

(12)

Patentschrift

(21) Anmeldenummer: A 50061/2018
(22) Anmeldetag: 24.01.2018
(45) Veröffentlicht am: 15.08.2021

(51) Int. Cl.: **H01F 1/12** (2006.01)
H01F 1/20 (2006.01)
B22F 3/12 (2006.01)
C21D 8/12 (2006.01)
H01F 41/02 (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:
WO 2011101276 A1
DE 102015206326 A1
EP 1231003 A2

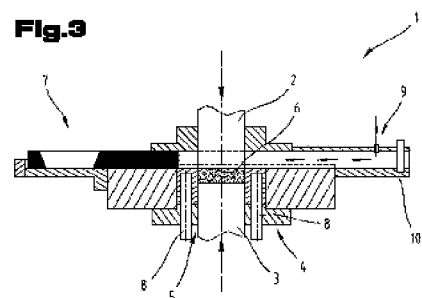
(73) Patentinhaber:
Miba Sinter Austria GmbH
4663 Laakirchen (AT)

(72) Erfinder:
Sandner Christian Dipl.Ing.
4810 Gmunden (AT)
Danninger Herbert Univ.-Prof. Dr.
1230 Wien (AT)
Dlapka Magdalena Dipl.Ing. Dr.
4840 Vöcklabruck (AT)
Gierl-Mayer Christian Dipl.Ing. Dr.
1230 Wien (AT)
Hellein Robert Dipl.Ing. Dr.
4810 Gmunden (AT)
Ouda Kevin Dipl.Ing.
7222 Rohrbach (AT)

(74) Vertreter:
Anwälte Burger und Partner Rechtsanwalt
GmbH
4580 Windischgarsten (AT)

(54) Verfahren zum Herstellen eines Bauteils mit weichmagnetischen Eigenschaften

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Herstellen eines Bauteils mit weichmagnetischen Eigenschaften aus einem SMC-Pulver umfassend die Schritte Einfüllen des SMC-Pulvers in eine Pulverpresse (1), Pressen des SMC-Pulvers zum Bauteil, Entfernen des Bauteils aus der Pulverpresse (1), gegebenenfalls Nachbearbeiten des Bauteils. Das Pressen des SMC-Pulvers zum Bauteil wird bei einer Temperatur zwischen 300 °C und 650 °C durchgeführt.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Herstellen eines Bauteils mit weichmagnetischen Eigenschaften aus einem SMC-Pulver umfassend die Schritte: Einfüllen des SMC-Pulvers in eine Pulverpresse, Pressen des SMC-Pulvers zum Bauteil, Entfernen des Bauteils aus der Pulverpresse, gegebenenfalls Nachbearbeiten des Bauteils.

[0002] SMC-Pulver (Soft Magnetic Composites) sind seit langem bekannt. Es handelt sich um Pulver aus weichmagnetischem Material, deren Oberfläche mit einer elektrisch isolierenden Schicht überzogen ist. Diese Pulver werden durch Pressen zu weichmagnetischen Bauteilen konsolidiert. Aufgrund der zunehmenden Bedeutung der Elektromobilität werden SMC-Pulver mittlerweile zur Herstellung von Elektromotorkomponenten eingesetzt, da damit zum Unterschied von herkömmlichen laminierten Blechen ein dreidimensionaler wechselnder magnetischer Fluss verlustarm möglich ist. Damit wird es möglich Fahrzeuge zu bauen, die bei gleicher Leistung leichter sind oder die bei gleichem Gewicht des Antriebes wie bislang eine höhere Leistung zur Verfügung stellen.

[0003] Da bei SMC-Bauteilen hohe Dichten gefordert sind, werden beim Pressen der SMC-Pulver hohe Pressdrücke benötigt. Die dadurch beim Pressvorgang ins Material eingebrachten Spannungen und Versetzungen wirken sich negativ auf die magnetischen Eigenschaften des Bauteils aus, beispielsweise durch Hystereseverluste. Aufgrund dessen wird nach dem Pressen üblicherweise eine Wärmebehandlung durchgeführt, wie dies beispielsweise in Absatz [0016] der EP 1 620 932 B1 beschrieben ist. Durch die Wärmebehandlung werden die beim Pressen eingebrachten Spannungen in möglichst hohem Maß relaxiert, wodurch Ummagnetisierungsverluste verringert werden können.

