

(19)



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11)

EP 1 608 475 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des
Hinweises auf die Patenterteilung:
30.08.2006 Patentblatt 2006/35

(51) Int Cl.:
B22D 25/02 ^(2006.01) **B02C 17/20** ^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **04718959.2**

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/EP2004/002462

(22) Anmeldetag: **10.03.2004**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2004/085097 (07.10.2004 Gazette 2004/41)

(54) **VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG VON HOHLEN MAHLKÖRPERN**

METHOD FOR PRODUCING HOLLOW GRINDING BODIES

PROCEDE DE FABRICATION D'ELEMENTS BROyeurs CREUX

(84) Benannte Vertragsstaaten:
DE FR GB

(30) Priorität: **25.03.2003 EP 03006652**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
28.12.2005 Patentblatt 2005/52

(73) Patentinhaber: **Claudius Peters Technologies
GmbH
21614 Buxtehude (DE)**

(72) Erfinder: **THIEL, Jens-Peter
21640 Horneburg (DE)**

(74) Vertreter: **Riesenberg, Axel
Glawe - Delfs - Moll
Patent- und Rechtsanwälte
Rothenbaumchaussee 58
20148 Hamburg (DE)**

(56) Entgegenhaltungen:
EP-A- 0 894 533 US-A- 3 254 849

EP 1 608 475 B1

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung von hohlen Mahlkörpern für die Zerkleinerung von Mahlgütern umfassend eine Gußform mit einem Hohlraum, Anordnen eines Gußkerns in dem Hohlraum, so daß ein schalenartiger Zwischenraum für Gußmaterial entsteht, Einbringen von Halteelementen für den Kern, Aufbringen einer Umhüllung auf die Halteelemente und Gießen des Gußmaterials in den Zwischenraum.

[0002] Es ist bekannt, zum Mahlen von Zementklinker, Zementrohmaterial, Kohle und ähnlichem Mahlgut Mahlkörper zu verwenden, die hohl ausgeführt sind. Die hohle Ausführung der Mahlkörper bringt den Vorteil erheblicher Gewichtsersparnis gegenüber massiven Mahlkörpern mit sich. Ein Nachteil besteht darin, daß bei Hohlkörpern aufgrund der begrenzten Dicke der Schale Verschleiß ein größeres Problem als bei massiven Mahlkörpern ist. Damit es nicht zu unnötig hohem Verschleiß kommt, müssen die Mahlkörper also so hergestellt werden, daß sie möglichst verschleißarm sind. Ein aus offenkundiger Vorbenutzung bekanntes Herstellungsverfahren für solche hohlen Mahlkörper ist Verbundguß. Zum Gießen wird eine Gußform verwendet, die einen inneren Hohlraum aufweist, in dem ein Gußkern so angeordnet ist, daß ein Zwischenraum verbleibt. In diesen Zwischenraum wird Gußmaterial gegossen, so daß nach dem Erstarren ein schalenartiger Körper entsteht. Hierbei besteht nun die Schwierigkeit, daß der Gußkern in dem inneren Hohlraum der Gußform fixiert werden muß. Ferner müssen aus dem Gußkern austretende Gase abgeführt werden. Es ist bekannt, zu diesem Zweck den Kern mittels eines aus Stahlrohren bestehenden Kernverbau zu halten. Die Stahlrohre sind hohl ausgeführt, so daß durch sie Gase aus dem Kern abgeführt werden können. Um unerwünschte Interaktionen zwischen dem Kernverbau und dem Gußmaterial zu verhindern, sind aus offenkundiger Vorbenutzung folgende Verfahren zum Schutz des Kernverbau bekannt:

[0003] Bei einem ersten Verfahren wird der Kernverbau mit keramischen Material umhüllt. Um den Kernverbau aus dem Mahlkörper nach dem Erstarren des Gusses entfernen zu können, werden mehrere Löcher in der Schale des Mahlkörpers erzeugt. Durch diese wird der Kernverbau mitsamt seiner keramischen Umhüllung entfernt. Die so entstandenen Löcher weisen einen verhältnismäßig großen Durchmesser auf. Im Mahlbetrieb behindern die Kanten dieser Löcher das Abrollen des Mahlkörpers. Es kommt zum sogenannten Kantentragen. Dies führt zu erhöhten Belastungen für den Mahlkörper, so daß er an diesen Stellen erhöhtem Verschleiß unterliegt. Insbesondere bei aus sprödem Material bestehenden Mahlkörpern kommt es leicht zu Abplatzungen in diesem Bereich, die schließlich zu einem Versagen des Mahlkörpers führen können.

