

(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
23. Juni 2016 (23.06.2016)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2016/096902 A2

(51) Internationale Patentklassifikation:

C23C 4/02 (2006.01) C08K 3/40 (2006.01)
C23C 4/11 (2016.01) F02F 3/14 (2006.01)
C23C 4/129 (2016.01) F02F 3/12 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2015/079866

(22) Internationales Anmeldedatum:
15. Dezember 2015 (15.12.2015)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2014 018 693.8
18. Dezember 2014 (18.12.2014) DE

(71) Anmelder: MAHLE INTERNATIONAL GMBH
[DE/DE]; Pragstraße 26-46, 70376 Stuttgart (DE).

(72) Erfinder: BISCHOFBERGER, Ulrich; Hegensberger Str.
137, 73732 Esslingen (DE). LECKER, Alois; Karl-Pfaff-
Straße 34, 70597 Stuttgart (DE). GADOW, Rainer;
Lärchenstraße 5, 84544 Aschau am Inn (DE).
KILLINGER, Andreas; Spitzäckerstraße 62/4, 70794
Filderstadt (DE). MÜLLER, Philipp; Däumlingsweg 6,
70567 Stuttgart (DE).

(74) Anwalt: BRP RENAUD UND PARTNER MBB;
Königstraße 28, 70173 Stuttgart (DE).

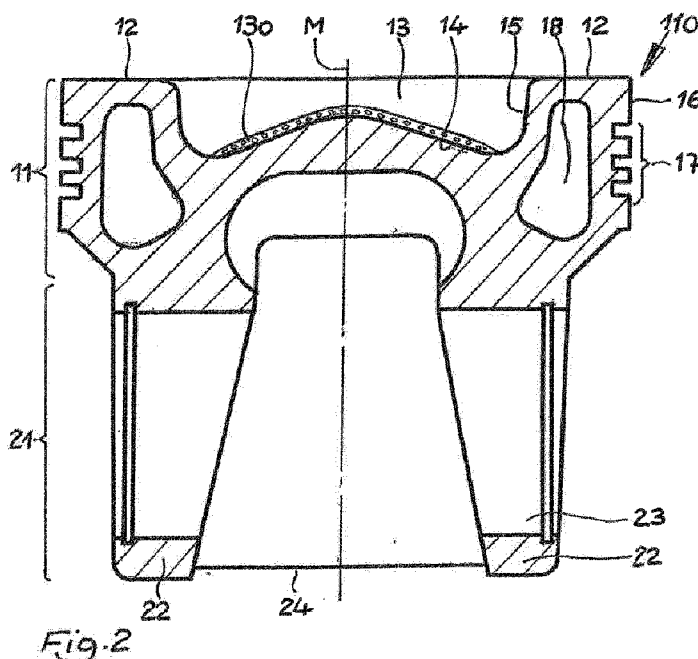
(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW,
BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK,
DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM,
GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP,
KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME,
MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ,
OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA,
SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM,
TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM,
ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,
GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST,
SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG,
KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH,
CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE,
IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO,
RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM,
GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD FOR PRODUCING A THERMAL BARRIER COATING AND THERMAL BARRIER COATING
PRODUCED BY MEANS OF SAID METHOD

(54) Bezeichnung : VERFAHREN ZUM HERSTELLEN EINER WÄRMEDÄMMSCHICHT SOWIE MITTELS DIESES
VERFAHRENS HERGESTELLTE WÄRMEDÄMMSCHICHT



(57) Abstract: The present invention relates to a
method for producing a thermal barrier coating
(39, 130) on a component (10, 110), said method
being characterised by the following features: a)
grinding a glass material to form a first solid in the
form of a powder; b) mixing the powder with at
least one deflocculant to form a suspension; c)
processing the suspension (10, 110) by means of a
high-velocity oxy-fuel spraying method, wherein
c1) the liquid phase of the suspension (10, 110) is
evaporated in the flame; c2) the glass material
begins to melt or melts and is subsequently
deposited on the component. The present
invention further relates to a thermal barrier
coating (30, 130) of this type and to a piston
provided with a thermal barrier coating of this
type.

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende
Erfindung betrifft ein Verfahren zum Herstellen
einer Wärmedämmschicht (39, 130) auf einem
Bauteil (10, 110), gekennzeichnet durch die
folgenden Merkmale: a) Zermahlen

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

**Veröffentlicht:**

- *ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe g)*

eines Glaswerkstoffs zu einem ersten Feststoff in Form eines Pulvers; b) Mischen des Pulvers mit mindestens einem Verflüssiger zu einer Suspension; c) Verarbeiten der Suspension (10, 110) mittels eines Hochgeschwindigkeits-Flammspritzverfahrens, wobei c1) die flüssige Phase der Suspension (10, 110) in der Flamme verdampft wird; c2) der Glaswerkstoff angeschmolzen oder aufgeschmolzen wird und anschließend auf dem Bauteilabgeschieden wird. Die vorliegende Erfindung betrifft ferner eine derartige Wärmedämmschicht (30, 130) sowie einen mit einer derartigen Wärmedämmschicht versehenen Kolben.

Verfahren zum Herstellen einer Wärmedämmschicht sowie mittels dieses Verfahrens hergestellte Wärmedämmschicht

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Herstellen einer Wärmedämmschicht sowie eine mittels dieses Verfahrens hergestellte Wärmedämmschicht.

Eine gattungsgemäße Wärmedämmschicht, u.a. für Gasturbinen, ist aus der deutschen Patentschrift DE 198 52 285 C1 bekannt. Diese bekannte Wärmedämmschicht besteht aus 10 Masse-% bis 90 Masse-% aus Glas und darüber hinaus aus einer Keramik und/oder einem Metall und/oder einer Metalllegierung.

