



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11) Veröffentlichungsnummer:

**0 073 024
A2**

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(21) Anmeldenummer: 82107582.7

(51) Int. Cl.³: C 04 B 39/00

(22) Anmeldetag: 19.08.82

(30) Priorität: 21.08.81 DE 3133209

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
02.03.83 Patentblatt 83/9

(84) Benannte Vertragsstaaten:
DE FR GB IT NL SE

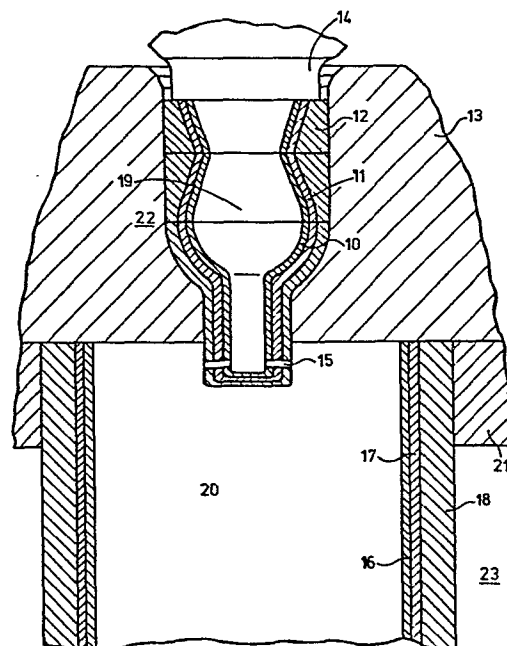
(71) Anmelder: MTU MOTOREN- UND TURBINEN-UNION
MÜNCHEN GMBH
Dachauer Strasse 665 Postfach 50 06 40
D-8000 München 50(DE)

(72) Erfinder: Hüther, Werner, Dr. Ing.
Nikolaus-Lenau-Strasse 8
D-8047 Karlsfeld(DE)

(72) Erfinder: Rossmann, Axel, Ing. grad.
Bachweg 4
D-8047 Karlsfeld(DE)

(54) Mehrschichtige Wand eines hohlen Körpers und Verfahren zur Herstellung derselben.

(57) Es soll eine mehrschichtige Hohlkörperwand geschaffen werden, die thermisch und mechanisch hochbelastbar und, wenn erwünscht, gut wärmeisoliert ist. Die Erfindung besteht darin, daß diese Wand innen eine wärme- und/oder verschleißfeste, keramische Innenschicht und eine diese umgebende, insbesondere unter Vorspannung stehende Halteschicht aus faserverstärktem Kunststoff und gegebenenfalls eine Zwischenschicht aus wärmeisolierendem, keramischem Werkstoff aufweist. Die Wand kann auch diese Innenschicht, diese Zwischenschicht und eine Halteschicht aus Metall aufweisen. Zumindest die Halteschicht wird aufgeschrumpft. Die Halteschicht aus Metall und/oder die Zwischenschicht können bzw. kann aufgesintert werden. Auch durch Sinterschrumpfung der Halteschicht ergibt sich die Vorspannung. Durch die Vorspannung ist bei Innendruck die keramische Innenschicht weniger oder nicht auf Umfangszug oder nur auf Umfangsdruck belastet. Anwendung insbesondere bei einer Dieselmotor-Vorbrennkammer oder einer Verbrennungsmotor-Zylinderlaufbuchse.



EP 0 073 024 A2

1 wo/si

MTU MOTOREN- UND TURBINEN-UNION
MONCHEN GMBH

5

München, den 21. August 1981

10

Mehrschichtige Wand eines hohlen Körpers
und Verfahren zur Herstellung derselben

15

Die Erfindung bezieht sich auf eine mehrschichtige Wand gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1. Die Erfindung bezieht sich ferner auf Verfahren zur Herstellung der erfindungsgemäßen mehrschichtigen Wand.

