

(12)

Patentschrift

(21) Anmeldenummer: A 355/2015
(22) Anmeldetag: 08.06.2015
(45) Veröffentlicht am: 15.12.2017

(51) Int. Cl.: **F27B 14/06** (2006.01)
F27B 14/10 (2006.01)
F27B 14/14 (2006.01)
F27D 11/06 (2006.01)
B22D 47/02 (2006.01)
H05B 6/22 (2006.01)
H05B 6/36 (2006.01)
F27D 3/14 (2006.01)
H01F 1/34 (2006.01)
H01F 3/00 (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:
JP 2004116980 A
CN 201089010 Y
US 2005175064 A1
GB 2161591 A
US 5197081 A
US 3223519 A
DE 935452 C

(73) Patentinhaber:
ENGEL AUSTRIA GMBH
4311 SCHWERTBERG (AT)

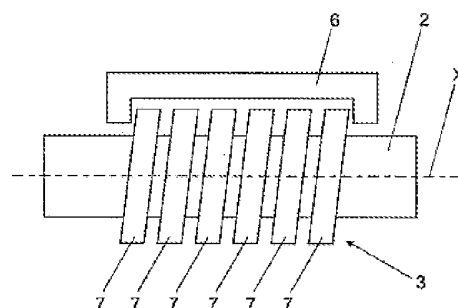
(72) Erfinder:
Amrhein Wolfgang Dipl.Ing.Dr.
4100 Ottensheim (AT)
Mitterhofer Hubert Dipl.Ing.
3386 Hafnerbach (AT)
Silber Siegfried Dipl.Ing. Dr.
4202 Kirchschlag (AT)
Kappelmüller Werner Ing. MSc
4311 Schwertberg (AT)
Prokesch Andreas Dipl.Ing. (FH)
4482 Ennsdorf (AT)

(74) Vertreter:
Torggler Paul Mag. Dr., Hofinger Stephan
Dipl.Ing. Dr., Gangl Markus Mag. Dr., Maschler
Christoph MMag. Dr.
Innsbruck

(54) Formgebungsmaschine und Verfahren zum induktiven Erhitzen

(57) Formgebungsmaschine mit einem Schmelzgefäß (2), einer am Schmelzgefäß (2) angeordneten Induktionsspule (3) zum induktiven Erhitzen, insbesondere Schmelzen, eines Materials, sowie einer formgebenden Kavität (4), wobei das Schmelzgefäß (2) zumindest einen für ein elektromagnetisches Feld im Wesentlichen durchlässigen Einstrahlbereich (5) aufweist und die Formgebungsmaschine dazu ausgebildet ist, das Material in der Kavität (4) so zu kühlen, dass sich ein im Wesentlichen kristalliner Festkörper bildet, wobei den Einstrahlbereich (5) überlappend ein Körper (6) mit einer höheren magnetischen Permeabilität als das Schmelzgefäß (2) angeordnet ist und die Induktionsspule (3) zwischen dem Körper (6) und dem Einstrahlbereich (5) angeordnet ist.

Fig. 1



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine Formgebungsmaschine mit den Merkmalen des Oberbegriffs des Anspruchs 1, ein Verfahren gemäß den Merkmalen des Oberbegriffs des Anspruchs 12 sowie eine Verwendung einer Anordnung aus einem Schmelzgefäß und einer am Schmelzgefäß angeordneten Induktionsspule.

[0002] Es ist bekannt, Metall in einem Schmelzgefäß anzuordnen und mittels einer Spule induktiv zu erhitzen bzw. zu schmelzen. Die Schmelze kann dann in eine formgebende Kavität befördert werden, in welcher das Metall aushärtet. Dies ist aus der US 2013/0037999 A1, der WO 2013/043156 A1, der WO 2013/112130 A1, der US 2015/0013933 A1 sowie der US 2014/0332176 A1 bekannt, wobei jeweils vorgesehen ist, die Schmelze so schnell zu kühlen, dass sich ein im Wesentlichen amorpher Festkörper ergibt.

[0003] Die erwähnten Schriften legen ebenfalls verschiedene Konfigurationen für das Schmelzgefäß, auch genannt Boot oder engl. „crucible“ und die Induktionsspule offen.