Die EP 1 580 296 A2 beschreibt eine poröse Wärmedämmschicht aus einem keramischen Werkstoff.

Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, ein Verfahren zum Herstellen einer Wärmedämmschicht sowie eine derartige Wärmedämmschicht bereitzustellen, die für Bauteile für Verbrennungsmotoren, insbesondere Kolben für Verbrennungsmotoren geeignet ist.

Die Lösung besteht in einem Verfahren mit den folgenden Merkmalen: a) Zermahlen eines Glaswerkstoffs zu einem ersten Feststoff in Form eines Pulvers; b) Mischen des Pulvers mit mindestens einer Flüssigkeit zu einer Suspension; c) Verarbeiten der Suspension mittels eines Hochgeschwindigkeits-Flammspritzverfahrens, wobei c1) die flüssige Phase der Suspension in der Flamme verdampft wird; c2)

der Glaswerkstoff angeschmolzen oder aufgeschmolzen wird und anschließend auf dem Bauteil abgeschieden wird.

Gegenstand der vorliegenden Erfindung sind ferner eine mittels des erfindungsgemäßen Verfahrens hergestellte Wärmedämmschicht sowie ein Kolben mit einem Kolbenboden, der ganz oder teilweise mit einer derartigen Wärmedämmschicht versehen ist.

Unter Hochgeschwindigkeits-Pulver-Flammspritzen (HVOF; High Velocity Oxy Flame Spraying) bzw. Hochgeschwindigkeits-Suspensions-Flammspritzen (HVSFS; High Velocity Suspension Flame Spraying) wird im Rahmen der vorliegenden Erfindung ein thermisches Spritzverfahren verstanden, bei dem eine kontinuierliche Verbrennung gasförmiger oder flüssiger Kraftstoffe unter Sauerstoffzufuhr bei hohem Druck innerhalb einer Brennkammer erfolgt. In der Regel wird ein Brenngas-Sauerstoff-Gemisch oder ein Brennflüssigkeit-Sauerstoff-Gemisch verwendet, wobei als Brenngas bzw. Brennflüssigkeit bspw. Propan, Ethen, Propen, Butan, Acetylen, Methylacetylenpropadien, Wasserstoff, Erdgas bzw. Diesel, N-Paraffine, gereinigtes Petroleum und Kerosin eingesetzt werden kann. Der in der Brennkammer erzeugte Druck des brennenden Kraftstoff-Sauerstoff-Gemischs und die (in der Regel nachgeordnete) Expansionsdüse erzeugen die notwendige hohe Geschwindigkeit des aus dem Verbrennungsvorgang resultierenden Gasstrahls. Der in Pulverform oder als Suspension vorliegende Spritzwerkstoff wird in der Regel axial in der Brennkammer oder radial im Bereich der Expansionsdüse zugeführt, so dass er auf die notwendige Geschwindigkeit beschleunigt wird, um die gewünschte Beschichtung zu erzielen.

Das erfindungsgemäße Verfahren zeichnet sich dadurch aus, dass ein Feststoff in Form eines Pulvers aus einem gemahlenen Glaswerkstoff mit Hilfe mindestens einer Flüssigkeit zu einer Suspension vermischt wird. Diese wird mittels eines Hoch-

geschwindigkeits-Suspensions-Flammspritzverfahrens (HVSFS) verarbeitet. Hierbei wird die Flüssigkeit verdampft, und in der resultierenden Wärmedämmschicht werden geschlossene Poren gebildet. Da der Glaswerkstoff selbst einen geringen Wärmeleitkoeffizienten besitzt und die Poren zusätzlich wärmedämmend wirken, wird erfindungsgemäß eine gegenüber dem Stand der Technik hochwirksame Wärmedämmschicht erhalten.

Vorteilhafte Weiterbildungen ergeben sich aus den Unteransprüchen.

Der Feststoff in Form des zermahlenen pulverförmigen Glaswerkstoffs weist bevorzugt eine mittlere Partikelgröße von $1\mu\text{m}$ bis $10\mu\text{m}$ auf. Der D10-Wert liegt hierbei im Bereich von $0,2\mu\text{m}$ bis $3,0\mu\text{m}$. Der D90-Wert liegt vorzugsweise im Bereich von $3\mu\text{m}$ bis $20\mu\text{m}$. Bevorzugt sind ein D50-Wert von $1\mu\text{m}$ (Variante A) sowie ein D50-Wert von $5\mu\text{m}$ (Variante B), um eine besonders gleichmäßige Größenverteilung innerhalb der erfindungsgemäß erzeugten Wärmedämmschicht zu erzielen.

Vorzugsweise wird ein Glaswerkstoff mit folgender Zusammensetzung verwendet (alle Angaben in Gew.-%): 10 – 50 B_2O_3 , 1 – 10 SiO_2 , 1 – 10 TiO_2 , 10 – 50 ZnO , 1 – 10 ZrC_2 , 1 – 10 Nb_2O_5 , 10 – 50 La_2O_3 sowie 1 – 10 WO_3 . Dieser Glaswerkstoff zeichnet sich durch einen besonders niedrigen Wärmeleitkoeffizienten aus. Ferner sind weitere Borosilikatgläser sowie Aluminosilikatgläser geeignet. Beispielsweise kann ein Glaswerkstoff der folgenden Zusammensetzung verwendet werden: (alle Angabe in Gew.-%): 1 – 10 B_2O_3 , 1 – 10 MgO , 10 – 50 Al_2O_3 , mind. 50 SiO_2 , 10 – 50 CaO , 0,1 – 1 Sb_2O_3 , 1 – 10 BaO .