[0004] Bei einem zweiten Verfahren werden die Rohre des Kernverbau in dem Bereich des Zwischenraums nicht keramisch umhüllt, sondern bleiben ungeschützt. Beim Gußvorgang sind sie dem Gußmaterial unmittelbar ausgesetzt. Das hat zur Folge, daß es während des Gießvorgangs mindestens teilweise zum Verschmelzen des Gußmaterials mit der Oberfläche der Rohre des Kernverbau kommt. Der Kernverbau wird daher nach dem Erstarren des Gußmaterials nicht entfernt. Sie verbleiben in dem Mahlkörper. Zwar kommt es dann beim Betrieb auch zum Kantentragen, jedoch kommt es aufgrund der wie beim Verbundguß verschmolzenen Kernrohren nicht mehr zu Abplatzungen in diesem Bereich. Der Nachteil dieses Verfahrens ist, daß der Kernverbau aufgrund der eingeschmolzenen Kernrohre nicht mehr entfernt werden kann und verloren ist.

[0005] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren der eingangs genannten Art bereitzustellen, mit dem die oben genannten Nachteile vermindert oder vermieden werden.

[0006] Die erfindungsgemäße Lösung liegt in den Merkmalen des unabhängigen Anspruchs. Vorteilhafte Ausführungsformen sind Gegenstand der abhängigen Ansprüche.

[0007] Erfindungsgemäß ist bei einem Verfahren zur Herstellung von hohlen Mahlkörper für die Zerkleinerung von Mahlgütern umfassend eine Gußform mit einem Hohlraum, Anordnen eines Gußkerns in dem Hohlraum, so daß ein schalenartiger Zwischenraum für Gußmaterial entsteht, Einbringen von Halteelementen zum Halten des Kerns, Aufbringen einer Umhüllung auf die Halteelemente und Gießen des Gußmaterials in den Zwischenraum vorgesehen, daß zumindest im Bereich des Zwischenraums für die Umhüllung ein metallisches Material verwendet wird, das mit dem Gußmaterial verschmilzt.

[0008] Die Erfindung beruht auf dem Gedanken, daß die Halteelemente für den Gußkern (meist sind dies Rohre) mit einer schützenden Umhüllung versehen werden, die aus einem metallischem Material besteht, so daß sie mit dem Gußmaterial verschmelzen kann. Die Halteelemente selbst hingegen können, da sie durch die schützende Umhüllung vor einem Einschmelzen geschützt sind, entfernt werden. Dadurch wird zweierlei erreicht. Zum einen sind die durch das Entfernen der Halteelemente entstehenden Löcher verhältnismäßig klein, da nur die Halteelemente selbst und nicht auch noch deren Umhüllung entfernt zu werden braucht. Bereits durch die geringere Größe der Löcher verringern sich die negativen Wirkungen des Kantentrags. Zusätzlich entsteht durch das Verschmelzen der schützenden Umhüllung aus metallischem Material ein guter Übergang im Bereich der Löcher, so daß es auch bei besonders spröden Materialien nicht zu Abplatzungen kommt. Im Ergebnis erhält man so ein besonders gutes Tragverhalten der Mahlkörper und damit einen niedrigen Verschleiß bei ruhigem Lauf. Durch Verwenden von metallischem Material für die Umhüllung können somit auf überraschend einfache Weise die Vorteile einer schützenden Umhüllung hinsichtlich Entfernbarkeit der Halteelemente mit denjenigen eines Verzichts auf die Umhüllung und dadurch bedingten verbundgußartigem Einschmelzen

verknüpft werden.

