

(19)



Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

EP 0 506 608 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des
Hinweises auf die Patenterteilung:
27.12.1996 Patentblatt 1996/52

(51) Int. Cl.⁶: **B22D 27/04**

(21) Anmeldenummer: **92810154.2**

(22) Anmeldetag: **02.03.1992**

(54) Vorrichtung zur Herstellung von gerichtet erstarrten Gussstücken

Apparatus for manufacturing castings by directional solidification

Appareil pour la fabrication des pièces coulées par solidification dirigée

(84) Benannte Vertragsstaaten:
CH DE FR GB IT LI

(30) Priorität: **26.03.1991 CH 919/91**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
30.09.1992 Patentblatt 1992/40

(73) Patentinhaber: **SULZER INNOTECH AG**
CH-8401 Winterthur (CH)

(72) Erfinder: **Staub, Fritz**
CH-8472 Seuzach (CH)

(74) Vertreter: **Heubeck, Bernhard et al**
c/o Sulzer Management AG
KS Patente/0007
8401 Winterthur (CH)

(56) Entgegenhaltungen:
EP-A- 0 104 794 **GB-A- 1 264 053**
GB-A- 2 106 021 **US-A- 3 283 377**
US-A- 3 810 504

EP 0 506 608 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

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Herstellung von gerichtet erstarrten Gussstücken gemäss Oberbegriff von Anspruch 1 und ein Verfahren zur Herstellung solcher Gussstücke mit einer solchen Vorrichtung.

Für das herstellen von gerichtet erstarrten Gussstücken, die relativ klein sind (Länge in Erstarrungsrichtung kleiner als rund 15 cm), ist ein kostengünstiges Verfahren bekannt, bei dem Formschalen mit sogenannten integrierten Wärmequellen zum Einsatz kommen (F.Staub et al, Technische Rundschau Sulzer 3/1988, p.11). Die integrierten Wärmequellen sind beispielsweise zusätzliche Hohlräume der Formschale, die mit überhitzter Schmelze gefüllt ermöglichen, ohne Heizvorrichtungen ("Suszeptoren") in der Giesskammer auszukommen. Die Formschale selbst und eine Wärmedämmung der Gussform, die verwendet werden muss, geben ebenfalls einen Beitrag zu den integrierten Wärmequellen.

Die Formschale weist eine untere Öffnung auf, die in der Giesskammer durch eine ebene Kühlplatte abgeschlossen wird. An dieser Öffnung setzt beim Giessen die Erstarrung der Schmelze ein. Die Kühlplatte als Wärmesenke und die integrierten Wärmequellen bilden die Pole eines Temperaturfeldes, das einen "unidirektionalen" Wärmefluss und damit eine gerichtete Erstarrung ermöglicht. Bei den bekannten Verfahren bildet die Kühlplatte eine horizontale Ebene, bezüglich der die bei der Erstarrung entstehenden Dendriten eine im wesentlichen senkrechte Wachstumsrichtung aufweisen.

Bei Gussstücken aus Nickelbasislegierungen, beispielsweise für Turbinenschaufeln von Flugzeugtriebwerken, sind die Dehnungsfestigkeiten in Richtung der Dendriten und damit die Standzeiten der Bauteile während des Betriebs gegenüber polykristallinen Gussstücken beträchtlich verbessert. Da die Dendriten in den Schaufeln des Turbinenrads im wesentlichen radial orientiert sein sollen, muss das Rad aus einzelnen gerichtet erstarrten Gussstücken zusammengesetzt werden. Die Herstellung des Rades würde sich vereinfachen, wenn es gelänge, Bauteile zu giessen, die gerichtet erstarrte Bereiche aufweisen, deren Gefügestrukturen verschieden orientiert sind. Eine solche Vorrichtung, die das herstellen solcher Bauteile ermöglicht ist beschrieben in EP-A-104 794. Bei der bekannten Vorrichtung gelangt ein einteiliger Kühlaufsatz in Kontakt mit der Formschale bzw. dem Gußstück und es kann zu schädlichen Wärmespannungen durch die Temperaturänderungen dieser Teile kommen. Die Erfindung ermöglicht die Herstellung von Gußstücken mit verschiedenen orientiert erstarrten Bereichen ohne diese Nachteile. Diese Aufgabe wird durch die im kennzeichnenden Teil des Anspruchs 1 angegebene Massnahme gelöst.

Mittels eines Kühlaufsatzes, der auf die horizontale Kühlplatte aufgesetzt wird, erreicht man, dass das Dendritenwachstum bereichsweise unterschiedlich orientiert erfolgt. Durch geeignete Gestaltung des

Kühlaufsatzes können segmentförmige Gussstücke hergestellt werden, die sich zu radartigen Bauteilen mit radial orientierten Dendriten zusammensetzen lassen; oder es können zusammenhängende radartige Bauteile gegossen werden, bei denen durch gerichtete Erstarrung Dendriten gebildet werden, die zumindest angenähert radial ausgerichtet sind.