20

Aufgabe der Erfindung ist es, eine anfangs genannte mehrschichtige Wand zu schaffen, die thermisch und mechanisch hoch belastbar und, wenn erwünscht, gut wärmeisolierend ist.

25

Zur Lösung dieser Aufgabe besteht die Erfindung darin, daß die mehrschichtige Hohlkörperwand wie im Kennzeichen des Anspruchs 1 angegeben aufgebaut ist.

30

Die dort genannte keramische Innenschicht bzw. deren keramischer Werkstoff ist also von der Art, daß sie bzw. er große Temperaturen und/oder großen Verschleiß bzw. große Reibung ertragen kann. Die dort genannte

35

T-668

L
- 8 -

1 Halteschicht bzw. deren faserverstärkter Werkstoff
ist von der Art, daß sie bzw. er der Wand große Festigkeit
oder Festigkeiten anderer Art als die Verschleißfestigkeit
verleiht, insbesondere große Zugfestigkeit, vorzugsweise
5 zur Aufnahme eines Drucks eines im Innenraum des hohlen
Körpers befindlichen Fluids. Die betreffenden Zugkräfte
(sie weisen beim hohlen Umdrehungskörper in Umfangsrichtung)
werden von Verstärkungsfasern dieser Halteschicht aufge-
nommen, die dann durch diese Zugkräfte unter Faserlängs-
10 zugspannung stehen. Solche Verstärkungsfasern sind ins-
besondere Umfangsfasern, d. h. in Umfangsrichtung ge-
wickelte bzw. verlaufende Verstärkungsfasern. Auch schräg
zur Umfangsrichtung verlaufende, sich kreuzende Verstär-
kungsfasern können vorgesehen werden. Es soll die kerami-
15 sche Innenschicht durch diese Halteschicht unter Druck-
vorspannung (die betreffenden Druckkräfte weisen beim
hohlen Umdrehungskörper in Umfangsrichtung) gesetzt sein,
so daß wesentlich höhere Innendrucke ertragen werden als
bei einem hohlen Körper, dessen Wand nur aus keramischem
20 Werkstoff besteht. Die keramische Innenschicht ist dann
also bei Innendruck nicht zu sehr auf Zug belastet, was
sie evtl. nicht aushalten würde. Die genannte Druckvor-
spannung kann auch so groß gemacht werden, daß die kerami-
sche Innenschicht bei kleineren Innendrücken nur unter
25 Druckspannung steht; Druckspannung kann sie besser ertragen
als Zugspannung. Ferner kann diese Halteschicht einen hohen
Elastizitätsmodul, eine äußerst geringe Wärmedehnung und
eine relativ große Temperaturbeständigkeit aufweisen. Zur
Wärmeisolierung ist die genannte Isolierkeramik-Zwischen-
30 schicht zwischen den beiden anderen genannten Schichten
vorgesehen. Durch diese Zwischenschicht kann die Wärme-
leitung nach außen vermindert werden und somit die Wärme