[0009] Es hat sich gezeigt, daß eine besonders gute Schutzwirkung einerseits und ein besonders gutes Schmelzverhalten andererseits dadurch erzielt werden kann, daß die Stärke der metallischen Umhüllung ortsabhängig variiert wird. Dadurch kann eine Anpassung an ortsabhängig unterschiedliche Parameter des Erstarrungs- und Abkühlprozesses durchgeführt werden. Auf diese Weise kann eine besonders gute, weitgehend fehlerfreie Verschmelzung der Umhüllung mit dem Gußmaterial erreicht werden.

[0010] Es ist zweckmäßig, die metallische Umhüllung über eine solche Länge aufzubringen, daß sie einen in den Bereich des Gußkerns und/oder der Gußform ragenden Überstand aufweist. Indem die Umhüllung aus metallischem Material nicht nur auf den Bereich des Zwischenraums, d. h. der späteren Verschmelzzone mit dem Gußmaterial, beschränkt wird, wird erreicht, daß gerade in dem besonders kritischen Oberflächenbereich ein gutes Schmelzergebnis erzielt wird. Die Fehlerfreiheit des Verschmelzens nimmt zu, so daß sich das Verschleißverhalten des Mahlkörpers weiter verbessert. Es hat sich als zweckmäßig herausgestellt, wenn der Überstand zwischen einem und zwei Drittel des Durchmessers der Halteelemente beträgt.

[0011] Bei einer besonders bevorzugten Ausführungsform wird vor dem Aufbringen der metallischen Umhüllung eine isolierende Zwischenschicht erzeugt. Mit einer solchen Zwischenisolierung wird eine bessere thermische Trennung zwischen der metallischen Umhüllung und dem Halteelement selbst erreicht. Dadurch wird es vereinfacht, das erfindungsgemäße Verfahren so zu führen, daß die metallische Umhüllung fehlerfrei mit dem Gußmaterial verschmilzt und daß andererseits das Halteelement möglichst leicht entfernt werden kann. Darüber hinaus hat die isolierende Zwischenschicht den Vorteil, daß die beim Gießvorgang auftretenden erheblichen Temperaturwechsel nur in geringerem Umfang auf die Halteelemente einwirken, so daß der Gefahr entgegengewirkt wird, daß durch thermisch bedingte Längenänderungen der Halteelemente Spannungen in das erstarrende Gußmaterial eingeleitet werden. Dadurch verbessert sich die Formtreue des mit dem erfindungsgemäßen Verfahren hergestellten Mahlkörpers.

[0012] Die isolierende Zwischenschicht kann auch auf die Weise gebildet werden, daß die metallische Umhüllung lose auf dem Halteelementen sitzt. In diesem Fall wirkt Luft als ein besonders einfacher und wirksamer Isolator.

[0013] Zweckmäßigerweise ist der Querschnitt der Halteelemente wie auch der Umhüllung so klein wie möglich gewählt. Dies erlaubt es, die nach Entfernen der Halteelemente entstehenden Löcher so klein wie möglich zu halten.

[0014] Vorzugsweise kann bei dem erfindungsgemäßen Verfahren die Verschmelzung von metallischer Umhüllung mit dem Gußmaterial durch an sich bekannte Ultraschallmethoden auf Fehlerfreiheit geprüft werden. Dies ermöglicht eine besonders gute Kontrolle der Prozeßparameter des Herstellungsverfahrens. Dadurch können sämtliche Parameter des Herstellungsverfahrens einschließlich der Abmessungen der Halteelemente und der metallischen Umhüllung optimiert werden.

[0015] Die Erfindung wird nachfolgend anhand eines Ausführungsbeispiels unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen erläutert. Darin zeigen:

Fig. 1 einen Querschnitt durch eine für das erfindungsgemäße Verfahren verwendete Gußform;

Fig. 2 eine vergrößerte Detailansicht der Oberfläche eines erfindungsgemäß hergestellten Mahlkörpers mit einer Öffnung im Bereich eines Halteelements im verschmolzenen Zustand; und

Fig. 3a, b Detailansichten der erfindungsgemäßen Umhüllung mit Halteelement im unverschmolzenen Zustand.