Im folgenden werden verschiedenen Ausführungsformen des Kühlaufsatzes der erfindungsgemässen Vorrichtung anhand der Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 ein radartiges, mittels der erfindungsgemässen Vorrichtung herstellbares Bauteil, das teilweise in die Formschale eingebettet ist (erstes Ausführungsbeispiel),

Fig. 2 drei Sektoren des Kühlaufsatzes des ersten Ausführungsbeispiels,

Fig. 3 einen radialen Schnitt durch Kühlplatte, Kühlaufsatz und gefüllte Formschale des ersten Ausführungsbeispiels,

Fig. 4 eine Variante des Kühlaufsatzes des ersten Ausführungsbeispiels,

Fig. 5a den Kühlaufsatz eines zweiten Ausführungsbeispiels,

Fig. 5b eine Variante zum zweiten Ausführungsbeispiel,

Fig. 6 ein drittes Ausführungsbeispiel, bei dem das Gussstück ein Bauteilsegment ist und

Fig. 7 eine Draufsicht auf die Kühlplatte mit Kühlaufsatz für das dritte Ausführungsbeispiel.

Die folgenden Figuren 8a bis 10c zeigen verschiedene Varianten von Kühlaufsätzen, die zur Herstellung von segmentartigen Bauteilen wie beim dritten Ausführungsbeispiel dienen und die sich jeweils für ein Bauteil aus mindestens zwei Körpern zusammensetzen.

Das Bauteil 10 der Fig.1 besteht aus den radialen Schaufelblättern 11, dem äusseren Ring 12 und dem inneren Ring 13. In der Formschale 2 ist ein torusförmiger Hohlraum 3 integriert, der die eigentliche Formschale des Bauteils 10 kranzartig umschliesst. (Der Hohlraum 3 kann auch in Sektoren unterteilt sein, die separate Kammern bilden. Dadurch lassen sich Spannungen, die beim Erstarren auftreten können, verhindern.) Die Schmelze gelangt über einen in Fig.1 nicht dargestellten Eingiesstrichter 5 (siehe Fig.3) über mehrere Kanäle 4 in den Torus 3 und von dort durch Öffnungen 31, die über die Peripherie des Aussenringes 12 verteilt angeordnet sind, in den zentralen Bereich der Formschale 2. Der Torus 3 bildet den Hauptteil der in die Formschale integrierten Wärmequelle. Eine Wär-

medämmung, mit der die äussere Oberfläche der Formschale 2 ummantelt sein muss, ist nicht dargestellt.

Auf der Innenseite weist die Formschale 2 Öffnungen 15 auf, die durch Stege 21 der Formschale 2 gegeneinander abgegrenzt sind. Wie in Fig.2 gezeigt ist, werden die Öffnungen 15 durch sektorförmige Körper 60 verschlossen. Diese Körper 60, die ringförmig um einen zentralen Teil 6b angeordnet sind, bestehen aus einem gut wärmeleitenden Material, beispielsweise Kupfer; sie dienen zur Wärmeableitung bei der Erstarrung der Schmelze. Wie aus der Querschnittszeichnung der Fig.3 hervorgeht, sind die Körper 60 auf der Kühlplatte 6 (Anschlussleitung 6a) aufgesetzt und gegen den zentralen Teil 6b mittels Druckfedern 61 abgestützt. Zwischen den Körpern 60 des Kühlaufsatzes sind radial schmale Lücken vorgesehen, die es ermöglichen, dass die mit einer Volumenreduktion beim Erstarren des Gussstückes einhergehende Geometrieänderung nicht behindert wird, indem der Kühlaufsatz in radialer Richtung nachgiebig ausgebildet ist.

Zwischen der Wärmesenke einerseits, die durch die Körper 60 gebildet wird, und andererseits der Wärmequelle, die durch die überhitzte Schmelze im torusförmigen Hohlraum 3 gebildet wird, entsteht ein radiales Temperaturfeld. Nach dem schockartigen Einsetzen der Erstarrung an den Öffnungen 15 wachsen aus einer polykristallinen Übergangszone Dendriten, die in den Schaufelblättern 11 mit geringen Abweichungen dem Temperaturfeld folgen. So entsteht das radartige Bauteil mit der gewünschten radialen Orientierung der Gefügestruktur.

Damit sich die Formschale 2 rasch auf die Kühlkörper 60 aufsetzen lässt, wird dem Gussstück 1 mit Vorteil eine Form gegeben, bei welcher der innere Ring 13 leicht konisch ist: der Winkel 102 zwischen der horizontalen 100 und den Falllinien 101, welche die Körper 60 an der Grenzfläche bei den Öffnungen 15 aufweisen, soll etwas kleiner als ein rechter Winkel sein. Je nach Bauteil, kann die Falllinie 101 auch stark von der Vertikalen abweichen (siehe Fig.4, wo strichpunktiert und mit dem Bezugszeichen 1' die Lage des Gussstücks angedeutet ist).

Beim zweiten Ausführungsbeispiel (Fig.5a,b) werden die ringförmig angeordneten Körper 60 gegen einen ringförmigen Rand 6c wiederum über Druckfedern 61 abgestützt. Die beiden dargestellten Varianten entsprechen den beiden Varianten des ersten Ausführungsbeispiels. hier erfolgt die gerichtete Erstarrung radial von aussen nach innen.