[0004] Trotz dieser Maßnahmen leidet dieses Verfahren unter relativ großen Verlusten, welche dadurch auftreten, dass das Schmelzgefäß selbst ebenfalls aus leitfähigem Metall hergestellt ist. Somit wird neben dem eigentlich aufzuschmelzenden Metall auch das Schmelzgefäß erhitzt. Dies führt dann dazu, dass das Schmelzgefäß selbst aufwendig gekühlt werden muss.

[0005] Weitere Vorrichtungen zum induktiven Schmelzen sind aus der JP 2004 116 980 A, der CN 2010 89 010 Y sowie der US 2005/01 75 064 A1 bekannt.

[0006] Aufgabe der Erfindung ist es, eine Vorrichtung und ein Verfahren bereitzustellen, womit die Effektivität der Energiedeponierung im zu erheizenden Material erhöht ist.

[0007] Hinsichtlich der Vorrichtung wird diese Aufgabe mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Hinsichtlich des Verfahrens wird diese Aufgabe mit den Merkmalen des Anspruchs 12 gelöst. Schutz wird außerdem für eine Verwendung gemäß Anspruch 15 begehrt.

[0008] Ein Grundaspekt der Erfindung besteht darin, einen den Einstrahlbereich überlappend angeordneten Körper vorzusehen, welcher eine höhere magnetische Permeabilität (auch genannt: magnetische Leitfähigkeit) als das Schmelzgefäß besitzt. Die Induktionsspule ist dabei zwischen dem Körper und dem Einstrahlbereich angeordnet. Der Erfindung liegt also die Erkenntnis zugrunde, dass mittels eines solchen Körpers der elektromagnetische Fluss, welcher durch die Induktionsspule erzeugt wird, auf den Einstrahlbereich konzentriert werden kann. Ein größerer Anteil der elektromagnetischen Energie wird also durch den Einstrahlbereich direkt im Material deponiert, bzw. ein geringerer Anteil wird im Schmelzgefäß deponiert (beides im Vergleich zum Stand der Technik). Die Abschirmung des Materials durch das Schmelzgefäß wird also umgangen.

[0009] Der Einstrahlbereich ist durch zumindest eine Öffnung im Schmelzgefäß gebildet. Eine Öffnung im Schmelzgefäß ist am besten zur Einstrahlung elektromagnetischer Energie geeignet.

[0010] Überraschend ist hier also unter anderem, dass ein erfindungsgemäßer Körper auch außerhalb der Spule für eine besondere Energiefokussierung sorgen kann.

[0011] Für die Erfindung ist das kristalline Aushärten des erhitzten bzw. geschmolzenen Materials vorgesehen. D. h. dass der sich bildende Festkörper eine mikroskopische Gitterstruktur besitzt. Diese Gitterstruktur zeichnet sich durch die periodische oder quasiperiodische Wiederholung von sogenannten Elementarzellen aus. Diese Elementarzellen bilden den Grundbaustein der Gitterstruktur, wobei das gesamte Gitter durch Translationen und Rotationen aus der Elementarzelle gewonnen werden kann.

[0012] Die in Betracht gezogenen Materialien können meist auch in einem amorphen Zustand vorliegen, in welchem die angesprochene Gitterstruktur nicht vorhanden ist. Tatsächlich wird die Struktur eines realen Kristalls nie die eines idealen Gitters sein, da Gitterfehler, Einschlüsse und

dergleichen nie zur Gänze vermieden werden können. Für die Zwecke dieser Anmeldung werden jene Festkörper als kristallin betrachtet, welche einen Kristallisationsgrad (also der Anteil des Festkörpers, welcher als Kristall vorliegt) von mindestens 50 %, bevorzugt mindestens 80 % und besonders bevorzugt mindestens 95 %, besitzt. Festkörperphysikalisch unterscheidet sich die amorphe von der kristallinen Phase durch die Absenz sogenannter langreichweitiger Korrelationen. Als langreichweitige Korrelationen werden jene Korrelationen bezeichnet, welche ein schwächeres Abfallverhalten als die die Gitterbindungen erzeugende Wechselwirkung (interatomare und intermolekulare Kräfte) aufweisen.