[0004] Die WO 2011/101276 A1 beschreibt eine ferromagnetische Pulverzusammensetzung, umfassend weichmagnetische Kernteilchen auf Eisenbasis sowie ein Verfahren zu deren Verarbeitung. Das Verfahren zur Herstellung von weichmagnetischen Verbundmaterialien, umfasst die Schritte: a) uniaxiales Verdichten der Pulverzusammensetzung in einer Pressform bei einem Verdichtungsdruck von mindestens etwa 600 MPa; b) gegebenenfalls Vorwärmen der Pressform; c) gegebenenfalls Vorheizen des Pulvers vor dem Verdichten auf 25 bis 100 ° C; d) Entfernen des erhaltenen Grünkörpers aus der Pressform; und gegebenenfalls e) Wärmebehandlung des Körpers bei einer Temperatur zwischen 550 und 750 ° C im Vakuum, nicht reduzierenden, inerten oder in schwach oxidierenden Atmosphären.

[0005] Die DE 10 2015 206 326 A1 beschreibt ein Verfahren zum Herstellen eines weichmagnetischen Verbundwerkstoffs mit den Schritten: A) Aufschmelzen eines massiv-metallischen Glases; B) Abkühlen des massiv-metallischen Glases auf eine Temperatur, wobei sich die Temperatur oberhalb einer Glastemperatur und unterhalb einer Kristallisationstemperatur befindet; C) Mischen des massiv-metallischen Glases mit einer Vielzahl von kristallinen Reineisenbasispartikeln, wobei eine Schicht aus dem massiv-metallischen Glases auf der Vielzahl von kristallinen Reineisenbasispartikeln gebildet wird; Abkühlen des im Schritt C) entstandenen Gemisches. Es kann vorgesehen sein, dass das Gemisch vor dem Schritt D) in eine vorbestimmte Form gegossen, injiziert oder gepresst wird.

[0006] Aus der EP 1 231 003 A2 ist ein Verfahren zur Herstellung eines Formteils aus einem weichmagnetischen Verbundwerkstoff mit den Verfahrensschritten bekannt: a.) Bereitstellen einer Ausgangsmischung mit einem Eisenpulver und einem Presshilfsmittel, b.) Verpressen der Ausgangsmischung zu einem Formteil und c.) Tempern des Formteils, in einem Gemisch aus einem Inertgas und Sauerstoff. Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein einfacheres Verfahren zur Herstellung von SMC-Bauteilen anzugeben.

[0007] Die Aufgabe der Erfindung wird bei dem eingangs genannten Verfahren dadurch gelöst, dass das Pressen des SMC-Pulvers zum Bauteil bei einer Temperatur zwischen 300 °C und 650 °C durchgeführt wird.

[0008] Mit diesem Verfahren wird erreicht, dass durch die verringerte Streckgrenze des SMC-

Pulvers bei diesen hohen Temperaturen geringere Spannungen ins Material eingebracht werden. Dies ermöglicht, dass eine zusätzliche Wärmebehandlung komplett eingespart bzw. diese bei weit niedrigeren Temperaturen und/oder mit kürzeren Haltezeiten durchgeführt werden kann. Zusätzlich kann durch die bessere Umformbarkeit des SMC-Pulvers bei der Presstemperatur eine höhere Dichte im SMC-Bauteil erreicht werden. Dies wiederum verbessert dichteabhängige magnetische Eigenschaften, wie Sättigung, Remanenz und Permeabilität, des hergestellten weichmagnetischen Bauteils.

[0009] Nach einer Ausführungsvariante des Verfahrens kann vorgesehen werden, dass die Temperatur ausgewählt wird aus einem Bereich von 400 °C bis 650 °C. Es können damit die voranstehend genannten Effekte weiter verbessert werden.

