



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
29.03.2017 Patentblatt 2017/13

(51) Int Cl.:
H01F 41/02 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **16001814.9**

(22) Anmeldetag: **18.08.2016**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA ME
Benannte Validierungsstaaten:
MA MD

(71) Anmelder: **WILO SE**
44263 Dortmund (DE)

(72) Erfinder: **Krengel, Martin**
44269 Dortmund (DE)

(74) Vertreter: **Cohausz Hannig Borkowski Wißgott Patent- und Rechtsanwaltskanzlei**
Schumannstrasse 97-99
40237 Düsseldorf (DE)

(30) Priorität: **25.09.2015 DE 102015012412**

(54) **VORRICHTUNG UND VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG RINGFÖRMIGER PERMANENTMAGNETE**

(57) Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung (1) und ein Verfahren zur Herstellung ringförmiger Permanentmagnete durch elektrisches Entladungssintern. Die Vorrichtung, umfasst mehrere, eine ringförmige Kavität (11) zur Aufnahme eines magnetisierbaren metallischen Pulvers (2) definierende Werkzeugteile (3, 4, 5, 6) und einen steuerbaren elektrischen Impulsstromgenerator (8, 9), wobei zumindest zwei der Werkzeugteile (3, 4, 5, 6) Elektroden bilden und mit dem Impulsstromgenerator (8, 9) elektrisch verbunden sind. Die Werkzeugteile (3, 4, 5, 6) umfassen zumindest eine die Kavität (11) in radialer Richtung nach außen begrenzende Außenform (3), einen die Kavität (11) in radialer Richtung nach innen begrenzenden, coaxial zur Außenform (3) angeordneten Kern (6) sowie zwei die Kavität (11) in axialer Richtung begrenzende, relativ zueinander axialbewegliche Kompressionsmittel (4, 5), wobei zumindest eines der Kompressionsmittel (4, 5) in Richtung der Kavität (11) kraftbeaufschlagt oder kraftbeaufschlagbar ist. Außenform (3) und Kern (6) bilden die Elektroden. Die Kompressionsmittel (4, 5) isolieren die Elektroden elektrisch voneinander, so dass der Stromfluss senkrecht zur Kraft liegt. Auf diese Weise können homogen verdichtete Ringmagnete beliebiger Länge auf einfache Weise und in kurzer Zeit hergestellt werden.

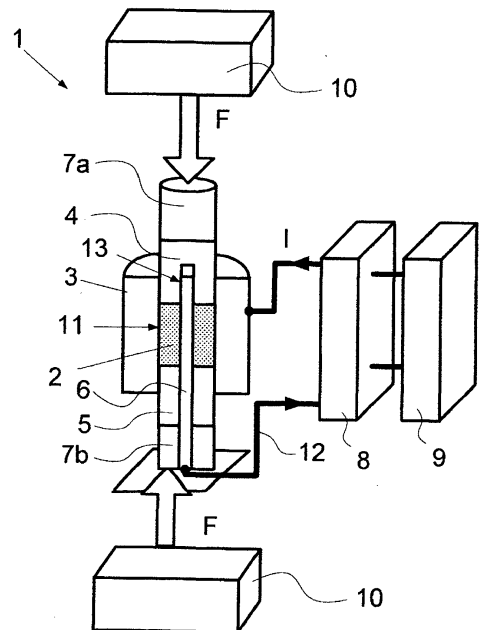


Fig. 2

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Herstellung ringförmiger Permanentmagnete durch elektrisches Entladungssintern, umfassend mehrere, eine ringförmige Kavität zur Aufnahme eines magnetisierbaren metallischen Pulvers definierende Werkzeugteile und einen steuerbaren elektrischen Impulsstromgenerator, wobei zumindest zwei der Werkzeugteile Elektroden bilden und mit dem Impulsstromgenerator elektrisch verbunden sind, und die Werkzeugteile zumindest eine die Kavität in radialer Richtung nach außen begrenzende Außenform, sowie zwei die Kavität in axialer Richtung begrenzende, relativ zueinander axialbewegliche Kompressionsmittel umfassen, wobei zumindest eines der Kompressionsmittel in Richtung der Kavität kraftbeaufschlagt oder kraftbeaufschlagbar ist. Des Weiteren betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Herstellung ringförmiger Permanentmagnete durch elektrisches Entladungssintern, insbesondere unter Verwendung der vorgenannten Vorrichtung, bei dem ein magnetisierbares metallisches Pulver in die Kavität eingebracht und einem zwischen den Elektroden fließenden elektrischen Impulsstrom derart ausgesetzt wird, dass das Pulver zumindest teilweise aufgeschmolzen wird, wobei gleichzeitig eine Kraft in Richtung der Kavität auf das Pulver ausgeübt wird, um das Pulver im Schmelzzustand zu verdichten.