[0016] Zur Erläuterung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird zuerst die verwendete Gußform beschrieben. Die Gußform 1 weist einen inneren Hohlraum 2 auf, der kugelförmig ausgestaltet ist. Der Hohlraum steht über mehrere Durchlaßbohrungen 3 mit der Umgebung der Gußform 1 in Verbindung. Ferner ist ein Einlaß (nicht dargestellt) zum Einfüllen von Gußmaterial vorgesehen.

[0017] Innerhalb des Hohlraums 2 befindet sich ein kugelförmiger Gußkern 4. Er ist so in dem Hohlraum 2 angeordnet, daß zwischen der Oberfläche des Gußkerns 4 und der Oberfläche des kugelförmigen Hohlraums 2 ein Zwischenraum entsteht, der an jeder Stelle die gleiche Weite aufweist. Der Zwischenraum 5 erhält somit die Gestalt einer Kugelschale.

[0018] Zum Halten des Gußkerns 4 an seiner Position innerhalb des kugelförmigen Hohlraums 2 ist ein Kernverbau 6 vorgesehen. Der Kernverbau 6 besteht aus mehreren Rohren 61, 62, 63, die in den Gußkern 4 eingesteckt sind und in den Bohrungen 3 der Gußform 1 gehalten sind. Die Rohre 61, 62, 63 treffen sich in dem Zentrum des kugelförmigen Gußkerns 4. Damit der Gußkern 4 entgast werden kann, sind die Rohre 61, 62, 63 hohl ausgeführt. Die Abmessungen der Rohre 61, 62, 63 betragen 75 mm für den Außendurchmesser und 25 mm für den Innendurchmesser.

[0019] In dem Bereich des Zwischenraums 5 sind die Rohre 61, 62, 63 mit einer Umhüllung 71, 72, 73 aus metallischem Material versehen. Bei dem metallischen Material kann es sich beispielsweise um an sich bekannte diverse Baustahl- oder Kesselblechqualitäten handeln. Der umhüllte Bereich ist dabei so gewählt, daß er nicht nur über den Bereich des Zwischenraums 5 läuft, sondern sich jeweils auch über eine gewisse Strecke in den Gußkern 4 und die Gußform 1 erstreckt. Die Länge dieser auch als Überstand bezeichneten Strecke beträgt in dem dargestellten Ausführungsbeispiel

etwa ein Drittel des Außendurchmessers der Rohre 61, 62, 63.

[0020] In Fig. 3a ist an dem Beispiel des Rohrs 62 mit der Umhüllung 72 eine vergrößerte Darstellung gegeben. Die Umhüllung 72 umschließt das Rohr 62 ringartig. Sie kann straff auf dem Rohr 62 sitzen oder mit einem gewissen Spiel. In dem letzteren Fall befindet sich über einen weiten Bereich des Umfangs ein Luftspalt zwischen der Außenoberfläche des Rohrs 62 und der Umhüllung 72. Dieser Luftspalt wirkt thermisch isolierend. Damit wird erreicht, daß die metallische Umhüllung 72 fehlerfrei mit dem in den Zwischenraum 5 eingebrachten Gußmaterial verschmelzen kann, ohne daß die Gefahr besteht, daß sich das Rohr 62 zu sehr erwärmt und ebenfalls mit verschmilzt. Dadurch wird sichergestellt, daß sich das Rohr 62 leicht aus dem erstarrten Gußmaterial entfernen läßt. Zum Erreichen dieser Wirkung ist es nicht unbedingt erforderlich, die metallische Umhüllung 72 mittels Luftspalt von dem Kernrohr 62 zu isolieren. Es kann auch vorgesehen sein, daß ein Isoliermaterial als Zwischenschicht 8 in dem Bereich zwischen der Außenoberfläche des Rohrs 62 und der metallischen Umhüllung 72' aufgebracht wird. Dies ist in Fig. 3b dargestellt. Auch hierbei ergibt sich die vorteilhafte thermische Entkopplung der metallischen Umhüllung 72' von dem Kernrohr 62.