[0010] Nach einer anderen Ausführungsvariante des Verfahrens kann eine fakultative Wärmebehandlung des Bauteils unmittelbar nach der Entnahme des Bauteils aus der Pulverpresse durchgeführt werden. Das Bauteil kann damit bei Bedarf weiter relaxiert werden, obgleich dies nach der Erfindung nicht zwingend notwendig ist, wie dies voranstehend bereits ausgeführt wurde.

[0011] Von Vorteil ist es auch, wenn gemäß einer anderen Verfahrensvariante ein SMC- Pulver verwendet wird, das eine durchschnittliche Partikelgröße von 10 µm bis 300 µm aufweist, da damit die Durchwärmung der Pulverpartikel und in der Folge die voranstehenden Effekte weiter verbessert werden können.

[0012] Zur Verbesserung des Füllens der Pulverpresse kann weiter vorgesehen sein, dass das SMC-Pulver zumindest teilweise agglomeriert eingesetzt wird.

[0013] Zur weiteren Verbesserung dieses Effektes können die Agglomerate eine maximale Größe zwischen 60 µm und 600 µm aufweisen.

[0014] Es kann aber auch vorgesehen sein, dass das SMC-Pulver vorgewärmt wird, bevor es in die Pulverpresse eingefüllt wird, wodurch die Taktzeit der Herstellung der weichmagnetischen Bauteile reduziert werden kann. Es ist damit auch möglich, Temperaturschwankungen in der Presse, die durch das Einbringen von kaltem Pulver verursacht werden, zu reduzieren, wodurch die Eigenschaften der weichmagnetischen Bauteile weiter verbessert werden können.

[0015] Das Pressen des SMC-Pulvers zum Bauteil kann nach einer weiteren Verfahrensvariante unter Inertgas durchgeführt werden, um die weichmagnetischen Eigenschaften des SMC-Bauteils durch den Ausschluss von Sauerstoff, Kohlenstoff, etc., weiter zu verbessern.

[0016] Zum besseren Verständnis der Erfindung wird diese anhand der nachfolgenden Figuren näher erläutert.

[0017] Es zeigen jeweils in stark vereinfachter, schematischer Darstellung:

[0018] Fig. 1 einen Ausschnitt aus einer Pulverpresse in einer ersten Stellung;

[0019] Fig. 2 einen Ausschnitt aus der Pulverpresse nach Fig. 1 in einer zweiten Stellung;

[0020] Fig. 3 einen Ausschnitt aus der Pulverpresse nach Fig. 1 in einer dritten Stellung.

[0021] Einführend sei festgehalten, dass in den unterschiedlich beschriebenen Ausführungsvarianten gleiche Teile mit gleichen Bezugszeichen bzw. gleichen Bauteilbezeichnungen versehen werden, wobei die in der gesamten Beschreibung enthaltenen Offenbarungen sinngemäß auf gleiche Teile mit gleichen Bezugszeichen bzw. gleichen Bauteilbezeichnungen übertragen werden können. Auch sind die in der Beschreibung gewählten Lageangaben, wie z.B. oben, unten, seitlich usw. auf die unmittelbar beschriebene sowie dargestellte Figur bezogen und sind diese Lageangaben bei einer Lageänderung sinngemäß auf die neue Lage zu übertragen.

[0022] In den Fig. 1 bis 3 ist eine Pulverpresse 1 ausschnittsweise in verschiedenen Verfahrensstellungen dargestellt. Die Pulverpresse 1 umfasst einen Oberstempel 2, einen Unterstempel 3, eine (geteilte) Matrizze 4, die eine Ausnehmung 5 zur Aufnahme und zum Verpressen eines Pulvers 6 aufweist. Der Ober- und der Unterstempel 2, 3 tauchen zumindest beim Verpressen des Pulvers 6 ebenfalls in diese Ausnehmung 5 ein. Diese gesamte Vorrichtung ist noch in einem

Gestell gehalten, das aber nicht dargestellt ist.

[0023] Da ein derartiger Aufbau eine Pulverpresse 1 an sich bekannt ist, wird zu weiteren Einzelheiten dazu auf den einschlägigen Stand der Technik verwiesen.