[0002] Ringförmige Permanentmagnete werden beispielsweise für Rotoren moderner permanenterregter Elektromotoren verwendet. Ihre Herstellung ist vergleichsweise aufwändig, langdauernd und teuer. Die Herstellung erfolgt in der Regel durch herkömmliches Sintern von Magnetpulver, wobei ein Aufheizen des Pulvers unter mechanischem Druck auf konventionelle Art, insbesondere durch elektrische Heizelemente, die in einer das Pulver enthaltenden Form integriert sind. Das Aufheizen auf Sintertemperatur dauert dadurch vergleichsweise lang. Ferner braucht auch das Abkühlen des gesinterten Werkstücks Zeit.

[0003] Demgegenüber sind Verfahren zur Pulverkompaktierung durch Kurzzeitsintern dem Fachmann als EDS (Electric Discharge Sintering) oder synonym CDS (Capacitor Discharge Sintering) bekannt. Eine diese Verfahren und entsprechende Vorrichtungen zu ihrer Ausführung ausführlich beschreibende Veröffentlichung ist "Outside Mainstream Electronic Database: Review of Studies Conducted in the USSR and Post-Soviet Countries on Electric Current-Assisted Consolidation of Powder Materials", Eugene A. Olevsky, Elena V. Aleksandrova, Alexandra M. Ilyina, Dina V. Dudina, Alexander N. Novoselov, Kirill Y. Pelve and Eugene G. Grigoryev, Materials 2013, 6, Seiten 4375-4440, doi:10.3390/ma6104375. Des Weiteren beschreiben das US-Patent US 3,241,956 das Grundprinzip des EDS. Ein Verfahren zur Anpassung der Druckkraft während der Pulverkompaktierung ist in der europäischen Patentanmeldung EP 2 198 993 A1 beschrieben. Diese Liter-

atur wird hiermit für die Erläuterung der hier beschriebenen Erfindung in Bezug genommen. Auf ausführliche Erläuterung der Technologie wird daher verzichtet.

[0004] Das EDS -Verfahren wird eingesetzt, um eine Verdichtung von Eisenpulver oder einem Pulver aus Hartmetall, beispielsweise Wolframcarbid, durch die impulsartige Entladung einer elektrischen Energie in das Pulver zu erreichen. Eine entsprechende Vorrichtung 1 hierfür nach dem Stand der Technik zeigt Figur 1.

[0005] Die Vorrichtung umfasst mehrere Werkzeugteile 3, 4, 5, die eine zylindrische Kavität 11 begrenzen, sowie einen steuerbaren elektrischen Impulsstromgenerator, der einen Kondensator 9 und einen Impulsstromtransformator 8 aufweist. In Figur 1 befindet sich in der Kavität bereits ein zu verdichtendes, elektrisch leitfähiges Pulver 2. Die Kavität 11 wird in radialer Richtung nach außen durch eine hohlzylindrische Außenform 3 und in axialer Richtung durch zwei Kompressionsmittel 4, 5 begrenzt, die sich zumindest teilweise in axialer Richtung in den die Kavität umfassenden Hohlraum der Außenform formschlüssig hinein erstrecken. Dabei ist zumindest das obere Kompressionsmittel 4 axialbeweglich und wird von einer mechanischen Kraft F beaufschlagt, die beispielsweise von einer Hydraulik 10 erzeugt und über einen Druckbolzen 7a auf das Kompressionsmittel 4 übertragen wird. Dieses überträgt die Druckkraft F wiederum auf das Pulver 2 und wirkt wie ein Stempel. Das Pulver 2 wird dadurch gegen das untere Kompressionsmittel 5 gepresst, welches sich gegen einen weiteren Druckbolzen 7b abstützt und die Druckkraft entsprechend aufnimmt. Die beiden kraftübertragenden bzw. kraftaufnehmenden Kompressionsmittel 4, 5 sind elektrisch leitend ausgeführt und stellen gleichzeitig die Elektroden dar. Der Stromfluss I und die Kraftübertragungsrichtung liegen somit parallel. Allgemein arbeiten Werkzeuge und Stempelanordnungen bei EDS-Anlagen in der Regel mit einem Stromfluss in Pressrichtung.

[0006] Zum Verdichten wird elektrische Energie in dem Kondensator 9 gespeichert und durch den Impulsstromtransformator 8 innerhalb von wenigen Millisekunden in das Pulver 2 entladen. Ein Verlauf der Prozessgrößen Strom, Temperatur und Druck zeigt Figur 2. Sie zeigt den impulsförmigen Gleichstrom bei gleichzeitig konstantem Druck. Ferner zeigt die gestrichelte Linie die Temperatur im Pulver, die während des Stromimpulses auf ein Vielfaches ansteigt. Denn aufgrund des hohen Stroms von ca. 300 kA und des hohen ohmschen Widerstands zwischen den Pulverpartikelkontaktpunkten wird an diesen Kontaktpunkten Joulesche Wärme generiert, die so groß ist, dass die Pulverpartikelkontaktpunkte in eine schmelzflüssige Phase übergehen. Durch die gleichzeitig auf das Pulver ausgeübte Druckkraft wird diese Phase in die Partikelzwischenräume gepresst, wodurch das in den Zwickeln lokalisierte Porenvolumen infiltriert wird. Nach der Abkühlung des prozessierten Pulvers liegt ein dichtes Gefüge vor, das vom technologischen Standpunkt aus verschweißt und nicht gesintert wurde. Gleichwohl spricht die Fachwelt bei diesem Prozess von Sin-

tern. Je nach Aufbau der Kondensatorladeeinheit ist eine vollständige Wiederaufladung der Kondensatoren innerhalb von weniger als 6s gewährleistet. Die schnelle Kondensatoraufladung in Verbindung mit der schnellen Verdichtung erlaubt die Herstellung von bis zu 10 Werkstücken pro Minute. Aus diesem Grund ist das Verfahren besonders im Hinblick auf eine wirtschaftliche Herstellung von pulververdichteten Werkstücken attraktiv.