Das in Fig.6 gezeigte dritte Ausführungsbeispiel ist ein Gussstück 1 mit einem segmentartigen Bauteil 10, das zusammen mit fünf weiteren Bauteilen 10 zu einem radartigen Bauteil zusammengesetzt werden kann. Die nicht dargestellte Formschale umfasst neben dem Hohlraum für das Bauteil 10 wiederum Hohlräume für die integrierten Wärmequellen 3 mit den zugeordneten Verbindungsleitungen 4 und 31 sowie einen Hohlraum für einen Startersockel 14, in dem sich die gerichtete Erstarrung ausbildet. Der Körper 60 des Kühlaufsatzes

weist als Grenzfläche zum Gussstück 1 zwei ebene Bereiche auf, die einen Winkel von 30° einschliessen. Entsprechend bilden sich bei der Erstarrung im Gussstück zwei Bereiche aus, deren Dendritenausrichtung verschieden orientiert sind und zwar um einen Winkel, der zumindest angenähert ebenfalls 30° beträgt. hier ist die radiale Ausrichtung der Dendriten nur angenähert realisierbar.

Die Körper 60 des Kühlaufsatzes werden mit Vorteil auf einer Zwischenplatte 65 montiert, wobei die Verbindung beispielsweise mittels Schrauben 70 solcherart hergestellt wird, dass für den Schraubenkopf ein Bewegungsspielraum 71 frei bleibt. Diese Verbindung erlaubt dann eine beschränkte Gleitbewegung des Körpers 60 um eine Nullpunktslage von beispielsweise mindestens einem Millimeter. Wenn mehrere Gussstücke zu einer Traube zusammengefasst werden, so kann auf kleine Geometrieänderungen der Traube, die sich beim Aufheizen der Keramik sowie beim Erstarren der Schmelze einstellen, der Kühlaufsatz dank der Beweglichkeit seiner Körper 60 nachgiebig reagieren.

Die in Fig.7 gezeigte Kühlplatte 6 weist einen Kühlaufsatz mit den Körpern 60 für eine Traube mit sechs Bauteilen 10 (gemäss Fig.6) auf. Mit Vorteil wird die Formschale der Traube an ihrer Basis mit einem ringförmigen Rand versehen, der Nuten zu einem Bajonettverschluss aufweist. Mittels den Klauen 6d seitlich an der Kühlplatte 6, welche die Gegenstücke zu den Nuten des Bajonettverschlusses bilden, lässt sich die Formschale mit der Kühlvorrichtung rasch und sicher verbinden. Damit allerdings die beim Bajonettverschluss nötige Drehbewegung ausgeführt werden kann, muss die Zwischenplatte 65 auf der Kühlplatte 6 drehbar gelagert sein. Dazu ist im Zentrum der Kühlplatte 6 ein Zapfen 80 vorgesehen, der in eine entsprechende Bohrung in der Zwischenplatte 65 eingreift.

Beim Erstarren der Schmelze verringert sich das Volumen um rund zwei Prozent. Mit diesem Volumenschwund geht im allgemeinen eine Geometrieänderung des Gussstücks einher, die sich als Kontraktion äussert. Wegen dieser Kontraktion ist es vorteilhaft, wenn der Kühlaufsatz aus mehreren, gegeneinander verschiebbaren Körpern 60 zusammengesetzt wird. Statt des zusammenhängenden Körpers 60 des dritten Ausführungsbeispiels verwendet man besser einen Kühlaufsatz mit zwei, drei oder vier Körpern 60, wie es in den Figuren 8a bis 8c dargestellt ist (Die Pfeile deuten die Verschiebbarkeit der Körper 60 an). Je grösser der Segmentwinkel des Bauteils 10 ist, d.h. je weniger solcher Bauteile 10 für das Zusammensetzen des gesamten radartigen Bauteils benötigt werden, desto mehr Körper 60 des Kühlaufsatzes müssen pro Bauteil 10 verwendet werden.

Statt dass die Oberflächen der Körper 60 eben ausgebildet sind, können sie, wie es in den Figuren 9a und 9b dargestellt ist, gebogen ausgeführt sein.

Damit durch die Lücken zwischen den Körpern 60 keine Schmelze aus der Formschale ausfliessen kann, muss die Gussform solcherart gestaltet werden, dass -

beispielsweise mit Sockelstücken 14' (siehe Fig.8a) - die Öffnungen der Formschale nicht über diese Lücken zu liegen kommen. Man kann jedoch auch andere Massnahmen vorsehen, durch die ein Wegfliessen der Schmelze verhindert wird. Dies ist anhand der Figuren 10a bis 10b illustriert: Die Lücke zwischen zwei benachbarten Körpern 601 und 602 wird durch einen dachartigen Fortsatz 605 des Körpers 601 abgedeckt (siehe Fig. 10b, die einen vergrösserten Ausschnitt der Fig. 10a darstellt). Der Fortsatz 605 liegt dicht auf einem kleinen horizontalen Bereich des Körpers 602 auf und zwar so, dass eine Gleitbewegung des Körpers 602 gegen den Körper 601 nicht behindert wird.