[0024] Die Pulverpresse 1 wird zur Durchführung eines Verfahrens zur Herstellung eines Bauteils mit weichmagnetischen Eigenschaften verwendet. Dazu wird als Pulver 6 ein SMC-Pulver (Soft Magnetic Composite) eingesetzt.

[0025] Das SMC-Pulver weist Partikel auf, die einen Kern umfassen, der von einer Isolierschicht oder mehreren Isolierschichten umgeben ist, bzw. besteht aus dem Kern und der zumindest einen Isolierschicht. Gegebenenfalls kann außen auf der Isolierschicht noch eine Binderschicht aufgebracht sein, mit der die einzelnen Partikel miteinander verbunden werden können.

[0026] Der Kern kann ein Reineisenpulver aufweisen bzw. daraus bestehen. Es sind aber auch andere magnetisierbare Werkstoffe bzw. Legierungen als Kern einsetzbar, wie z.B. Eisenlegierungen mit Si und/oder Ni und/oder P.

[0027] Dieser Kern ist vollständig von der zumindest einen Isolierschicht umgeben. Die zumindest eine Isolierschicht kann organischer, z.B. ein Silikonlack, oder metallorganischer oder anorganischer Natur sein, z.B. eine Oxidschicht, eine Silikatschicht, eine Phosphatschicht. Im Fall von mehreren Isolierschichten können diese auch aus unterschiedlichen Werkstoffen bestehen, beispielsweise ausgewählt aus den genannten Werkstoffen.

[0028] Die Isolierschicht kann bzw. die Isolierschichten können eine mittlere Schichtdicke (arithmetisches Mittel aus zumindest zehn Einzelwerten) zwischen 0,01 µm und 800 µm aufweisen.

[0029] Die gegebenenfalls vorhandene Binderschicht kann eine Polymerschicht sein, z.B. PTFE, Wachs, etc.

[0030] Prinzipiell ist dieser Aufbau von SMC-Pulvern ebenfalls aus dem Stand der Technik bekannt, sodass sich weitere Ausführungen dazu erübrigen.

[0031] Vorzugsweise wird aber nach einer Ausführungsvariante ein SMC-Pulver verwendet, das eine durchschnittliche Partikelgröße von 10 µm bis 300 µm, insbesondere zwischen 40 µm bis 260 µm, aufweist. Es können auch Pulver mit mehr als 300 µm Partikelgröße eingesetzt werden. Zudem kann auch ein zumindest teilweise agglomeriertes SMC-Pulver eingesetzt werden. Die Agglomeratgröße kann zwischen 60 µm und 600 µm betragen.

[0032] Das SMC-Pulver, das gegebenenfalls vorgemischt werden kann, wird zum Verpressen in die Ausnehmung 5 der Matrize 4, die zusammen mit dem Unterstempel 3 einen Formhohlraum der Pulverpresse 1 bildet, eingefüllt. Dazu kann das SMC-Pulver einfach von oben in den offenen Formhohlraum eingefüllt werden.

[0033] In der bevorzugten Ausführungsvariante des Verfahrens wird allerdings ein Füllschuh 7 verwendet, der die Menge an SMC-Pulver fasst, die für einen Pressvorgang benötigt wird. Der Füllschuh 7 kann zudem (konisch) sich verjüngend ausgebildet sein, damit das SMC-Pulver leichter in den Formhohlraum hineinrutscht.

[0034] Der Füllschuh 7 steht in der Einfüllstellung für das SMC-Pulver bevorzugt seitlich neben dem Formhohlraum und kann nach dem Befüllen mit dem SMC-Pulver durch eine Linearbewegung und/oder eine Drehbewegung in eine Stellung über den Formhohlraum verbracht werden, sodass das SMC-Pulver in den Formhohlraum mittels Schwerkraft hineinrutscht. Diese Stellung ist in Fig. 2 dargestellt.

[0035] Danach wird der Füllschuh 7 wieder in seine Ausgangsstellung verbracht und das SMC-Pulver wird durch eine Aufwärtsbewegung des Unterstempels 3 und/oder eine Abwärtsbewegung des Oberstempels 3 uniaxial oder koaxial verpresst, wie dies in Fig. 3 dargestellt ist.