Als Flüssigkeit zur Herstellung der Suspension eignen sich insbesondere Wasser oder mindestens ein organisches Lösemittel oder eine Mischung daraus. Besonders geeignete organische Lösemittel sind Alkohole wie bspw. Ethanol und Isopro-

panol, wobei vorzugsweise eine Mischung aus 60 Gew.-% Wasser und 40 Gew.-% Isopropanol verwendet werden kann.

Eine Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens besteht darin, dass in Schritt b) der Suspension mindestens einen zweiten Feststoff in Form mindestens eines Porenbildners zugesetzt wird, der in Schritt c) thermisch zu mindestens einem gasförmigen Produkt zersetzt wird, welches die Porenbildung bewirkt. Der mindestens eine Porenbildner wird vorzugsweise aus der folgenden Stoffgruppe ausgewählt: Natriumoxalat, Natriumhydrogencarbonat, Natriumcarbonat, Azodicarboxamid. Gegebenenfalls kann ein zweiter Porenbildner in Form von Aktivkohle oder Ruß zugesetzt werden.

Die erfindungsgemäße Wärmedämmschicht weist bevorzugt einen Porenanteil von 30 Vol.-% bis 35 Vol.-% auf. Dies stellt einen besonders bevorzugten Kompromiss zwischen einer wirksamen Wärmedämmung und der im Motorbetrieb erforderlichen mechanischen Stabilität der erfindungsgemäßen Wärmedämmschicht dar.

Als dritter Feststoff kann der Suspension mindestens ein Katalysator beigemischt werden, der insbesondere aus der Stoffgruppe umfassend Eisen(III)hydroxid und Siliziumcarbid ausgewählt werden kann.

Besonders bevorzugt weist die Suspension 85 Gew.-% Verflüssiger und 15 Gew.-% Feststoff auf, wobei insbesondere der Feststoffanteil zu mindestens 5 Gew.-% (bezogen auf den gesamten Feststoff) aus mindestens einem Porenbildner sowie zu mindestens 5 Gew.-% aus mindestens einem Katalysator bestehen kann.

Vorzugsweise wird ein Beschichtungswerkzeug verwendet, welches gegenüber einem ruhenden Bauteil unter Vorschub eine mäanderförmige Bewegung ausführt. Die daraus resultierende erfindungsgemäße Wärmedämmschicht weist in beson-

ders vorteilhafter Weise eine besonders gleichmäßige Schichtdicke auf. Selbstverständlich ist es auch möglich, bspw. ein ruhendes oder eine Linearbewegung ausführendes Beschichtungswerkzeug über einem rotierenden Bauteil anzuordnen. Vorzugsweise wird auf die erfindungsgemäße Wärmedämmschicht eine Deckschicht aufgetragen, um ggf. in der Wärmedämmschicht auftretende nach außen offenen Poren zu verschließen und eine glatte Oberfläche herzustellen. Eine derartige Deckschicht kann bspw. aus einem stabilisierten oder teilstabilisierten Zirkoniumoxid, insbesondere aus einem Yttrium-stabilisierten Zirkoniumoxid (YSZ) bestehen.

Das zu beschichtende Bauteil kann ganz oder teilweise mit der erfindungsgemäß aufgetragenen Wärmedämmschicht versehen sein, wobei vorzugsweise eine Maske zum Abdecken der nicht zu beschichtenden Bereiche des Bauteils verwendet wird. Das zu beschichtende Bauteil ist insbesondere ein Kolben, in dessen Kolbenboden eine Verbrennungsmulde eingebracht ist, welche einen Muldenboden und eine umlaufende Muldenwand aufweist. Vorzugsweise wird der Muldenboden mit der erfindungsgemäßen Wärmedämmschicht versehen, wobei eine Maske verwendet wird, die die umlaufende Muldenwand ganz oder teilweise abdeckt.

Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung werden im Folgenden anhand der beigefügten Zeichnungen beschrieben. Es zeigen in einer schematischen, nicht maßstabsgetreuen Darstellung:

Figur 1 ein erstes Ausführungsbeispiel eines mit einer erfindungsgemäßen Wärmedämmschicht versehenen Kolbens;

- Figur 2 ein weiteres Ausführungsbeispiel eines mit einer erfindungsgemäßen Wärmedämmschicht versehenen Kolbens;
- Figur 3 eine vergrößerte Teildarstellung einer Wärmedämmschicht gemäß Figur 2;
- Figur 4 eine vergrößerte Teildarstellung eines Kolbens gemäß Figur 2 mit einem Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäß zur Herstellung der Wärmedämmschicht verwendeten Maske;
- Figur 5 eine schematische Darstellung des Herstellungsverfahrens für eine erfindungsgemäße Wärmedämmschicht unter Verwendung der Maske gemäß Figur 4.

Figur 1 zeigt beispielhaft ein erfindungsgemäß beschichtetes Bauteil 10 in Form eines einteiligen Kühlkanalkolbens. Das zu beschichtende Bauteil kann beliebig gewählt werden, sofern es eine für ein Hochgeschwindigkeits-Flammspritzverfahren (HVSFS) geeignete Oberfläche aufweist.