Die einzelnen Körper 60 beziehungsweise 601 und 602 können gleich wie beim dritten Ausführungsbeispiel mit Verbindungsmitteln 70 auf einer Zwischenplatte 65 montiert werden (siehe Fig.8a). Sie können auch wie beim ersten Ausführungsbeispiel über Druckfedern 603 (siehe Fig.10b) miteinander verbunden sein.

Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Herstellung von gerichtet erstarrten Gussstücken unter Verwendung von Formschalen (2) mit sogenannt integrierten Wärmequellen (3), die aus überhitzter Schmelze und/oder aufgeheizten Wärmespeichern gebildet werden, welche Vorrichtung eine Vakuumgiessanlage ist, die eine ebene Kühlplatte (6) und einen zwischen Kühlplatte und Formschale (2) angeordneten, wärmeleitenden Kühlaufsatz umfasst, wobei die Formschale mindestens eine Öffnung (15) zum Starten der Erstarrung sowie Wärmeableiten aufweist, die Grenzfläche an der Öffnung oder den Öffnungen (15) mindestens aus zwei Bereichen besteht, die in verschiedenen, gegeneinander geneigten Ebenen liegen, und der Kühlaufsatz den wärmeableitenden Abschluss der Formschale bildet,

dadurch gekennzeichnet, dass die Kühlplatte die einzige mit einem Kühlmittel erzeugte Wärmesenke ist und dass der Kühlaufsatz aus mindestens zwei Körpern (60, 65) besteht, die gleitfähig und relativ zu einander verschiebbar sind.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Kühlaufsatz aus mehreren Körpern (60), die ringförmig angeordnet sind, gebildet wird.

3. Vorrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Kühlplatte im Zentrum einen nach oben stehenden Teil (6b) aufweist und dass zwischen den Körpern (60) des Kühlaufsatzes, die auf der Kühlplatte (6) verschiebbar sind, und dem Zentralteil (6b) Druckfedern (61) angeordnet sind.

4. Vorrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Kühlplatte (6) einen ringförmigen, nach oben stehenden Randteil (6c) aufweist

und dass zwischen den Körpern (60) des Kühlaufsatzes, die auf der Kühlplatte (6) verschiebbar sind, und dem Randteil (6c) Druckfedern (61) angeordnet sind.

5. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen Kühlplatte (6) und Kühlaufsatz (60) eine drehbar gelagerte, wärmeleitende Zwischenplatte (65) angeordnet ist.

6. Vorrichtung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest einzelne der Körper (60) des Kühlaufsatzes auf der Zwischenplatte (65) mit Verbindungsmitteln (70) montiert sind, die eine beschränkte Gleitbewegung der Körper (60) jeweils um eine Nullpunktslage von mindestens einem Millimeter zulassen.

7. Vorrichtung nach Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, dass einem Gussstück (1) jeweils nur ein zusammenhängender Körper (60) des Kühlaufsatzes zugeordnet ist.

8. Vorrichtung nach Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, dass einem Gussstück (10) jeweils mindestens zwei Körper (60) des Kühlaufsatzes zugeordnet sind.

9. Vorrichtung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen den Körpern (60) des Kühlaufsatzes Druckfedern (61) angeordnet sind.

10. Verfahren zur Herstellung von gerichtet erstarrten Gussstücken mit einer Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 9.

Claims

1. Apparatus for the production of directionally solidified castings using mould shells (2) having integrated heat sources (3) formed from superheated melt and/or heated-up heat-storage means, said apparatus being a vacuum casting plant comprising a flat cooling plate (6) and a thermally conductive cooling attachment disposed between the cooling plate and the mould shell (2), the mould shell having at least one aperture (15) to start the solidification and for heat dissipation, the interface at the aperture or apertures (15) consists of at least two zones situated in different planes inclined to one another, and the cooling attachment forms the heat-dissipating end of the mould shell, characterised in that the cooling plate is the only heat sink produced by a cooling medium and in that the cooling attachment consists of at least two members (60, 65) which are slidable and displaceable relatively to one another.

2. Apparatus according to claim 1, characterised in

that the cooling attachment is formed from a plurality of members (60) arranged in the form of a ring.

3. Apparatus according to claim 2, characterised in that the cooling plate has an upwardly extending part (6b) in the centre and in that compression springs (61) are disposed between the central part (6b) and the cooling attachment members (60) displaceable on the cooling plate (6).

4. Apparatus according to claim 2, characterised in that the cooling plate (6) has an annular upwardly extending edge part (6c) and in that compression springs (61) are disposed between the edge part (6c) and the cooling attachment members (60) displaceable on the cooling plate (6).

5. Apparatus according to any one of claims 1 to 4, characterised in that a rotatably mounted thermally conductive intermediate plate (65) is disposed between the cooling plate (6) and the cooling attachment (60).

6. Apparatus according to claim 5, characterised in that at least some of the cooling attachment members (60) are mounted on the intermediate plate (65) by connecting means (70) which allow a limited sliding movement of the members (60) in each case about a zero position of at least 1 millimetre.