[0036] Der Pressdruck beim Verpressen kann insbesondere zwischen 200 MPa und 1500 MPa betragen.

[0037] Durch das Verpressen des SMC-Pulvers entsteht aus diesem der Bauteil, der in weiterer

Folge aus der Pulverpresse 1 entfernt wird, insbesondere mit dem Unterstempel 3 ausgestoßen wird.

[0038] Gegebenenfalls kann das fertige Bauteil noch nachbearbeitet werden, beispielsweise kalibriert oder nachverdichtet werden. Es kann gegebenenfalls auch eine nachträgliche Wärmebehandlung erfolgen, wenngleich dies nicht zwingend erforderlich ist, da das Bauteil bereits in der Pulverpresse 1 eine Wärmebehandlung unterzogen wird. Im Rahmen des Verfahrens ist dazu vorgesehen, dass das Pressen des SMC-Pulvers zum Bauteil bei einer Temperatur zwischen 300 °C und 650 °C, insbesondere bei einer Temperatur zwischen 400 °C und 650 °C, durchgeführt wird.

[0039] Die Pulverpresse 1, insbesondere die Matrize 4, weist dazu zumindest eine Heizeinrichtung 8 auf.

[0040] Die Heizeinrichtung 8 kann zumindest einen, vorzugsweise mehrere, Heizelemente, insbesondere stabförmige Heizelemente, aufweisen, die in entsprechende Ausnehmungen in der Matrize 4 eingesteckt sind, wie dies aus den Fig. ersichtlich ist.

[0041] Die Heizung selbst kann beispielsweise elektrisch über Widerstandsheizelemente erfolgen. Es sind aber auch andere Heizungen einsetzbar, wie beispielsweise eine Heizung mit flüssigen Medien.

[0042] Über die Heizeinrichtung und die gute Wärmeleitfähigkeit des bevorzugt metallischen Materials der Matrize, lässt sich der Formhohlraum auf die gewünschte Temperatur vorwärmen bzw. erwärmen, und damit auch das SMC-Pulver. Bevorzugt ist die Matrize geringfügig wärmer als die voranstehend mit 300 °C bis 650 °C angegebene Verfahrenstemperatur, insbesondere um 10 °C bis 40 °C wärmer.

[0043] Bevorzugt erfolgt also die Wärmebehandlung des Bauteils unmittelbar in der Pulverpresse 1. Es ist aber möglich, dass zusätzlich eine nachträgliche Wärmebehandlung (wie diese aus dem Stand der Technik bekannt ist) durchgeführt wird. Diese erfolgt aber bei einer Temperatur, die deutlich geringer ist, als bei Wärmebehandlungen die derzeit durchgeführt werden und/oder mit einer Haltezeit bei der Temperatur, die kleiner ist, als derzeit im Stand der Technik üblich

[0044] Es ist weiter möglich, dass das SMC-Pulver vorgewärmt wird bevor es in die Pulverpresse eingefüllt wird. Beispielsweise kann es auf eine Temperatur zwischen 50 °C und 200 °C vorgewärmt werden.

[0045] Es ist nach einer Ausführungsvariante bevorzugt vorgesehen, dass das Pressen des SMC-Pulvers zum Bauteil unter Inertgas durchgeführt wird. Die Pulverpresse 1 kann dazu einen Inertgasanschluss 9, beispielsweise einen Anschluss für Stickstoff oder Argon, aufweisen. Bevorzugt ist dieser Inertgasanschluss 9 im Verlauf einer Füllschuhführung 10 angeordnet.

[0046] Die Zuführung des Inertgases kann aber auch über einen Durchbruch im Oberstempel 2 erfolgen. Das Inertgas kann damit auch besser zum Einbringen (Einblasen) des SMC-Pulvers in den Formhohlraum verwendet werden.

[0047] Die Ausführungsbeispiele beschreiben mögliche Ausführungsvarianten, wobei auch Kombinationen der einzelnen Ausführungsvarianten untereinander möglich sind.