[0013] Unter Formgebungsmaschinen können jegliche Maschinen verstanden werden, welche durch Erhitzen oder Schmelzen eine Formbarkeit eines Materials hervorrufen und diese Formbarkeit zur Formgebung nützen. Dies geschieht in einer Kavität, in welcher das Material angeordnet wird, wobei das Material in der Kavität auch beispielsweise verpresst werden kann.

[0014] Weitere vorteilhafte Ausführungsformen der Erfindung sind in den abhängigen Ansprüchen definiert.

[0015] Es kann vorgesehen sein, dass sich der Körper im Wesentlichen parallel zu einer Längsachse der Induktionsspule erstreckt. Hierdurch kann über eine Länge der Induktionsspule hinweg die elektromagnetische Einstrahlung in das Schmelzgefäß hinein fokussiert werden. Dies gilt insbesondere dann, wenn das Schmelzgefäß zylindrisch ausgebildet ist. Diese zylindrische Ausbildung kann noch weitere Vorteile haben. Beispielsweise kann erhitztes bzw. aufgeschmolzenes Material aus einem Zylinder relativ einfach mittels eines Stempels bzw. Kolbens in die Kavität transportiert werden.

[0016] Der vollständigen Fokussierung der eingestrahnten Energie über die Länge der Induktionsspule kann außerdem dienlich sein, wenn der Körper eine Längserstreckung aufweist, welche im Wesentlichen einer Längserstreckung entlang der Längsachse der Induktionsspule entspricht oder größer ist.

[0017] Es kann außerdem vorgesehen sein, dass der Körper als Joch - vorzugsweise mit einem zum Schmelzgefäß weisenden U-Profil - ausgebildet ist. Die durch den Körper gebündelten Feldlinien können auf diese Art und Weise besonders gezielt in den Einstrahlungsbereich fokussiert werden.

[0018] Es kann vorgesehen sein, dass der Körper eine geringere elektrische Leitfähigkeit als die Induktionsspule aufweist. Hierdurch kann verhindert werden, dass im Körper selbst Ströme induziert werden, welche den Körper erhitzen würden und welche selbst wiederum für eine Störung des Magnetfelds sorgen würden.

[0019] Der Körper kann bevorzugt aus einem Ferritmaterial gefertigt sein. Ferrit bezeichnet in diesem Fall einen ferromagnetischen keramischen Werkstoff (d. h. nicht: Modifikation des Eisens). Unter den Ferriten können sogenannte weichmagnetische Ferrite bzw. Ferrospinelle bevorzugt sein, da sie eine besonders hohe magnetische Permeabilität bei geringer elektrischer Leitfähigkeit aufweisen (siehe Matthée, Lexikon der Fertigungstechnik und Arbeitsmaschinen, Deutsche Verlagsanstalt Stuttgart, 1967).

[0020] Als zu erhitzende bzw. aufzuschmelzende Materialien können besonders Metalle vorgesehen sein, wobei natürlich jegliches ansatzweise leitfähige Material dem induktiven Erhitzen zugänglich ist.

[0021] Geometrisch sinnvoll kann die Öffnung ein Langloch aufweisen, insbesondere dann, wenn das Schmelzgefäß zylindrisch mit umgebender Spule ausgeführt ist. Besonders bevorzugt kann es vorgesehen sein, dass zumindest eine Leiterschleife der Induktionsspule das Schmelzgefäß umgibt, wobei vorzugsweise im Wesentlichen alle Leiterschleifen der Induktionsspule das Schmelzgefäß umgeben. Dies kann vorteilhaft sein, da die größte magnetische Feldstärke im Inneren der Leiterschleifen auftritt.

[0022] Die Induktionsspule und das Schmelzgefäß können im Wesentlichen konzentrisch angeordnet sein.

[0023] Das Material kann nach dem Erhitzen bzw. Schmelzen, bevor es ausgehärtet ist, in die Kavität, welche die erwünschte Form verleiht, transportiert werden. Insbesondere bei einem zylindrischen Schmelzgefäß kann dies durch einen Stempel geschehen.