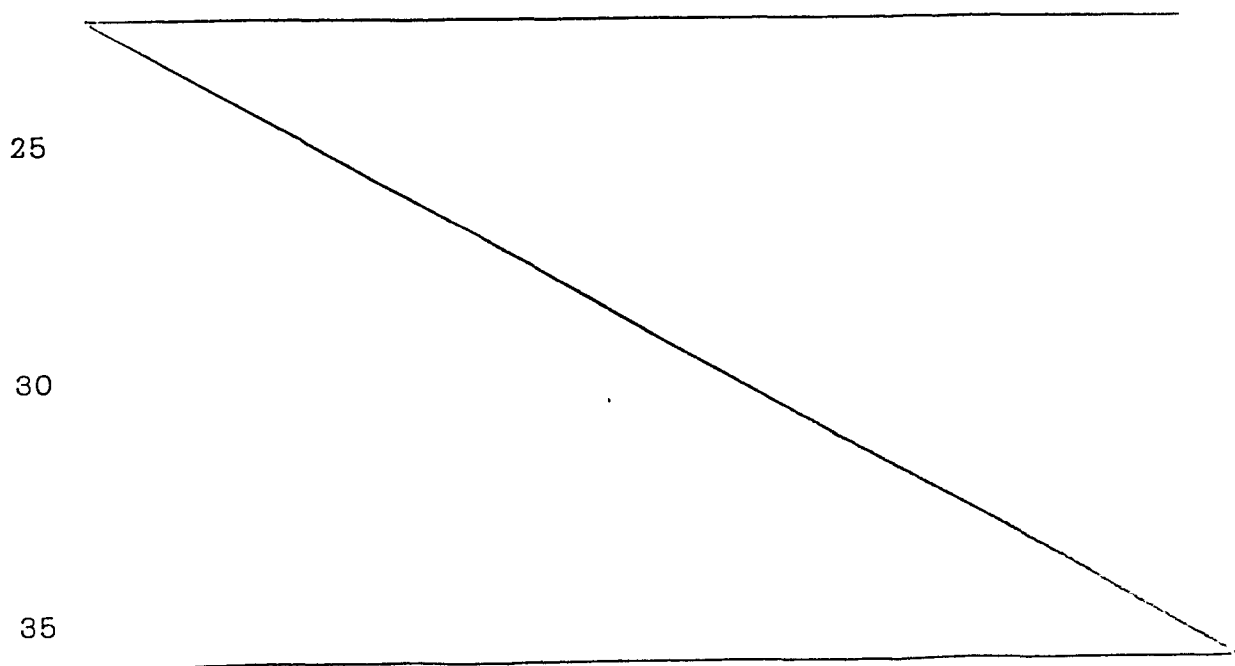
35

T-668
13.08.1982

- 1 innen gehalten und auch eine Überhitzung der Halteschicht
und eine Abnahme der Festigkeit der Halteschicht ver-
hindert werden. Dank dieser Zwischenschicht läßt sich
die Wand bei thermischer Belastung mit geringer Kühllei-
5 stung auf einer für den Werkstoff der Halteschicht er-
träglichen Temperatur halten.

Ausbildungen und Weiterentwicklungen der erfindungsgemäßen
Wand sind insbesondere in den Unteransprüchen 2 bis 6
10 aufgeführt.

Für den Anspruch 2 gilt ebenfalls all das, was über die
Wand bzw. ihre drei Schichten im Anschluß an die Angabe
der Erfindung, d. h. an den diesbezüglichen Hinweis
15 auf das Kennzeichen des Anspruchs 1 ausführlich
ausgeführt ist, nur daß jetzt die metallische Halte-
schicht bzw. deren Metall von der Art ist, daß sie
bzw. das Metall nun der Wand große Festigkeit oder
Festigkeiten anderer Art als die Verschleißfestigkeit
20 verleiht, insbesondere große Zugfestigkeit, und nur



1 daß jetzt die genannten Zugkräfte von dieser metallischen
Halteschicht aufgenommen werden können und die kera-
mische Innenschicht durch diese metallische Halteschicht
unter eine genannte Druckvorspannung gesetzt werden kann.
5 Ferner sind bei der Halteschicht aus Metall die Festigkeit,
z.B. die Zugfestigkeit, der Elastizitätsmodul und die
Temperaturbeständigkeit öfter kleiner und ist dort die
Wärmedehnung öfter größer als bei faserverstärkten Werk-
stoffen, was auch für hochwarmfesten Stahl als bevorzugtes
10 Halteschicht-Metall - siehe den Anspruch 4 - gelten kann.
Insbesondere wegen dieser öfter kleineren Temperaturbe-
ständigkeit und größeren Wärmedehnung ist ~~gemäß dem An-
spruch 2~~ die Isolierkeramik-Zwischenschicht vorgesehen.
Die im Anspruch 3 genannten keramischen Werkstoffe der
15 keramischen Innenschicht weisen hohe Temperaturfestigkeit
und hohe Verschleiß- bzw. Abriebfestigkeit auf, und -
siehe den Anspruch 5 - kohlenstofffaserverstärkter Graphit,
für die Halteschicht, weist große Zugfestigkeit auf. Die im
Anspruch 6 angegebenen Werkstoffe für die Zwischenschicht
20 sind gut wärmeisolierend. Der faserverstärkte Werkstoff
(Einbettungswerkstoff, Matrix) der Halteschicht ist ins-
besondere organischer Werkstoff oder Metall.