[0048] Der Ordnung halber sei abschließend darauf hingewiesen, dass zum besseren Verständnis des Aufbaus der Pulverpresse 1 diese nicht zwingenderweise maßstäblich dargestellt ist.

BEZUGSZEICHENLISTE

- | | |
|----|-------------------|
| 1 | Pulverpresse |
| 2 | Oberstempel |
| 3 | Unterstempel |
| 4 | Matrize |
| 5 | Ausnehmung |
| 6 | Sinterpulver |
| 7 | Füllschuh |
| 8 | Heizeinrichtung |
| 9 | Inertgasanschluss |
| 10 | Füllschuhführung |

Patentansprüche

1. Verfahren zum Herstellen eines Bauteils mit weichmagnetischen Eigenschaften aus einem SMC-Pulver umfassend die Schritte:
 - Einfüllen des SMC-Pulvers in eine Pulverpresse (1),
 - Pressen des SMC-Pulvers zum Bauteil,
 - Entfernen des Bauteils aus der Pulverpresse (1),
 - gegebenenfalls Nachbearbeiten des Bauteils,**dadurch gekennzeichnet**, dass das Pressen des SMC-Pulvers zum Bauteil bei einer Temperatur zwischen 300 °C und 650 °C durchgeführt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Pressen bei einer Temperatur ausgewählt aus einem Bereich von 400 °C bis 650 °C durchgeführt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine zusätzliche Wärmebehandlung des Bauteils unmittelbar nach der Entnahme des Bauteils aus der Pulverpresse (1) durchgeführt wird.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein SMC-Pulver verwendet wird, das eine durchschnittliche Partikelgröße von 10 µm bis 300 µm aufweist.
5. Verfahren nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass das SMC- Pulver zumindest teilweise agglomeriert eingesetzt wird.
6. Verfahren nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Agglomerate eine Größe zwischen 60 µm und 600 µm aufweisen.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass das SMC-Pulver vorgewärmt wird bevor es in die Pulverpresse (1) eingefüllt wird.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Pressen des SMC-Pulvers zum Bauteil unter Inertgas durchgeführt wird.