[0021] Zum Herstellen des Mahlkörpers wird, nachdem der Gußkern 4 in die Gußform 1 eingebracht und an der richtigen Stelle mittels des Kernverbau 6 positioniert ist und die Rohre 61, 62, 63 des Kernverbau mit der erfindungsgemäßen metallischen Umhüllung 71, 72, 73 versehen sind, Gußmaterial durch den Einlaß (nicht dargestellt) in den kugelschalenförmigen Zwischenraum 5 gefüllt, bis es diesen vollständig ausfüllt. Das Gußmaterial kühlt in der Gußform 1 ab und erstarrt. Dabei kommt es zu einem Verschmelzen mit dem metallischen Material der Umhüllungen 71, 72, 73 in der Weise, daß um die Kernrohre 61, 62, 63 eine Verbundzone entsteht. Die Kernrohre 61, 62, 63 selbst schmelzen nicht mit ein. Sie können nach dem Erstarren des Gußmaterials aus dem so entstandenen Mahlkörper entfernt werden.

[0022] In Fig. 2 ist ein vergrößerter Ausschnitt der Außenfläche des erfindungsgemäß hergestellten Mahlkörpers 9 dargestellt. Man erkennt eine Öffnung 11, durch die eines der Kernrohre 61, 62, 63 entfernt worden ist. In dem die Öffnung 11 umgebenden Bereich ist schematisch eine kreisringförmige Zone dargestellt, in der die metallische Umhüllung 71, 72, 73 mit dem Gußmaterial verschmolzen ist. Diese Verbundgußzone ist mit dem Bezugszeichen 10 bezeichnet. Die Öffnung 11 ist dank der Erfindung recht klein, sie braucht lediglich so groß zu sein, daß sie für den Durchgang des Kernrohres 61, 62, 63 ausreicht. Die das Kernrohr umgebende Umhüllung 71, 72, 73 braucht nicht entfernt zu werden, sie ist erfindungsgemäß mit dem Gußmaterial verschmolzen. Dank der kleinen Abmessungen der Öffnung 11 kommt es ohnehin nur in geringem Umfang zum Kantentragen. Außerdem kommt es dank der erfindungsgemäß entstandenen Verbundzone 10 auch bei besonders spröden Werkstoffen kaum noch zu Abplatzungen. Dadurch erreicht die erfindungsgemäß Mahlkugel 9 hervorragende Betriebs- und Verschleißigenschaften.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung von hohlen Mahlkörpern (9) für die Zerkleinerung von Mahlgütern, umfassend eine Gußform (1) mit einem Hohlraum (2), Anordnen eines Gußkerns (4) in dem Hohlraum (2), so daß ein schalenartiger Zwischenraum (5) für Gußmaterial entsteht, Einbringen von Halteelementen (6) zum Halten des Gußkerns (4), Aufbringen einer Umhüllung (71, 72, 73) auf die Halteelemente (6), Gießen des Gußmaterials in den Zwischenraum (5), **dadurch gekennzeichnet, daß** zumindest im Bereich des Zwischenraums (5) für die Umhüllung (71, 72, 73) ein metallisches Material verwendet wird, das mit dem Gußmaterial verschmilzt.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Stärke der metallischen Umhüllung (71, 72, 73) ortsabhängig variiert wird.
3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, daß** die metallische Umhüllung (71, 72, 73) über eine solche Länge aufgebracht wird, daß ein in den Bereich des Gußkerns (4) und/oder der Gußform (1) ragender Überstand entsteht.
4. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Überstand zwischen einem und zwei Drittel des Durchmessers der Halteelemente (6) beträgt.
5. Verfahren nach einem vorgehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, daß** unter der metallischen Umhüllung (71, 72, 73) eine isolierende Zwischenschicht (8) erzeugt wird.
6. Verfahren nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, daß** als isolierende Zwischenschicht eine Luftschicht ver-

wendet wird.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, daß** als metallisches Material Baustahl oder Kesselblech verwendet wird.
8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, daß** kugelförmige Mahlkörper hergestellt werden.