Die keramische Innenschicht kann insbesondere dadurch
25 unter eine genannte Druckvorspannung gesetzt werden, daß
gemäß dem Anspruch 7 vorgegangen wird. Z.B. werden also
die drei Schichten als feste Hohlkörper hergestellt und
der Zwischenschicht-Hohlkörper auf den Innenschicht-Hohl-
körper und der Halteschicht-Hohlkörper auf den Zwischen-
30 schicht-Hohlkörper aufgeschrumpft. Dieses Verfahren ist
z.B. zur Herstellung des Rohrs (siehe den Oberbegriff
des Anspruchs 1) geeignet. Das Verfahren ist relativ ein-
fach durchzuführen.

35 T-663
21.08.1931

1 Insbesondere bei einem komplizierter geformten hohlen
Körper, aber auch z. B. bei einem Rohr, kann bezüglich
der Isolierkeramik-Zwischenschicht und der Halte-
schicht aus Metall wie in den Ansprüchen 8, 10 und 11
5 angegeben vorgegangen werden. Das im Anspruch 8 genannte
Aufbringen der Pulverschicht geschieht insbesondere wie
im Anspruch 9 angegeben. Durch Aufsintern des Metalls
(Anspruch 10), insbesondere des hochwarmfesten Stahls, auf
die Isolierkeramik-Zwischenschicht ergibt sich von selbst
10 eine genannte Druckvorspannung der keramischen Innen-
schicht, da bei der Abkühlung nach dem Sintern die
Schrumpfung des Metalls größer ist als die Schrumpfung
der keramischen Innenschicht bzw. des keramischen Innen-
teils.

15

Die Erfindung wird insbesondere bei einer Dieselmotor-
Vorbrennkammer, einer Verbrennungsmotor-Zylinderlauf-
buchse, einem heißgasberührten Gehäuse oder Gehäuse-
teil, einem Wälzlagerring und einem Gleitlager, z. B. bei
20 Lagerschalen desselben, als genanntem hohlem Körper ange-
wendet. Diese Einrichtungen bzw. Teile sind thermisch und
mechanisch (insbesondere durch genannten Innendruck und/
oder Reibung) erheblich belastet. Ferner ist bei ihnen
meist eine gute Wärmeisolation erwünscht, insbesondere
25 bei der genannten Vorbrennkammer und der genannten Zy-
linderlaufbuchse zur Kleinhaltung der Verluste des Motors.

In der Zeichnung sind zwei Ausführungsbeispiele der er-
findungsgemäßen mehrschichtigen Wand bei einer Vorbrenn-
30 kammer und einer Zylinderlaufbuchse eines Dieselmotors
in einem Längsschnitt dargestellt.