[0024] Das Material kann in Form eines Barrens bereitgestellt werden, welcher vorzugsweise zylindrisch sein kann. Dieser Barren wird im Sprachgebrauch auch oft als „Ingot“ (engl.) bezeichnet.

[0025] Weitere Einzelheiten und Vorteile der Erfindung ergeben sich anhand der Figuren sowie der dazugehörigen Figurenbeschreibung. Dabei zeigen:

[0026] Fig. 1 eine schematische Seitenansicht einer erfindungsgemäßen Anordnung aus einem Schmelzgefäß, einer Induktionsspule und einem Körper,

[0027] Fig. 2 eine schematische Schnittdarstellung der Darstellung aus Fig. 1,

[0028] Fig. 3 eine perspektivische Darstellung der Anordnung aus Fig. 1,

[0029] Fig. 4 eine schematische Schnittdarstellung einer erfindungsgemäßen Formgebungsmaschine sowie

[0030] Fig. 5 eine Draufsicht auf die Anordnung nach Fig. 1.

[0031] Fig. 1 zeigt schematisch ein Schmelzgefäß 2, welches in diesem Fall als hohler Zylinder ausgebildet ist. Das Schmelzgefäß 2 ist von den Leiterschleifen 7 der Induktionsspule 3 umgeben. In dieser Ausführungsform bildet die Längsachse X der Induktionsspule 3 ebenfalls die Längsachse des Schmelzgefäßes 2. Das Schmelzgefäß 2 und die Induktionsspule 3 sind also konzentrisch angeordnet. Ebenfalls erkennbar ist der Körper 6. Dieser ist aus einem weichmagnetischen Ferritmaterial gefertigt.

[0032] Die Schnittdarstellung der Fig. 2 lässt erkennen, wie der Körper 6 in Bezug auf den Einstrahlbereich 5 angeordnet ist. Der Einstrahlbereich 5 ist in diesem Fall als Langloch an der Oberseite des Schmelzgefäßes 2 ausgeführt (siehe auf Fig. 3). (Das Langloch ist so schmal ausgeführt, dass es in der Seitendarstellung aus Fig. 1 im Wesentlichen nicht zu erkennen ist).

[0033] Der Körper 6 ist als Joch mit einem U-förmigen Profil ausgebildet. Das U-förmige Profil umgreift die Induktionsspule 3. Dadurch werden die im Körper 6 konzentrierten Magnetfeldlinien direkt in den Einstrahlbereich geleitet.

[0034] Fig. 3 zeigt eine perspektivische Darstellung der Ausführungsform aus den Figuren 1 und 2. Sie zeigt im Wesentlichen die gleichen Elemente, allerdings teilweise mit mehr Details. Fig. 3 soll einen Eindruck davon vermitteln, wie die einzelnen beschriebenen Objekte räumlich zueinander angeordnet sind.

[0035] Es ist zu bemerken, dass die Öffnung, welche als Einstrahlbereich 5 dient, auch um einiges breiter ausgeführt sein kann.

[0036] Fig. 4 ist eine schematische Schnittdarstellung, wobei zusätzlich zu den Elementen aus Fig. 2 weitere Elemente der gesamten Formgebungsmaschine schematisch dargestellt sind. Das Material - in diesem Fall ein Barren 8 aus Metall - wird in der erfindungsgemäßen Anordnung geschmolzen. Mittels eines Stempels 9 wird das geschmolzene Material in die formgebende Kavität 4 gedrückt. In dieser härtet das Material zumindest teilweise kristallin aus.

[0037] Fig. 5 ist eine Draufsicht auf die Anordnung aus Fig. 1. Dabei ist die Induktionsspule 3 der Übersichtlichkeit halber nicht dargestellt. In der Draufsicht ist der Körper 6 über dem Schmelzgefäß 2 zu erkennen. Strichliert angedeutet ist der Einstrahlbereich 5 des Schmelzgefäßes 2. Wie zu erkennen ist, überlappt der Körper 6 den Einstrahlbereich 5 vollständig in Richtung der Einstrahlung. Zumindest ein Teil des technischen Effekts kann aber auch erzielt werden, wenn der Körper 6 den Einstrahlbereich 5 nicht vollständig sondern nur teilweise überlappt. Die Richtung, aus der die Überlappung betrachtet wird, kann vorzugsweise eine Richtung sein, in welcher die Einstrahlung des elektromagnetischen Feldes durch den Einstrahlbereich 5 geschieht.