Claims

1. Method for the production of hollow grinding bodies (9) for the comminution of grinding stock, comprising
 - a casting mould (1) with a cavity (2),
 - the arrangement of a casting core (4) in the cavity (2), so that a shell-like interspace (5) for casting material is obtained,
 - the introduction of holding elements (6) for holding the casting core (4),
 - the application of a casing (71, 72, 73) onto the holding elements (6),
 - the pouring of the casting material into the interspace (5),**characterized in that,**
at least in the region of the interspace (5) for the casing (71, 72, 73), a metallic material which fuses with the casting material is used.
2. Method according to Claim 1, **characterized in that** the thickness of the metallic casing (71, 72, 73) is varied locally.
3. Method according to one of the preceding claims, **characterized in that** the metallic casing (71, 72, 73) is applied over a length such that an excess length projecting into the region of the casting core (4) and/or of the casting mould (1) is obtained.
4. Method according to Claim 3, **characterized in that** the excess length amounts to between one and two thirds of the diameter of the holding elements (6).
5. Method according to one of the preceding claims, **characterized in that** an insulating intermediate layer (8) is produced under the metallic casing (71, 72, 73).
6. Method according to Claim 5, **characterized in that** an air layer is used as an insulating intermediate layer.
7. Method according to one of the preceding claims, **characterized in that** structural steel or boiler plate is used as metallic material.
8. Method according to one of the preceding claims, **characterized in that** spherical grinding bodies are produced.

Revendications

1. Procédé de fabrication d'éléments broyeurs creux (9) pour la réduction de produits à moudre, comportant un moule (1) avec une chambre creuse (2), disposition d'un noyau de moulage (4) dans la chambre creuse (2), de façon à créer un espace intermédiaire (5) en forme de coquille pour la matière à mouler, introduction d'éléments de maintien (6) pour maintenir en place le noyau de moulage (4), disposition d'une enveloppe (71, 72, 73) sur les éléments de maintien (6), coulage de la matière à couler dans l'espace intermédiaire (5),
caractérisé en ce que
un matériau métallique est utilisé pour l'enveloppe (71, 72, 73), au moins dans la zone de l'espace intermédiaire (5), qui fond avec la matière à couler.
2. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** l'épaisseur de l'enveloppe métallique (71, 72, 73) varie

selon l'endroit.

5 3. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** l'enveloppe métallique (71, 72, 73) est disposée sur une longueur telle qu'il se produit une saillie dépassant dans la zone du noyau de moulage (4) et/ou du moule (1).

4. Procédé selon la revendication 3, **caractérisé en ce que** la saillie mesure entre un et deux tiers du diamètre de l'élément de maintien (6).

10 5. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'**une couche intermédiaire isolante (8) est créée sous l'enveloppe métallique (71, 72, 73).

15 6. Procédé selon la revendication 5, **caractérisé en ce qu'**une couche d'air est utilisée comme couche intermédiaire isolante (8).

7. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** l'on utilise comme matériau métallique de l'acier de construction ou de la tôle pour chaudières .

20 8. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** l'on fabrique des éléments broyeurs sphériques