Hierzu 2 Blatt Zeichnungen

Fig.1

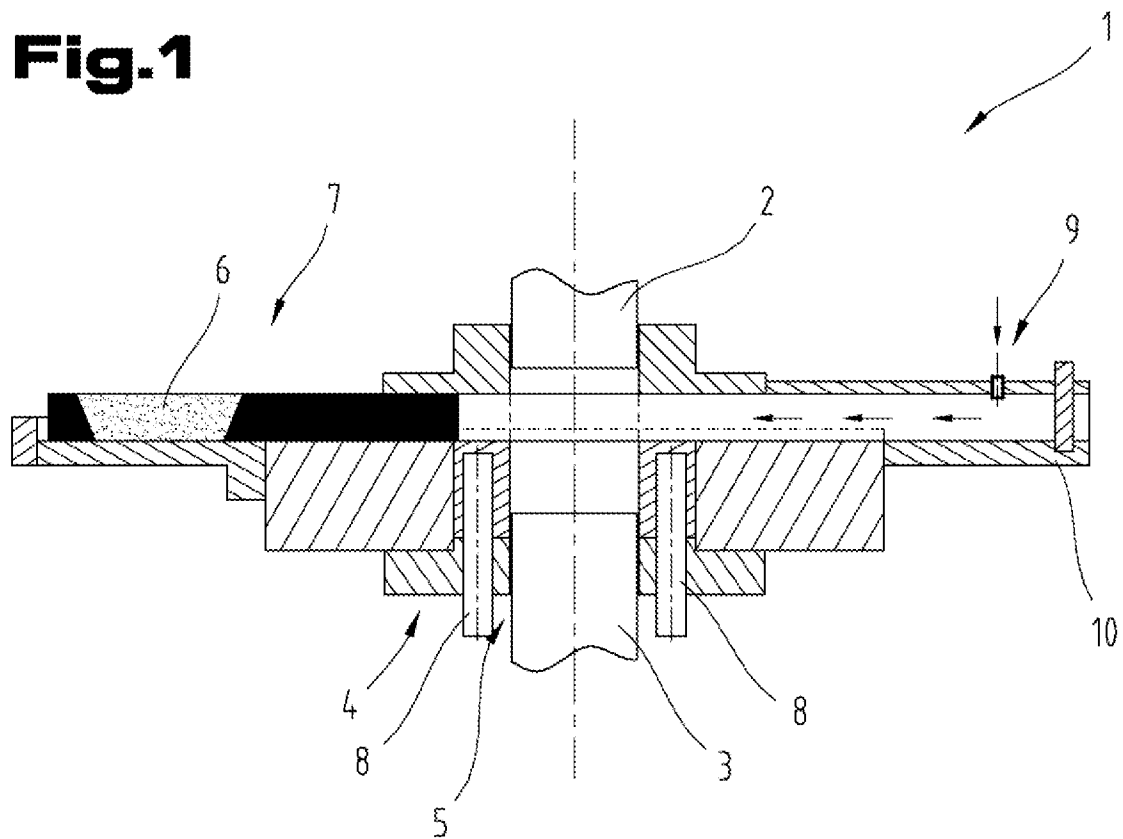


Fig.2

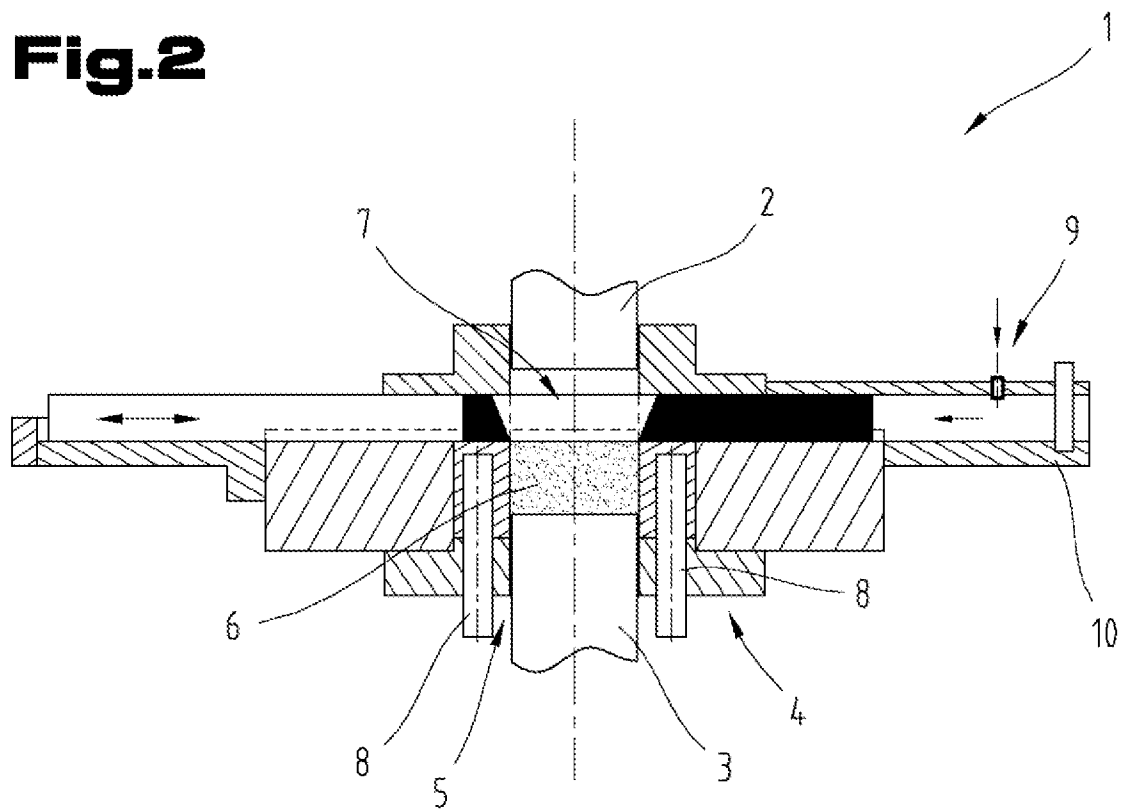


Fig.3