Patentansprüche

1. Formgebungsmaschine mit einem Schmelzgefäß (2), einer am Schmelzgefäß (2) angeordneten Induktionsspule (3) zum induktiven Erhitzen, insbesondere Schmelzen, eines Materials, sowie einer formgebenden Kavität (4), wobei das Schmelzgefäß (2) zumindest einen für ein elektromagnetisches Feld im Wesentlichen durchlässigen Einstrahlbereich (5) aufweist und die Formgebungsmaschine dazu ausgebildet ist, das Material in der Kavität (4) so zu kühlen, dass sich ein im Wesentlichen kristalliner Festkörper bildet, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Einstrahlbereich (5) durch zumindest eine Öffnung im Schmelzgefäß (2) gebildet ist und dass den Einstrahlbereich (5) überlappend ein Körper (6) mit einer höheren magnetischen Permeabilität als das Schmelzgefäß (2) angeordnet ist und die Induktionsspule (3) zwischen dem Körper (6) und dem Einstrahlbereich (5) angeordnet ist.
2. Formgebungsmaschine nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass sich der Körper (6) im Wesentlichen parallel zu einer Längsachse (X) der Induktionsspule (3) erstreckt.
3. Formgebungsmaschine nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Körper (6) eine Längserstreckung aufweist, welche im Wesentlichen einer Längserstreckung entlang der Längsachse (X) der Induktionsspule (3) entspricht oder größer ist.
4. Formgebungsmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Körper (6) als Joch - vorzugsweise mit einem zum Schmelzgefäß (2) weisenden U-Profil - ausgebildet ist.
5. Formgebungsmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Körper (6) eine geringere elektrische Leitfähigkeit als die Induktionsspule (3) aufweist.
6. Formgebungsmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Körper (6) aus einem Ferritmaterial, insbesondere einem weichmagnetischen Ferritmaterial, gefertigt ist.
7. Formgebungsmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Material ein Metall ist.
8. Formgebungsmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Schmelzgefäß (2) im Wesentlichen zylindrisch ist.
9. Formgebungsmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass die zumindest eine Öffnung ein Langloch aufweist.
10. Formgebungsmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass zumindest eine Leiterschleife der Induktionsspule (3) das Schmelzgefäß (2) umgibt, wobei vorzugsweise im Wesentlichen alle Leiterschleifen der Induktionsspule (3) das Schmelzgefäß (2) umgeben.
11. Formgebungsmaschine nach Anspruch 8 und Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Induktionsspule (3) und das Schmelzgefäß (2) im Wesentlichen konzentrisch angeordnet sind.
12. Verfahren zum induktiven Erhitzen, insbesondere Schmelzen, und kristallinen Aushärten eines Materials, wobei
 - ein Schmelzgefäß (2) mit einem für ein elektromagnetisches Feld im Wesentlichen durchlässigen Einstrahlbereich (5) bereitgestellt wird,
 - das Material im Schmelzgefäß (2) angeordnet und mittels einer Induktionsspule (3) induktiv erhitzt wird,
 - das Material in einer formgebenden Kavität (4) so gekühlt wird, dass sich ein im Wesentlichen kristalliner Festkörper bildet,