Der Kolben gemäß Figur 1 weist einen Kolbenkopf 11 mit einem Kolbenboden 12 auf, in den eine Verbrennungsmulde 13 eingebracht ist. Die Verbrennungsmulde 13 weist in an sich bekannter Weise einen Muldenboden 14 und eine umlaufende Muldenwand 15 auf, welche in den Kolbenboden 12 übergeht. Der Kolbenkopf 11 weist ferner einen Feuersteg 16 sowie eine Ringpartie 17 mit Ringnuten zur Aufnahme von Kolbenringen (nicht dargestellt) auf. Der Kolben ist in Höhe der Ringpartie 17 mit einem umlaufenden Kühlkanal 18 versehen. Der Kolben weist ferner in an sich bekannter Weise einen Kolbenschaft 21 mit Kolbennaben 22 auf, welche

mit Nabenbohrungen 23 zur Aufnahme eines Kolbenbolzens (nicht dargestellt) versehen sind. Die Kolbennaben 22 sind in an sich bekannter Weise über Laufflächen 24 miteinander verbunden.

Im Ausführungsbeispiel sind der Kolbenboden 12 sowie der Muldenboden 14 und die Muldenwand 15 der Verbrennungsmulde 13 mit einer erfindungsgemäßen Wärmedämmschicht 30 versehen. Die Wärmedämmschicht 30 weist im Ausführungsbeispiel eine gleichmäßige Dicke im Bereich von 150µm bis 200µm auf. Die Wärmedämmschicht 30 kann optional mit einer Deckschicht 31 versehen sein, die bevorzugt eine Schichtdicke von 10µm bis 50µm aufweist. Die Wärmedämmschicht 30 bzw. die Deckschicht 31 werden mittels eines Hochgeschwindigkeits-Flammspritzverfahrens (im Folgenden: HVSFS) aufgetragen.

Die Figuren 2 bis 4 zeigen ein weiteres Ausführungsbeispiel eines mit einer erfindungsgemäßen Wärmedämmschicht beschichteten Bauteils 110, hier eines Kolbens. Der Kolben gemäß den Figuren 2 bis 4 entspricht dem in Figur 1 dargestellten Kolben, so dass identische Strukturmerkmale mit denselben Bezugszeichen versehen sind und auf die Beschreibung zu Figur 1 verwiesen wird. Im Unterschied zu dem in Figur 1 dargestellten Ausführungsbeispiel ist nur der Muldenboden 14 der Verbrennungsmulde 13 mit einer Wärmedämmschicht 130 versehen. Die Wärmedämmschicht 130 weist im Ausführungsbeispiel eine gleichmäßige Dicke im Bereich von 150µm bis 200µm auf. Wie aus den Figuren 3 und 4 hervorgeht, weist die Wärmedämmschicht 130 im Übergangsbereich zwischen Muldenboden 14 und Muldenwand 15 eine Auslaufzone 132 auf, die sich im Ausführungsbeispiel über etwa 1mm erstreckt. Im Bereich der Auslaufzone 132 reduziert sich die Dicke der Wärmedämmschicht 130 gleichmäßig, ausgehend von einem Startpunkt S in Richtung der Muldenwand 15 zu einem Endpunkt E mit der Schichtdicke Null.

Aus den Figuren 4 und 5 geht ferner hervor, dass zum Aufbringen der Wärmedämmschicht 130 eine Maske 140 verwendet wird. Die Maske 140 bedeckt den Kolbenboden 12 vollständig mit Ausnahme des Muldenbodens 14 der Verbrennungsmulde. Die Maske 140 ist im Ausführungsbeispiel mit einer umlaufenden Blende 141 versehen, welche die Muldenwand 15 ganz oder teilweise abdeckt. Es hat sich herausgestellt, dass bei vollständiger Abdeckung der Muldenwand 15, im Ausführungsbeispiel mit einer etwa 10mm langen Blende 141, die Wärmedämmschicht 130 eine besonders gleichmäßige Dicke aufweist.

In Figur 5 ist schematisch dargestellt, dass zur Durchführung des Hochgeschwindigkeits-Flammspritzverfahrens ein Brenner 60 verwendet wird. Der Brenner 60 ist bewegbar angeordnet, während das Bauteil 10, 110 gegenüber dem Brenner 60 feststehend angeordnet ist. Der Brenner 60 wird mäanderförmig über das Bauteil 10, 110 bzw. die Maske 140 bewegt, wobei eine Wärmedämmschicht 30, 130 mit besonders gleichmäßiger Dicke entsteht. Dieses Verfahren hat den weiteren Vorteil, dass die Maske 140 eine beliebige Form haben kann, so dass der nicht zu beschichtende Bereich des Bauteils 110 auf besonders einfache Weise abgedeckt werden kann.

Im Folgenden wird ein Ausführungsbeispiel eines Herstellungsverfahrens für eine erfindungsgemäße Wärmedämmschicht beschrieben. Zunächst wird eine Emulsion aus 85 Gew.-% einer Mischung aus 60 Gewichtsteilen Wasser und 40 Gewichtsteilen Isopropanol und 15 Gew.-% Feststoff hergestellt. Alternativ kann auch reines Wasser oder reines Isopropanol zur Herstellung der Emulsion verwendet werden.

Der Feststoff kann ausschließlich aus einem Glaswerkstoff mit niedrigem Wärmeleitkoeffizient in Form eines fein zermahlenden Pulvers bestehen. Ein besonders gut

geeigneter Glaswerkstoff hat bspw. die folgende Zusammensetzung (alle Angaben in Gew.-%):

10 – 50 B_2O_3
1 – 10 SiO_2
1 – 10 TiO_2
10 – 50 ZnO
1 – 10 ZrC_2
1 – 10 Nb_2O_5
10 – 50 La_2O_3
1 – 10 WO_3

Der Mittelwert der Partikelgröße des Pulvers nach der Gauß-Verteilung beträgt vorzugsweise $1\mu\text{m}$ bis $10\mu\text{m}$.