Die Vorbrennkammer 22 und die Zylinderlaufbuchse 23 sind
hohle Umdrehungskörper. Die Vorbrennkammer 22 befindet
35

6
-8-

1 sich in einer Bohrung eines Zylinderkopfs 13 aus Stahl.
Sie bzw. ihre Wand besteht aus einer wärmefesten, kera-
mischen Innenschicht 10 aus Siliziumkarbid (SiC), einer
Isolierkeramik-Schicht 11 aus Magnesiumaluminiumsilikat
5 (MAS) und einer Halteschicht 12 aus kohlenstoffaserver-
stärktem Graphit. Die keramische Innenschicht 10 verläuft,
zur Zylinderlaufbuchse 23 hin gesehen, so, daß der Innen-
raum der Vorbrennkammer 22 sich zuerst kegelstumpfförmig
verengt, anschließend, zur Bildung eines bauchigen Brenn-
10 raums 19, sich kegelstumpfförmig erweitert und dann becken-
artig zusammenzieht, um daran anschließend zylindrisch
zu verlaufen. Die Halteschicht 12 bzw. also die Vorbrenn-
kammer 22 ist außen längs den beiden Kegelstümpfen zy-
lindrisch, um sich dann ebenfalls beckenartig zusammen-
15 zuziehen und dann zylindrisch zu verlaufen. Die genannte
Zylinderkopfbohrung hat die gleiche Form und die gleichen
Abmessungen.

Die Vorbrennkammer 22 ist, damit die Halteschicht 12
20 aufgebracht werden kann, aus drei axial aufeinanderfolgen-
den Teilen zusammengesetzt, wobei die Teilebenen beim
Zusammenstoß der beiden Kegelstümpfe und beim großen Becken-
durchmesser liegen. Jeweils wird die keramische Innen-
schicht 10 als festes Teil hergestellt, die Isolierkeramik-
25 Zwischenschicht 11 durch Aufbringen einer Schicht sinter-
fähigen Isolierkeramikpulvers aus Magnesiumaluminiumsili-
kat (MAS) auf den keramischen Innenkörper 10 durch iso-
statisches Pressen oder durch Umspritzen (Spritzguß) und
Sintern dieser Pulverschicht hergestellt und die Halte-
30 schicht 12 als festes Teil hergestellt und auf die Iso-
lierkeramik-Zwischenschicht 11 aufgeschrumpft.

Ein Einsatzstück 14 drückt die drei Vorbrennkammer-Teile
in der Zylinderkopfbohrung mittels nicht dargestellter,
35

- 1 das Einsatzstück 14 mit dem Zylinderkopf 13 verbindender,
achspareller Schrauben gegeneinander und gegen das Becken
des Zylinderkopfs 13. Der Ausströmzylinder der Vorbrenn-
kammer 22 ragt etwas in den Brennraum 20 des Motorzylinders
5 hinein, weist dort auf dem Umfang gleichmäßig verteilt ange-
ordnete, etwa radiale Ausströmkanäle 15 auf und geht mit
seinen drei Schichten 10 bis 12 in eine also ebenfalls
dreischichtige, ihn abschließende Stirnwand über.
- 10 Die Zylinderlaufbuchse 23 ist ein Hohlzylinderkörper und
sitzt in einem Motorblock 21, mit dem, was nicht dargestellt
ist, der Zylinderkopf 13 verschraubt ist. Die Zylinderlauf-
buchse 23 bzw. ihre Wand besteht aus einer wärme- und
verschleiß- bzw. abriebfesten, keramischen Innenschicht
15 16 aus Siliziumkarbid (SiC), einer Isolierkeramik-Schicht
17 aus Aluminiumtitanat ($AlTiO_3$) und einer Halteschicht
18 aus hochwarmfesten Stahl. Die Schichten 16 und 17 wer-
den einzeln als feste Teile hergestellt, und das Teil 17
wird auf das Teil 16 aufgeschraubt. Die Halteschicht 18
20 wird dann durch Aufbringen eines sinterfähigen Pulvers
aus hochwarmfesten Stahl auf das Teil 17 durch isostatischen
Pressen oder durch Umspritzen (Spritzguß) und Sintern die-
ser Pulverschicht hergestellt.
- 25 Nachfolgend wird beispielhaft ein erfindungsgemäßes Ver-
fahren zur Herstellung einer Zylinderlaufbuchse aus
SiC/MAS und Nimonic 90^R angegeben. Zunächst wird ein
Keramikrohr aus drucklos gesintertem SiC mit den Maßen
30 Innendurchmesser 70 mm, Außendurchmesser 80 mm und
Länge 100 mm hergestellt. Dieses Rohr wird durch Kaltiso-
statpressen mit einer solchen Glaspulverschicht umgeben, die
durch Wärmebehandlung in eine MAS-Schicht überführbar ist.
Die Herstellung eines solchen Glaspulvers wird beschrieben
35 in "Properties of Cordierit Glass-Ceramics Produced by