7. Apparatus according to claim 5 or 6, characterised in that only one connected cooling attachment member (60) is associated with each casting (1).

8. Apparatus according to claim 5 or 6, characterised in that at least two cooling attachment members (60) are associated with each casting (10).

9. Apparatus according to claim 8, characterised in that compression springs (61) are disposed between the cooling attachment members (60).

10. A process for the production of directionally solidified castings by means of an apparatus according to any one of claims 1 to 9.

Revendications

1. Dispositif de fabrication de pièces moulées, à solidification dirigée, faisant utilisation de coquilles de moulage (2) équipées de ce que l'on appelle des sources de chaleur intégrées (3), constituées du produit en fusion ayant été surchauffé et/ou d'accumulateurs de chaleur chauffés, le dispositif étant une installation de coulée sous vide, comprenant une plaque de refroidissement (6) plane et d'un chapeau de refroidissement conducteur de la chaleur, disposé entre la plaque de refroidissement et la coquille de moulage (2), la coquille de moulage

présentant au moins une ouverture (15) destinée au démarrage de la solidification ainsi qu'à l'évacuation de la chaleur, la surface limite de la ou des ouvertures (15) étant constituée d'au moins deux zones placées dans des plans différents, inclinés l'un par rapport à l'autre et le chapeau de refroidissement constituant la fermeture, guidant l'évacuation de la chaleur, de la coquille de moulage,

caractérisé en ce que la plaque de refroidissement est l'unique dissipateur thermique, produit à l'aide d'un moyen de refroidissement, et en ce que le chapeau de refroidissement est constitué d'au moins deux corps (60, 65), déplaçables l'un par rapport à l'autre par une possibilité de glissement.

2. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce que le chapeau de refroidissement est constitué de plusieurs corps (60) disposés en forme d'anneau.

3. Dispositif selon la revendication 2, caractérisé en ce que la plaque de refroidissement présente au centre une partie (6b) dirigée vers le haut et en ce que des ressorts de compression (61) sont disposés, entre les corps (60), déplaçables sur la plaque de refroidissement (6), du chapeau de refroidissement et la partie centrale (6b).

4. Dispositif selon la revendication 2, caractérisé en ce que la plaque de refroidissement (6) présente une partie de bordure (6c) dirigée vers le haut, ayant une forme annulaire, et en ce qu'entre les corps (60), déplaçables sur la plaque de refroidissement (6), du chapeau de refroidissement et la partie de bordure (6c) sont disposés des ressorts de compression (61).

5. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 4, caractérisé en ce qu'une plaque intermédiaire (65), conductrice de la chaleur, montée à rotation, est disposée entre la plaque de refroidissement (6) et le chapeau de refroidissement (60).

6. Dispositif selon la revendication 5, caractérisé en ce qu'au moins certains des corps (60) du chapeau de refroidissement sont montés sur la plaque intermédiaire (65) à l'aide de moyens de liaison (70) permettant un déplacement de glissement limité de chacun des corps (60) autour d'une position de point zéro, sur la distance d'au moins un millimètre.

7. Dispositif selon la revendication 5 ou 6, caractérisé en ce qu'un seul corps (60), contigu, du chapeau de refroidissement est associé à chaque pièce moulée (1).

8. Dispositif selon la revendication 5 ou 6, caractérisé en ce qu'au moins deux corps (60) du chapeau de

refroidissement sont associés à chaque pièce moulée (10).

9. Dispositif selon la revendication 8, caractérisé en ce que des ressorts de compression (61) sont disposés entre les corps (60) du chapeau de refroidissement. 5
10. Procédé de fabrication de pièces moulées à solidification dirigée, à l'aide d'un dispositif selon l'une des revendications 1 à 9. 10