- **dadurch gekennzeichnet**, dass als Einstrahlbereich (5) zumindest eine Öffnung im Schmelzgefäß (2) verwendet wird und dass ein den Einstrahlbereich (5) überlappend angeordneter Körper (6) mit einer höheren magnetischen Permeabilität als das Schmelzgefäß (2) verwendet wird, wobei die Induktionsspule (3) zwischen dem Körper (6) und dem Einstrahlbereich (5) angeordnet ist.
13. Verfahren nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Material nach dem Erhitzen, insbesondere Schmelzen, und vor dem Aushärten in die Kavität (4) transportiert wird.
14. Verfahren nach Anspruch 12 oder 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Material in Form eines, vorzugsweise zylindrischen, Barrens bereitgestellt wird.
15. Verwendung
- einer Anordnung aus einem Schmelzgefäß (2) und einer am Schmelzgefäß (2) angeordneten Induktionsspule (3), wobei
 - das Schmelzgefäß (2) zumindest einen für ein elektromagnetisches Feld im Wesentlichen durchlässigen Einstrahlbereich (5) aufweist, welcher Einstrahlbereich (5) durch zumindest eine Öffnung im Schmelzgefäß (2) gebildet ist,
 - den Einstrahlbereich (5) überlappend ein Körper (6) mit einer höheren magnetischen Permeabilität als das Schmelzgefäß (2) angeordnet ist und
 - die Induktionsspule (3) zwischen dem Körper (6) und dem Einstrahlbereich (5) angeordnet ist,
- zum induktiven Erhitzen, insbesondere Schmelzen, und im Wesentlichen kristallinen Aushärten eines Materials.