1 Sintering and Crystallization of Glass Powder" by Claes I.
Helgesson in Science of Ceramics Vol. 8 1979, Seiten 347
bis 361, veröffentlicht von The British Ceramic Society.
Die fertige MAS-Schicht wird spanabhebend bearbeitet, so
5 daß ein SiC-Rohr mit einer Außenschicht von ca. 5 mm Dicke
aus MAS entsteht. Dieser Verbundkörper aus keramischer
Innen- und MAS-Zwischenschicht wird nun mit einer 5 mm
dicken Schicht aus Kohlenstoffasern in Umfangsrichtung
gewickelt und mit zur rückstandsreichen Verkokung geeigne-
10 tem Harz (Phenole, Polyimide, Polyphenylene) imprägniert.
Das Harz wird unter Sauerstoffabschluß (üblicherweise
unter Schutzgas) bei Temperaturen bis 1000 °C verkocht.
Das Imprägnieren und Verkoken wird zwei bis fünf mal wieder-
holt. Anschließend erfolgt eine Graphitierung durch Erhitzen
15 unter Schutzgas auf 2000 °C während einer Dauer von
10 Stunden. Anstelle der Kohlefaser können auch mit Bor-
karbid beschichtete Borfasern zur Anwendung kommen in einer
Mätrix von Aluminium, wobei vorzugsweise Aluminium 6061 F
oder Aluminium 2024 F verwendet wird. In diesem Fall er-
20 folgt eine Wärmebehandlung bei einer Temperatur von 560 °C
unter einem Arbeitsdruck von 15 bar.

Anstelle einer faserverstärkten Halteschicht kann eine
solche aus Metall aufgebracht werden. Die äußere Halte-
25 schicht besteht aus wärmebeständigem Stahl wie z. B.
X 10 CrNiTi 1810, Inconel 718^R oder C 263 oder Nimonic 90^R.
Die Verbindung der äußeren Halteschicht mit dem aus
Innenschicht und Zwischenschicht bestehenden Verbundkörper
erfolgt vorzugsweise durch Schrumpfen, indem ein Rohr
30 aus Nimonic 90 mit einem Außendurchmesser von 100 mm,
Innendurchmesser 90,4 mm $\pm$ 50 μ m, Länge 100 mm herge-
stellt wird, auf 600 °C erhitzt wird und auf den Verbund-
körper aufgeschoben wird. Beim Abkühlen erfolgt dann die
Schrumpfverbindung.

35

1 Ein weiteres Beispiel für die Anwendung des erfindungs-
gemäßen Verfahrens zur Herstellung einer Vorbrennkammer
läuft wie folgt ab: Es wird ein Innenteil der Vorbrenn-
kammer aus drucklos gesintertem Si_3N_4 hergestellt. Danach
5 wird eine MAS-Schicht als Zwischenschicht aufgebracht
wie in dem erst beschriebenen Verfahrensbeispiel. Zur
Herstellung der äußeren Halteschicht wird eine Pulver-
schicht aus Udimet 700^R-Pulver (Korngröße $\leq 45 \mu\text{m}$) durch
kaltisostatisches Pressen bei 2000 bar auf die MAS-Schicht
10 aufgebracht. Danach erfolgt eine mechanische Bearbeitung
der noch grünen Schicht auf eine Wandstärke von 6 mm.
Dieser mechanischen Bearbeitung schließt sich Sintern
durch Erhitzen des gesamten Körpers auf 1200 °C unter
Schutzgas während einer Dauer von 4 Stunden an. Dabei
15 beträgt die Aufheizgeschwindigkeit 5 °C pro Minute.