Vorzugsweise wird für die Herstellung der Suspension mindestens ein zusätzlicher Feststoff verwendet. Besonders bevorzugt wird mindestens ein Porenbildner, insbesondere ausgewählt aus der Gruppe umfassend Natriumoxalat, Natriumhydrogencarbonat, Natriumcarbonat und Azodicarboximid zugesetzt. Gegebenenfalls kann ein zusätzlicher Porenbildner in Form von Aktivkohle oder Ruß zugesetzt werden. Ferner kann ggf. ein Katalysator, bspw. Eisen(III)hydroxid oder Siliziumcarbid zugesetzt werden.

Die Anteile der Zusätze betragen bevorzugt (sämtliche Angaben in Gew.-% bezogen auf den gesamten in der fertigen Suspension enthaltenen Feststoff):

5 Gew.-% bis 10 Gew.-% Natriumoxalat;
10 Gew.-% bis 50 Gew.-% Natriumcarbonat;
5 Gew.-% Azodicarboxamid;

10

5 Gew.-% bis 10 Gew.-% Aktivkohle;

10 Gew.-% Eisen(III)hydroxid;

10 Gew.-% bis 15 Gew.-% Siliziumcarbid.

Die zu beschichtende Oberfläche des Bauteils 10, 110 wird zunächst aufgeraut, vorzugsweise mit Korundpartikeln bestrahlt und anschließend gereinigt. Die zu beschichtende Oberfläche sollte eine Rauigkeit Ra von 0,6µm bis 5,0µm aufweisen.

Die Suspension wird anschließend mittels eines Hochgeschwindigkeits-Suspensions-Flammspritzverfahrens (HVSFS) auf das Bauteil 10, 110 aufgetragen. Hierbei wird als Brenngas vorzugsweise Propan oder Ethen eingesetzt. Die Brenngasmenge liegt vorzugsweise im Bereich von 35 Liter bis 130 Liter pro Minute. Die Sauerstoffmenge wird im Bereich von 180 bis 400 Liter pro Minute gewählt. Als Beschichtungsaggregat wird ein TopGun-Brenner eingesetzt. Die Suspension wird in die Flamme eingedüst. Dies kann sowohl innerhalb des Brenners als auch extern erfolgen. Der Abstand zwischen Brenner und zu beschichtendem Bauteil liegt dabei im Bereich von 40 bis 250 mm

Die Wärmeleitfähigkeit der erfindungsgemäßen Wärmedämmschicht 30, 130 wurde mit 0,30 und 0,70 W/mK gemessen, während Wärmedämmschichten gemäß dem Stand der Technik Werte von mindestens 1,0 bis 1,6 W/mK aufweisen.

Die Gesamtporosität der erfindungsgemäßen Wärmedämmschicht 30, 130 beträgt 30 Vol.-% bis 35 Vol.-% bezogen auf Gesamtvolumen der Wärmedämmschicht 30, 130. Die maximale offene Porosität der erfindungsgemäßen Wärmedämmschicht sollte 10% bis 15%, bezogen auf den Gesamtporengehalt, nicht überschreiten. Der Mittelwert der Porengröße nach der Gauß-Verteilung sollte 2µm bis 10µm betra-

gen. Diese Werte wurden im Ausführungsbeispiel in an sich bekannter Weise mittels einer Grauwertanalyse an lichtmikroskopischen polierten Querschliffen ermittelt.

Die erfindungsgemäße Wärmedämmschicht 30 kann mit einer Deckschicht 31, insbesondere aus yttriumstabilisierten Zirkonoxid versehen werden, um eine glatte Oberfläche zu erhalten.

Typische Verfahrensparameter bei Verwendung eines TopGun SS HVSFS Brenners (Firma GTV Verschleißschutz GmbH, Luckenbach, Deutschland) sind bspw.:

Brenngas: Ethen NI/min: 100-130)

Sauerstoff NI/min: 250-350

Spritzabstand [mm]:120.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Herstellen einer Wärmedämmschicht (30, 130) auf einem Bauteil (10, 110), gekennzeichnet durch die folgenden Merkmale:
 - a) Zermahlen eines Glaswerkstoffs zu einem ersten Feststoff in Form eines Pulvers;
 - b) Mischen des Pulvers mit mindestens einer Flüssigkeit zu einer Suspension;
 - c) Verarbeiten der Suspension (10, 110) mittels eines Hochgeschwindigkeits-Flammspritzverfahrens, wobei
 - c1) die flüssige Phase der Suspension (10, 110) in der Flamme verdampft wird;
 - c2) der Glaswerkstoff angeschmolzen oder aufgeschmolzen wird und anschließend auf dem Bauteil abgeschieden wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass in Schritt a) eine mittlere Partikelgröße des Pulvers von 1 µm bis 10µm erhalten wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass in Schritt a) ein Glaswerkstoff in Form eines Aluminosilikatglases und/oder eines Borosilikatglases verwendet wird
4. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass in Schritt a) ein Glaswerkstoff mit folgender Zusammensetzung verwendet wird (alle Angaben in Gew.-%):

10 – 50	B ₂ O ₃
1 – 10	SiO ₂
1 – 10	TiO ₂

10 – 50 ZnO
1 – 10 ZrC₂
1 – 10 Nb₂O₅
10 – 50 La₂O₃
1 – 10 WO₃

5. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet dass in Schritt a) ein Glaswerkstoff mit folgender Zusammensetzung verwendet wird (alle Angaben in Gew.-%):
- 1 – 10 B₂O₃
1 – 10 MgO
10 – 50 Al₂O₃
mind. 50 SiO₂
10 – 50 CaO
0,1 – 1 Sb₂O₃
1 – 10 BaO
6. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass in Schritt b) als Verflüssiger Wasser oder mindestens ein organisches Lösemittel oder eine Mischung aus Wasser und/oder mindestens einem organischen Lösemittel verwendet wird.
7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass als mindestens ein organisches Lösemittel ein Alkohol verwendet wird.
8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass eine Mischung aus 60 Gew.-% Wasser und 40 Gew.-% Isopropanol verwendet wird.

9. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass in Schritt b) der Suspension mindestens ein zweiter Feststoff in Form mindestens eines Porenbildners zugesetzt wird, der in Schritt c) thermisch zu mindestens einem gasförmigen Produkt zersetzt wird.
10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass in Schritt b) der mindestens eine Porenbildner aus der folgenden Stoffgruppe ausgewählt wird: Natriumoxalat; Natriumhydrogencarbonat; Natriumcarbonat; Azodicarboxamid.
11. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass in Schritt b) ein zusätzlicher Porenbildner in Form von Aktivkohle oder Ruß zugemischt wird.
12. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass in Schritt b) als dritter Feststoff mindestens ein Katalysator beigemischt wird.
13. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass der mindestens eine Katalysator aus der folgenden Stoffgruppe ausgewählt wird:
Eisen(III)hydroxid, Siliziumcarbid.
14. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass in Schritt b) eine Suspension aus 85 Gew.-% Verflüssiger und 15 Gew.-% Feststoff hergestellt wird.
15. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass in Schritt b) ein Feststoffgemisch aus einem Pulver aus zermahlenem Glaswerkstoff mit einem Anteil von mindestens 5 Gew.-% mindestens eines Porenbildners und

einem Anteil von mindestens 5 Gew.-% mindestens eines Katalysators verwendet wird.

16. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass in Schritt c) das Bauteil (110) nur teilweise beschichtet und eine Maske (140) zur Abdeckung des nicht zu beschichtenden Bereichs des Bauteils (110) verwendet wird.
17. Verfahren nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass als Bauteil (10, 110) ein Kolben mit einer im Kolbenboden (112) eingebrachten Verbrennungsmulde (113) mit einem Muldenboden (114) und einer umlaufenden Muldenwand (115) verwendet wird und dass eine Maske (140) verwendet wird, die die Muldenwand (115) zumindest teilweise abdeckt.
18. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass ein Beschichtungswerkzeug (60) verwendet wird, welches gegenüber einem ruhenden Bauteil (10, 110) unter Vorschub eine mäanderförmige Bewegung ausführt.
19. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass auf die Wärmedämmschicht (30) eine Deckschicht (31) aufgetragen wird.
20. Verfahren nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, dass als Werkstoff für die Deckschicht (31) ein stabilisiertes oder teilstabilisiertes Zirkoniumoxid verwendet wird.
21. Verfahren nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, dass ein Yttrium-stabilisiertes Zirkoniumoxid verwendet wird.

22. Wärmedämmschicht (30, 130), herstellbar mittels eines Verfahrens nach einem der Patentansprüche 1 bis 21.
23. Kolben für einen Verbrennungsmotor mit einem Kolbenboden (12, 112), dadurch gekennzeichnet, dass der Kolbenboden (12, 112) ganz oder teilweise mit einer Wärmedämmschicht (30, 130) gemäß Anspruch 22 versehen ist.