Hierzu 2 Blatt Zeichnungen

Fig. 1

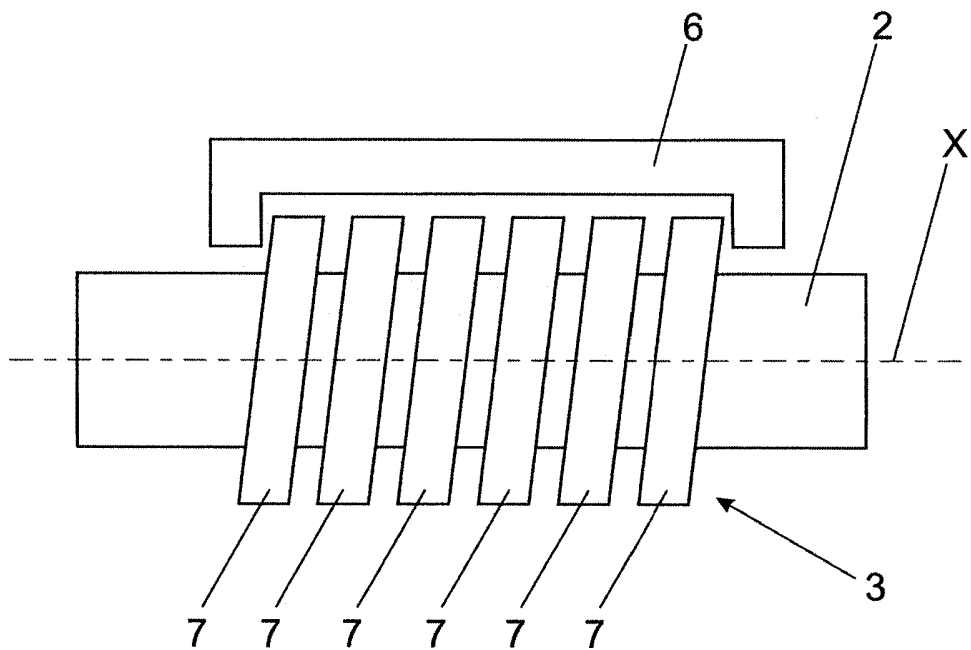


Fig. 2

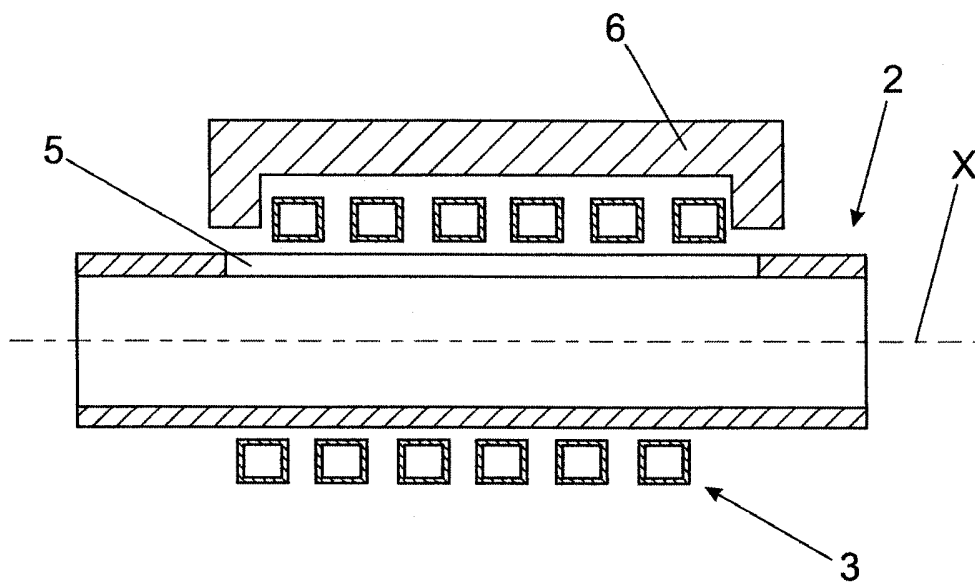


Fig. 3

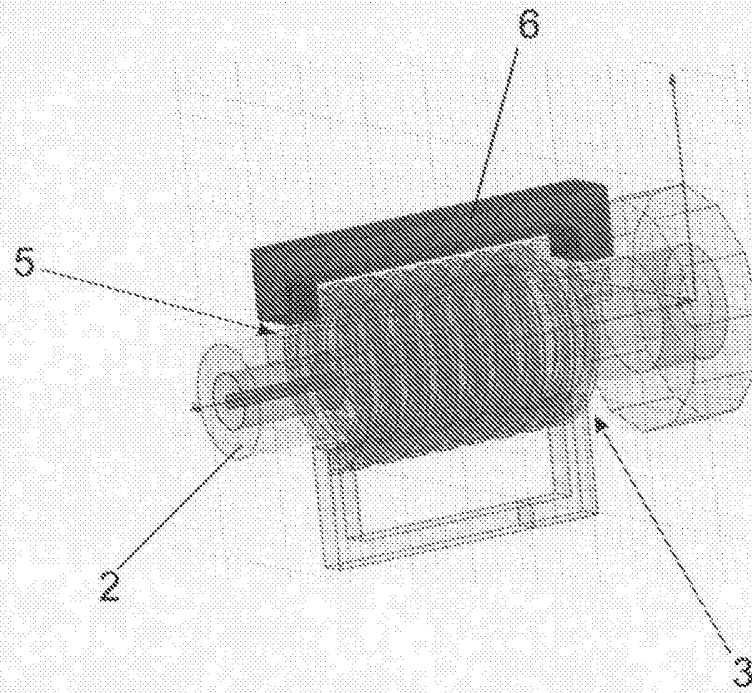


Fig. 4

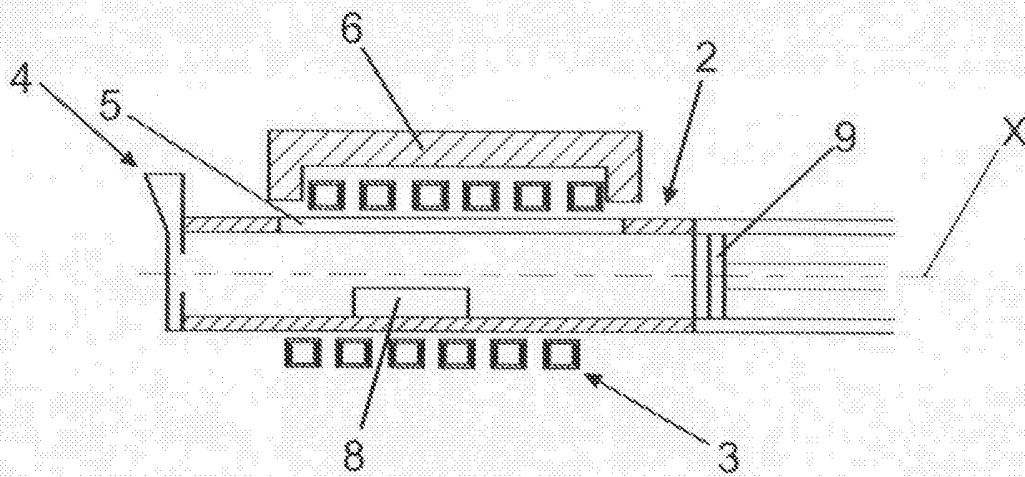


Fig. 5