15

20

25

30

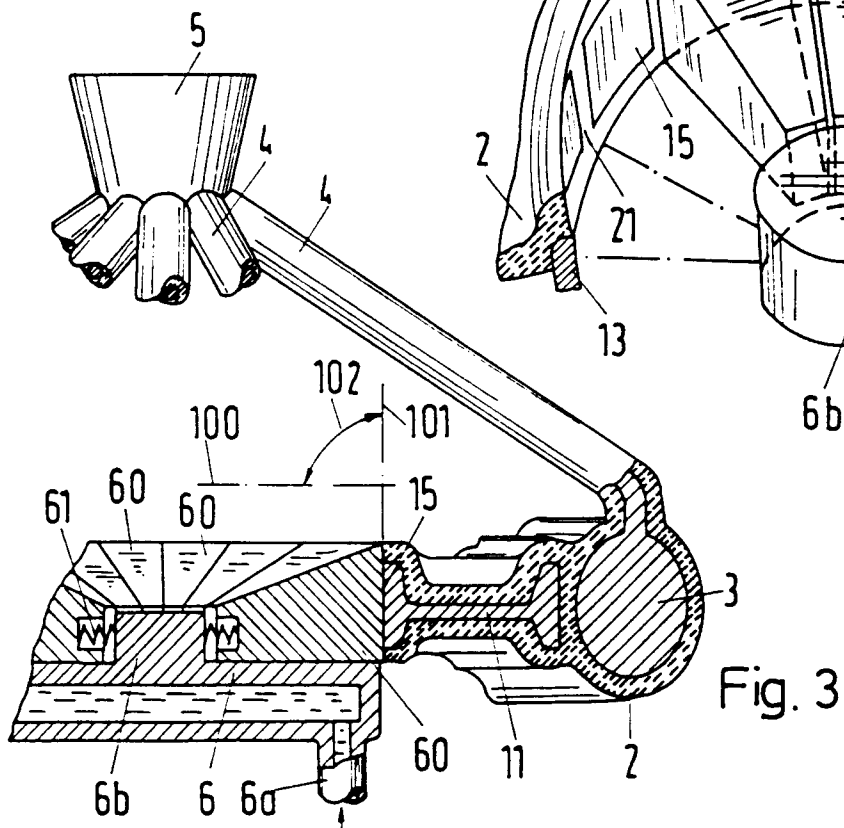
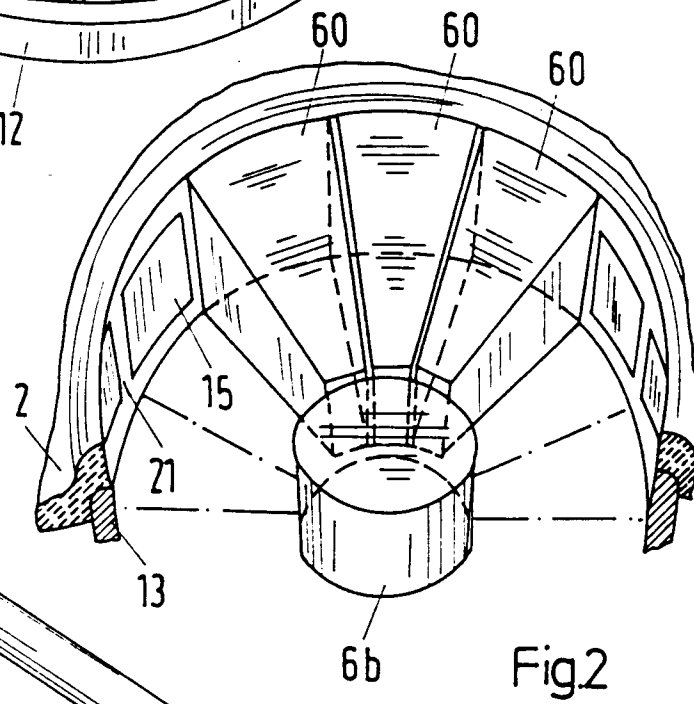
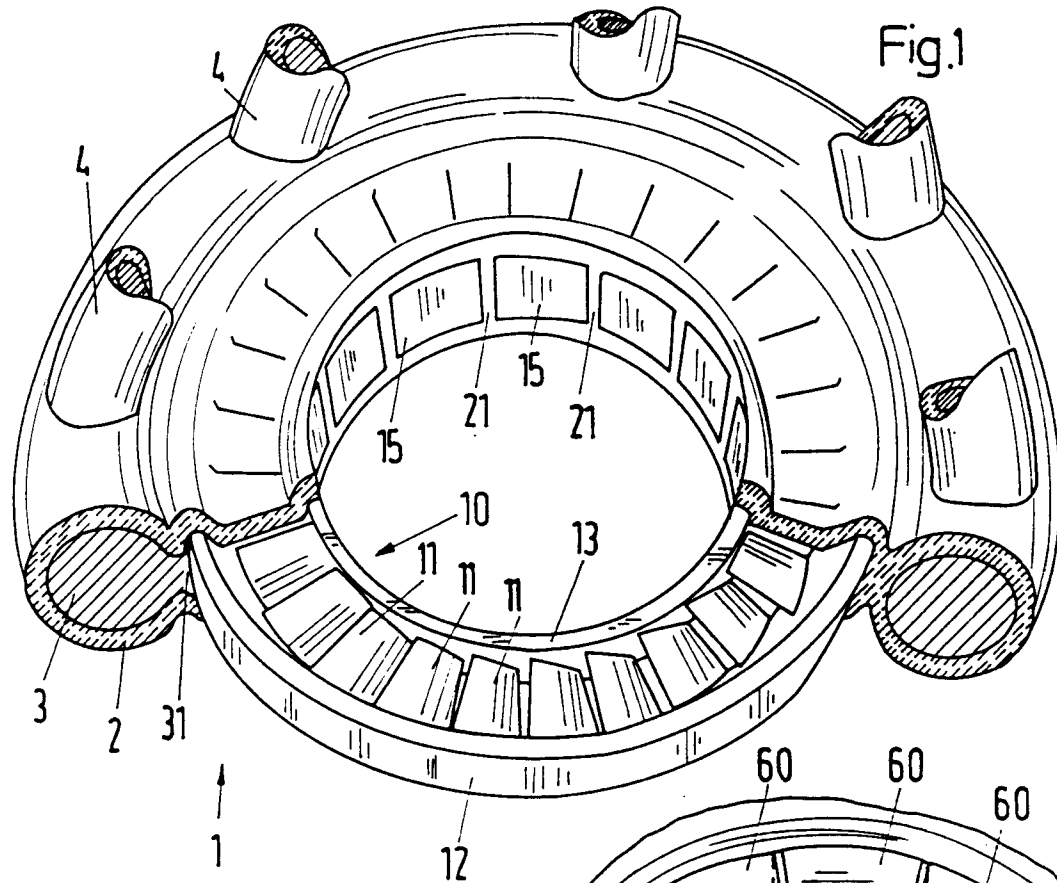
35