20

25

30

35

1 ba/fr
MTU MOTOREN- UND TURBINEN-UNION
MONCHEN GMBH

5

München, 12. August 1982

10

P a t e n t a n s p r ü c h e

- 15 1. Mehrschichtige Wand eines hohlen Körpers, insbe-
sondere Umdrehungskörpers, z. B. eines Rohrs oder Ge-
häuses, dadurch gekennzeichnet, daß diese Wand auf
der Belastungsseite, d. h. innen, eine wärme- und/oder
verschleißfeste, keramische Innenschicht (10), eine
20 äußere Halteschicht (12) aus faserverstärktem Werk-
stoff oder Metall und eine Zwischenschicht (11) aus
wärmeisolierendem, keramischem Werkstoff zwischen
diesen Schichten (10, 12) aufweist, wobei die Zwischen-
schicht auf die Innenschicht aufgeschrumpft oder
25 aufgesintert ist.
2. Mehrschichtige Hohlkörperwand nach Anspruch 1, dadurch
gekennzeichnet, daß die Halteschicht (12) auf den aus
Innen- und Zwischenschicht (10, 11) bestehenden Verbund-
30 körper eine Druckvorspannung ausübt.
3. Mehrschichtige Hohlkörperwand nach Anspruch 1 oder 2,
dadurch gekennzeichnet, daß der Werkstoff der ge-
nannten keramischen Innenschicht (10, 16) Silizium-
35 karbid (SiC) oder Siliziumnitrid (Si_3N_4) ist.

T-668

- 1 4. Mehrschichtige Hohlkörperwand nach den Ansprüchen
1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß das Metall hoch-
warmfester Stahl ist.
- 5 5. Mehrschichtige Hohlkörperwand nach den Ansprüchen
1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß der faserver-
stärkte Werkstoff kohlenstofffaserverstärkter Graphit
ist.
- 10 6. Mehrschichtige Hohlkörperwand nach mindestens einem
der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß
der wärmeisolierende, keramische Werkstoff Lithium-
aluminiumsilikat (LAS), Magnesiumaluminiumsilikat
15 (MAS), Aluminiumtitanat (AlTiO_3) oder pyrolytisches
Bornitrid (BN) ist.
- 20 7. Verfahren zur Herstellung der mehrschichtigen Wand
nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch
gekennzeichnet, daß die genannte Halteschicht (12, 17)
auf den aus Innen- und Zwischenschicht bestehenden
Verbundkörper aufgeschrumpft wird.
- 25 8. Verfahren zur Herstellung der mehrschichtigen Wand
nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch
gekennzeichnet, daß die Isolierkeramik-Zwischenschicht
(11) durch Aufbringen einer Schicht aus sinterfähigem
Isolierkeramikpulver und Sintern derselben hergestellt
wird.
- 30 9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß
die Pulverschicht durch isostatisches Pressen oder
durch Umspritzen (Spritzguß) aufgebracht wird.
- 35 10. Verfahren zur Herstellung der mehrschichtigen Wand
nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch

- 1 gekennzeichnet, daß die Halteschicht aus Metall
durch Umgießen mit dem Metall in einer Gußform her-
gestellt werden.
- 5 11. Verfahren zur Herstellung der mehrschichtigen Wand
nach Anspruch 8 oder 9 , dadurch gekennzeichnet, daß
die äußere Halteschicht aus Metall durch Aufbringen
einer Schicht aus sinterfähigem Metallpulver auf den
aus Innen- und Zwischenschicht bestehenden Verbund-
10 körper und Sintern des Pulvers hergestellt wird.

15

20

25

30

35

T-668
12.08.1982

