinrichtungen ist eine Auswerteeinrichtung, z.B. ein Computer nachgeschaltet, die die Änderung des zeitlichen Temperaturgradienten ermittelt und ein Signal auslöst, wenn der Temperaturabfall einen vorgegebenen Schwellwert übersteigt. Das vom Schäumsensor (gleichgültig welcher Bauart) abgeleitete Signal triggert, gegebenenfalls über ein Zeitglied den schrittweisen Antrieb für den Ofen, durch welchen die Kokillen 1 um eine Teilung in Pfeilrichtung weitertransportiert werden. Die in der Schäumstation befindliche Kokille wird in eine Zone des Ofens verschoben, in welcher die untere Kokillenhälfte mit einer wesentlich niedrigeren Temperatur beaufschlagt wird, so daß einerseits durch den Entzug der Schmelzwärme für das Halbzeug, andererseits durch den verminderten Energieeintrag die Temperatur dieser Kokillenhälfte abfällt. In der nächsten Station wird die Temperatur der Kokillenhälfte 1b weiter reduziert.

Demgegenüber wird die obere Kokillenhälfte 1a während des Weges durch den Ofen auf im wesentlichen nur auf eine Temperatur aufgeheizt, die der Schmelztemperatur des Halbzeuges entspricht, wobei die Energiezufuhr zum Ofenaustritt hin gedrosselt werden kann, da ein großer Teil der notwendigen Energie durch Wärmeleitung von der unteren Kokillenhälfte zugeführt wird. In Fig. 3 ist schematisch der Temperaturverlauf der beiden Kokillenhälften über die Ofenlänge veranschaulicht, wobei  $T_U$  die Temperatur der unteren Kokillenhälfte 1b,  $T_O$  die Temperatur der oberen Kokillenhälfte 1a bezeichnet.  $T_{\text{Schmelz}}$  ist die Schmelztemperatur des Halbzeuges 2.

In Fig. 4 ist schließlich der zeitliche Temperaturverlauf in der Schäumstation schematisch dargestellt. Die Temperatur  $T_U$  erreicht zum Zeitpunkt  $P_1$  einen Maximalwert und fällt anschließend deutlich ab. Der Temperaturabfall ist abhängig vom Wärmespeichervermögen der unteren Kokillenhälfte, sowie von der Halbzeugmasse und von der Schmelzwärme des Matrixmetalls des Halbzeuges und kann in der Größenordnung von 50 °K betragen. Ab dem Zeitpunkt  $P_2$  steigt die Temperatur wieder an. Dies zeigt an, daß der Bedarf an Schmelzwärme im wesentlichen abgedeckt ist, das Halbzeug ist somit weitgehend aufgeschmolzen. Das Aufschmelzen des Halbzeuges und das damit parallel verlaufende Aufschäumen zeigt sich auch in einem leichten Temperaturanstieg der oberen Kokillenhälfte 1a, da dieser durch den Kontakt mit dem auf Schmelztemperatur befindlichen Schaum Energie zugeführt wird. Um eine Überhitzung des empfindlichen flüssigen Schaumes zu verhindern und ein Kollabieren der Schaumstruktur zu vermeiden, wird zwischen den Punkten  $P_1$  und  $P_2$  die weitere Energiezufuhr vor allem zur unteren Kokillenhälfte 1b reduziert. Dies wird dadurch erreicht, daß durch den Schrittantrieb des Ofens die in der Schäumstation befindliche

Kokille aus dieser in eine Zone des Ofens mit einem niedrigeren Temperaturniveau verschoben wird. Im idealen Fall erfolgt das Fertiganschäumen des Halbzeuges bei Temperaturen der Kokille, die nur wenig über der Schmelztemperatur des Matrixmetalls des Halbzeuges liegen. Es wird damit eine gute Formfüllung erreicht und eine gleichmäßige und feinporige Schaumstruktur erzielt.

Die Erfindung ist nicht auf das dargestellte Beispiel beschränkt. So kann die unterschiedliche Energiezufuhr zu den beiden Kokillenhälften durch entsprechende Luftbewegung unterstützt bzw. bewirkt werden. Die Energiezufuhr kann auch zum Großteil durch Strahlung erfolgen.

Die Kokille kann selbstverständlich auch mehrteilig aufgebaut sein. Wesentlich ist lediglich, daß jenen Kokillenteilen, die Halbzeug enthalten deutlich mehr Energie zugeführt wird wie den Kokillenteilen, die erst nach erfolgtem Aufschäumen mit dem Halbzeug in Kontakt kommen.