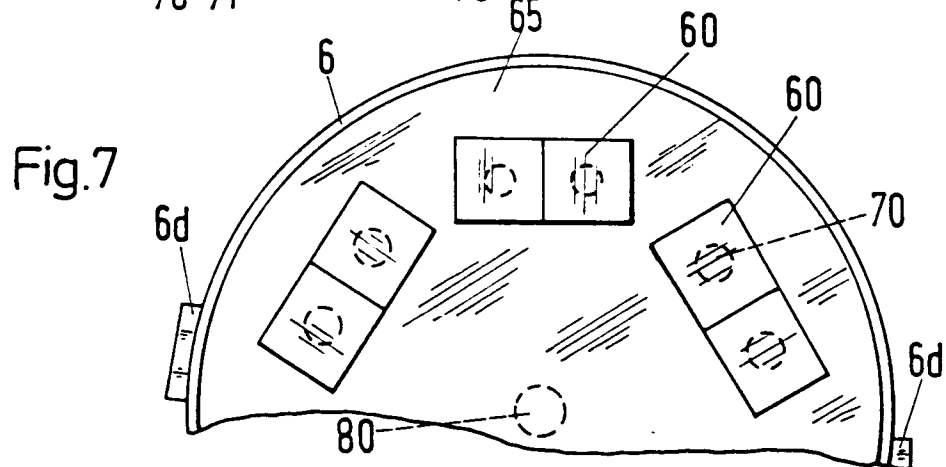
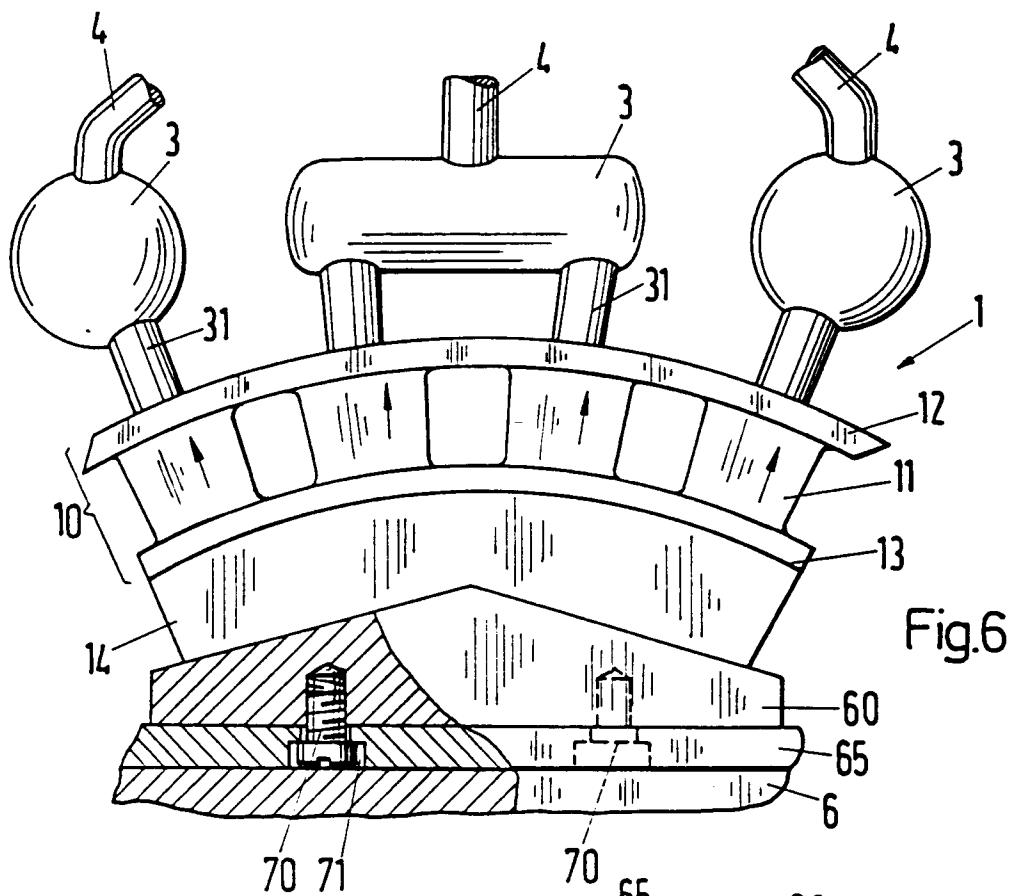
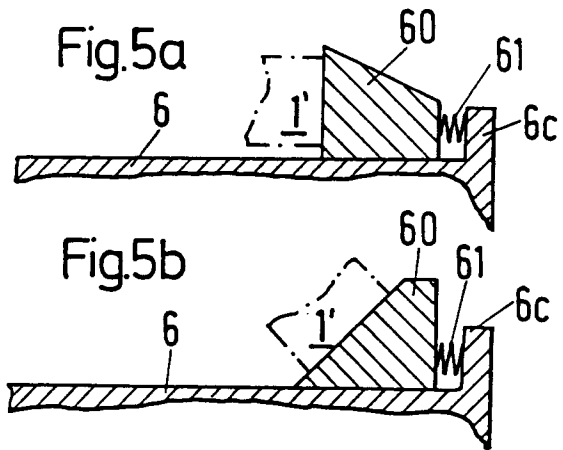
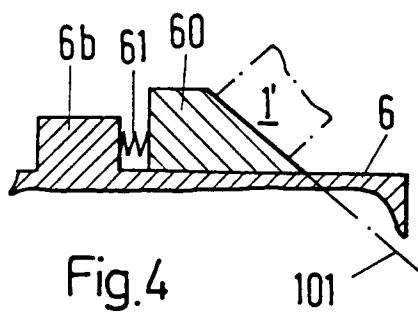
40