1/3

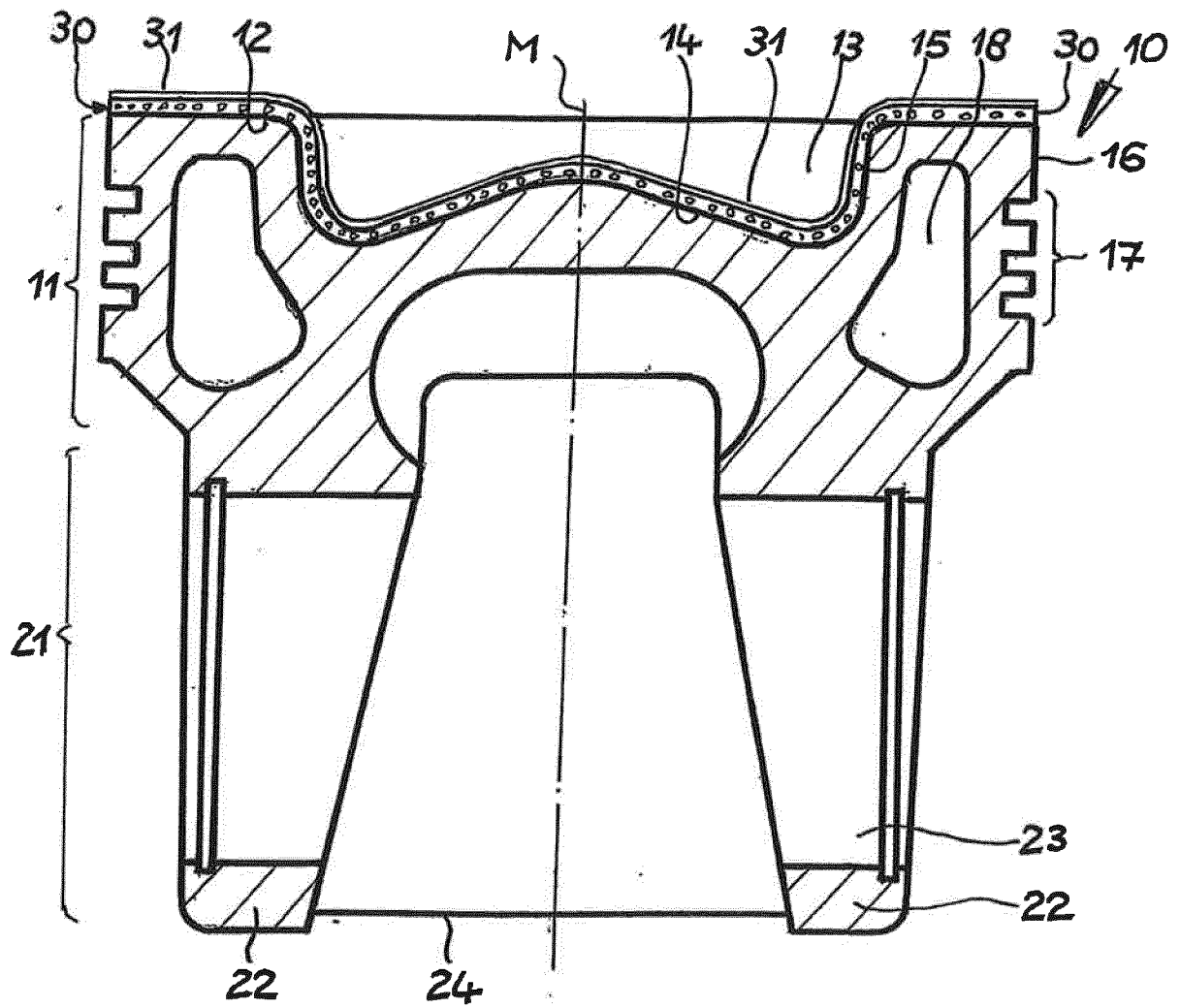


Fig. 1

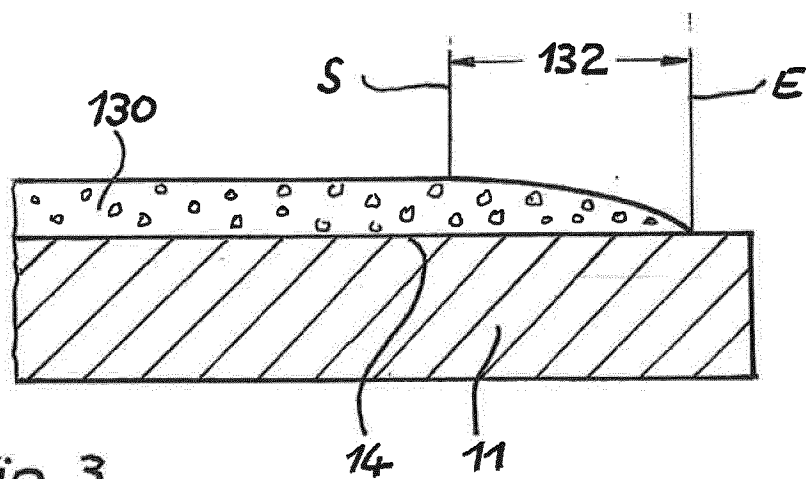


Fig. 3

2/3