#### PATENTANSPRÜCHE:

1. Verfahren zur Herstellung von Körpern aus Metallschaum nach dem pulvermetallurgischem (PM-) Verfahren, bei welchem ein PM-Halbzeug in eine zumindest zweiteilige Kokille aus Metall, Keramik od. dgl. eingelegt und die geschlossene Kokille so weit aufgeheizt wird bis das Halbzeug schmilzt, wobei das in das PM-Halbzeug eingebaute Treibmittel dissoziiert und Gas abspalten wird, so daß die Schmelze des Matrixmetalls aufschäumt und die Kokille ausfüllt, worauf die Kokille abgekühlt wird und die von Gasbläschen durchsetzte Schmelze zu einer porigen Struktur geringer spezifischer Dichte erstarrt, **dadurch gekennzeichnet, daß** das Halbzeug (3) in eine, vorzugsweise in die untere Kokillenhälfte (1b) eingelegt wird und die Energiezufuhr zum Aufheizen und Schmelzen des PM-Halbzeuges (3) im wesentlichen nur durch Aufheizen dieser Kokillenhälfte (1b) erfolgt, wobei dieser Kokillenhälfte (1b) im Vergleich zu der anderen, vorzugsweise der oberen Kokillenhälfte (1a) wesentlich größere Energiemengen zugeführt werden und die letztere im wesentlichen nur auf Schmelztemperatur des Matrixmetalls aufgeheizt wird. (Fig. 1)
2. Vorrichtung zum Herstellen von Körpern aus Metallschaum nach dem Verfahren gemäß Patentanspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, daß** sie zumindest zwei voneinander unabhängig regelbare Heizeinrichtungen (10, 11), gegebenenfalls auch unterschiedlicher Nennleistung aufweist, die je einer Kokillenhälfte (1a, 1b) zugeordnet sind, wobei die Heizeinrichtung (11) welche der Kokillenhälfte zugeordnet ist, in welche das PM-Halbzeug (3) eingelegt ist, vorzugsweise der unteren Kokillenhälfte (1b) mit einer wesentlich höheren Leistung betrieben wird wie die zweite, der anderen, vorzugsweise der oberen, Kokillenhälfte (1a) zugeordnete Heizeinrichtung (10). (Fig. 1)
3. Vorrichtung nach Patentanspruch 2, **gekennzeichnet** durch einen Ofen der eine horizontale Teilung aufweist, wobei die untere Ofenhälfte auf ein wesentlich höheres Temperaturniveau einstellbar ist, wie die obere Hälfte, wobei die Ofenhälften durch eine Schottwand (8,9) voneinander getrennt sind und die Kokille (1), bzw. die Kokillen in die Schottwand eingesetzt sind. (Fig. 1)
4. Vorrichtung nach Patentanspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Ofen als Tunnelofen ausgebildet ist und im Bereich der Schottwand (8,9) Führungen aufweist (5,6), in welchen eine Vielzahl von Kokillen (1) durch den Ofen mittels einer Fördereinrichtung förderbar sind, wobei gegebenenfalls die Kokillen (1) in ihrer Gesamtheit die beiden Ofenhälften gegeneinander abschotten. (Fig. 1 und 2)
5. Vorrichtung nach einem der Patentansprüche 2 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, daß** ein Sensor vorgesehen ist, der den Zeitpunkt des Aufschäumens des PM-Halbzeuges in der bzw. den Kokillen detektiert und die Heizeinrichtungen und / oder die Fördereinrichtung steuert.
6. Vorrichtung nach Patentanspruch 5,

**dadurch gekennzeichnet, daß**

der Sensor eine Temperaturmeßeinrichtung umfaßt, die der Kokillenhälfte zugeordnet ist, in welche das PM-Halbzeug (3) eingelegt ist, vorzugsweise der unteren Kokillenhälfte (1b), z.B. ein Pyrometer oder ein auf der Kokillenhälfte (1b) anliegendes Thermoelement (15), sowie eine der Temperaturmeßeinrichtung nachgeschaltete Auswerteinrichtung, welche bei Änderung des zeitlichen Temperaturgradienten ein Signal auslöst. (Fig. 2 und 4)

**HIEZU 2 BLATT ZEICHNUNGEN**

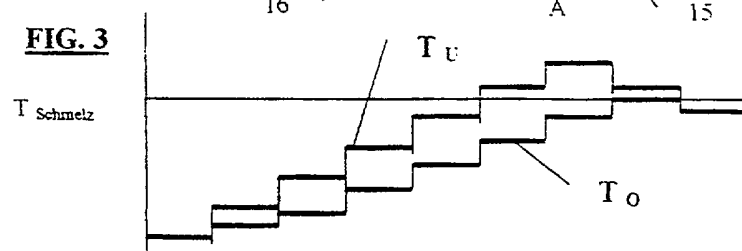


FIG. 4