45

50

55





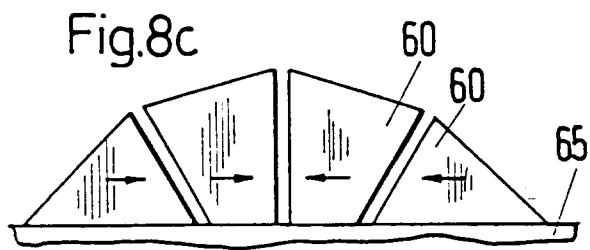
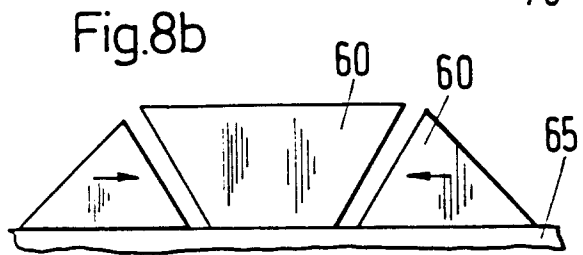
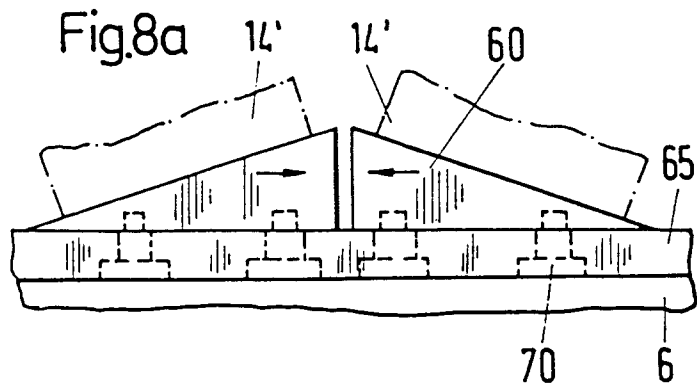


Fig.9a

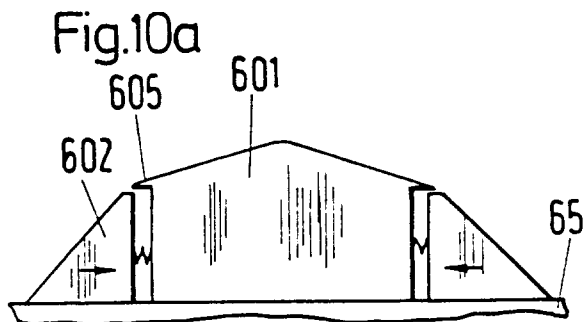
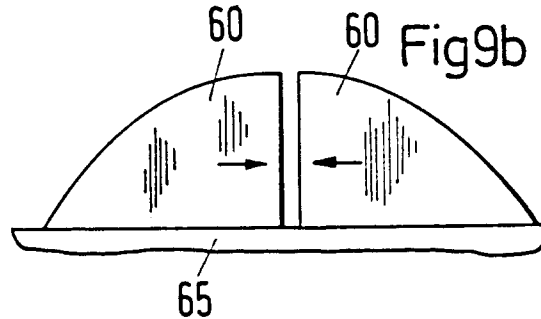
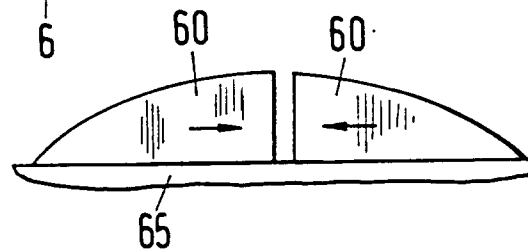


Fig.10b