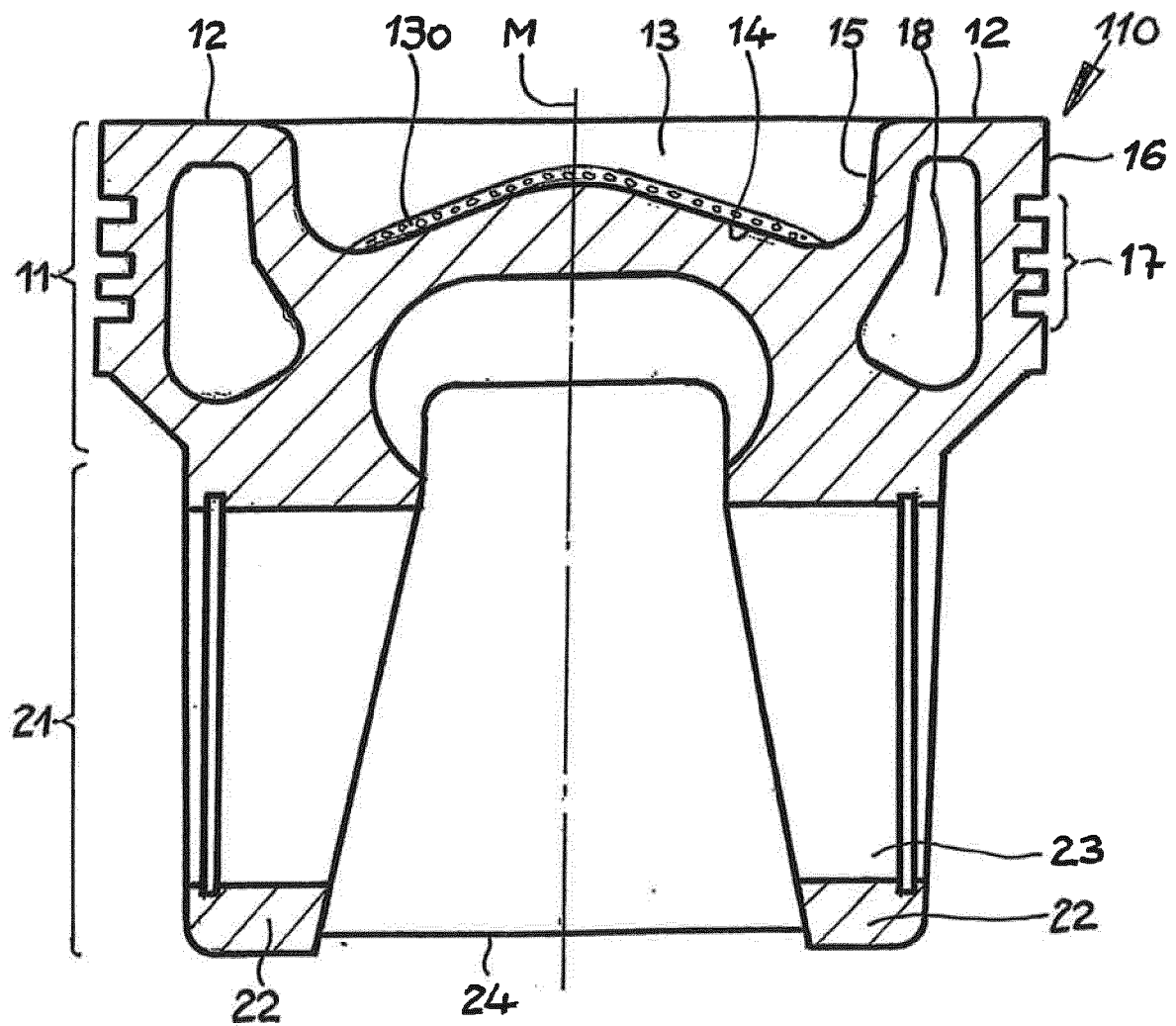


Fig. 2

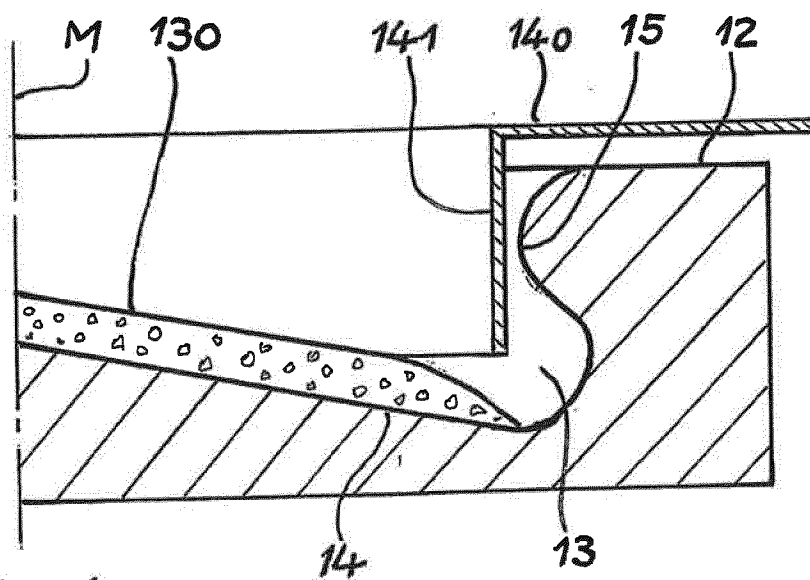


Fig. 4

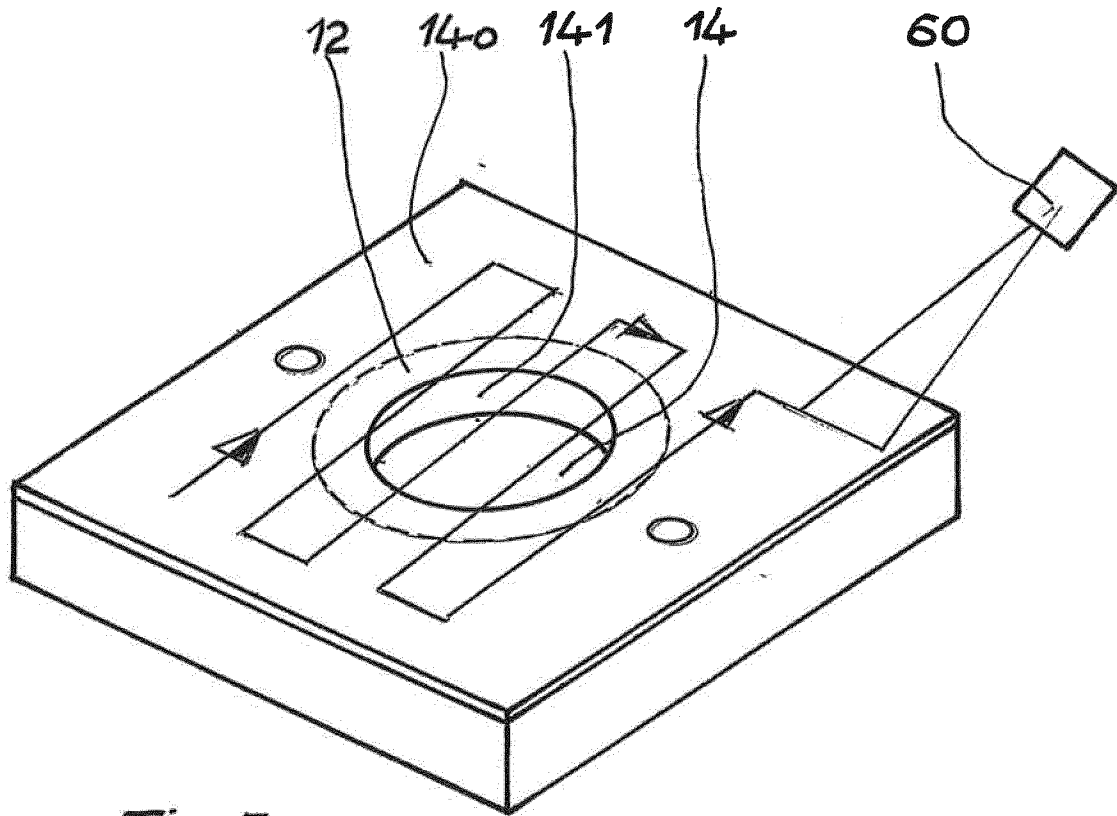


Fig. 5