25

30

35

40

45

50

55

Fig. 1

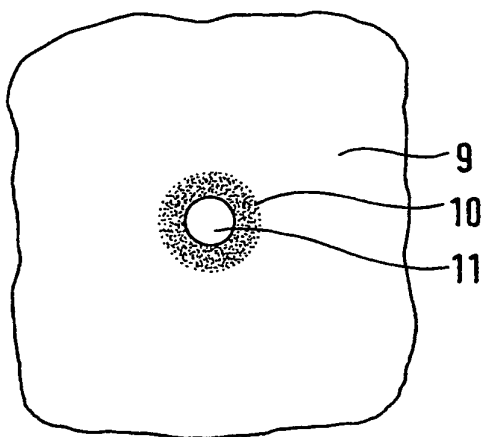
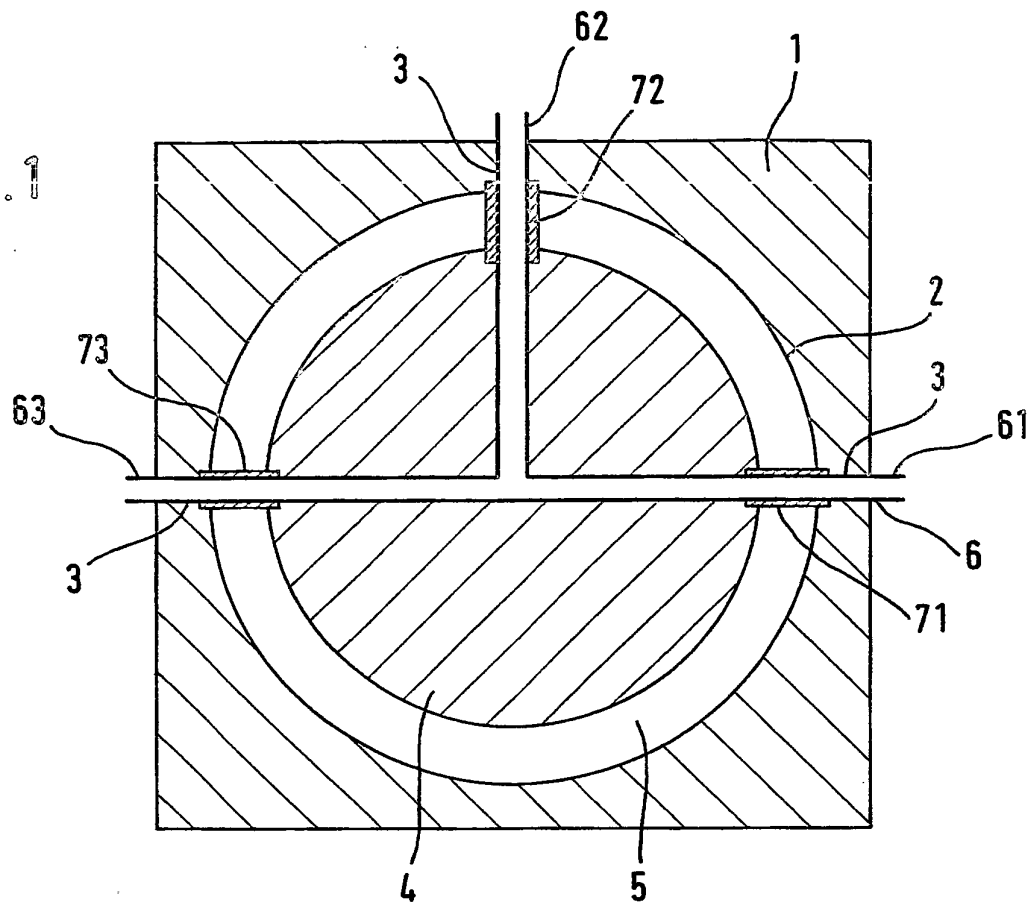
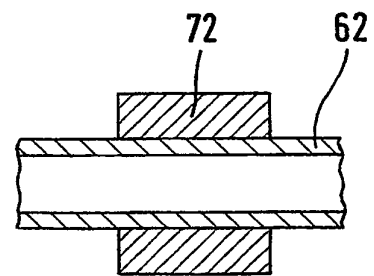
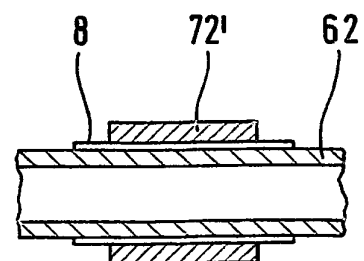


Fig. 2



a)

Fig. 3



b)