[0007] Hinsichtlich der Form der so herstellbaren Permanentmagnete ist man jedoch auf dünne oder flache Werkstücke beschränkt, da der Widerstand der Pulvermenge mit ihrer Länge zunimmt. Dadurch nimmt der Strom mit zunehmender Dicke ab. Die Schmelzwirkung des Impulsstroms und der Schmelzgrad an den Pulverpartikelkontaktpunkten ist somit umso kleiner, je größer der Abstand zwischen den den Strom einbringenden Elektroden ist. Die Verschmelzung ist bei langen Ausdehnungen in Pressrichtung unvollständig. So tritt bei dicken Werkstücken der Fall auf, dass die Pulverpartikel in der Mitte der Pulvermenge nicht gut zusammenschmelzen. Die Werkstücke bröckeln vielmehr auseinander. So können nur Permanentmagnete in Gestalt einfacher runder flacher Scheiben oder Quader hergestellt werden. Die im Bau von permanenterregten Elektromotoren für die Rotoren verwendeten ringförmigen Permanentmagnete lassen sich mit dem EDS-Verfahren nach dem Stand der Technik dagegen nicht ohne Weiteres herstellen.

[0008] Es ist Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren und eine Vorrichtung bereitzustellen, das bzw. die die Herstellung ringförmiger Permanentmagnete für Elektromotoren in kürzeren Prozessierzeiträumen ermöglicht.

[0009] Diese Aufgabe wird durch eine Vorrichtung mit den Merkmalen des Anspruchs 1 und durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 8 gelöst. Vorteilhaftige Weiterbildungen sind in den Unteransprüchen angegeben und werden nachfolgend erläutert.

[0010] Erfindungsgemäß wird eine Vorrichtung zur Herstellung ringförmiger Permanentmagnete mittels elektrischem Entladungssintern vorgeschlagen, bei der die das Magnetpulver aufnehmende Kavität in radialer Richtung nach außen durch die Außenform, in radialer Richtung nach innen durch einen sich coaxial zur Außenform erstreckenden Kern sowie in axialer Richtung durch die Kompressionsmittel begrenzt ist, wobei die Außenform und der Kern die Elektroden bilden und die Kompressionsmittel die Elektroden elektrisch voneinander isolieren. Entsprechend wird ein Verfahren vorgeschlagen, bei dem der Impulsstrom innerhalb der Kavität in radialer Richtung zwischen der Außenform und dem Kern fließt, und die Kraft von zumindest einem von zwei die Kavität in axialer Richtung begrenzenden Kompressionsmitteln in axialer Richtung auf das Pulver übertragen wird, wobei die Kompressionsmittel die Außenform und den Kern elektrisch voneinander isolieren.

[0011] Versuche mit diesem Verfahren, respektive dieser Vorrichtung haben gezeigt, dass sich ein Magnetpul-

ver auf dieser Weise verdichten lässt. Bei geeigneter Wahl der Prozessparameter derart, dass die Gesamttemperatur der Pulvermenge 400°C nicht überschreitet, bleiben die magnetischen Eigenschaften des Pulvers erhalten. Eine derartige Vorrichtung sowie ein derartiges Verfahren ermöglichen vor allem die Anwendung des elektrischen Entladungssinterns (EDS) zur Herstellung ringförmiger Permanentmagnete beliebiger axialer Länge, da diese Länge unabhängig vom Abstand der Elektroden zueinander ist. Stromfluss und Kraftfluss wirken rechtwinklig zueinander auf das Magnetpulver. Die Kavität bildet einen Ringraum, der homogen vom Strom durchflossen wird, so dass auch eine homogene Aufschmelzung des Magnetpulvers erreicht wird. Unter einem Magnetpulver versteht der Fachmann ein magnetisierbares metallisches, d.h. elektrische leitendes Pulver, wie es üblicherweise zur Herstellung von Permanentmagneten verwendet wird.

[0012] Wie bereits ausgeführt, sind die herzustellenden Permanentmagnete in ihrer axialen Höhe, und ist in entsprechender Weise die Höhe der Kavität, nicht festgelegt. So kann die Kavität flach ausgebildet sein, d.h. dass ihre radiale Breite größer oder gleich ihrer axialen Länge ist, so dass ringscheibenförmige Permanentmagnete herstellbar sind. Die Kavität kann aber auch höher als breit sein, so dass sie mit steigender Höhe zunehmend deutlich die Form eines Hohlzylinders besitzt.

[0013] Die besondere Stärke der erfindungsgemäßen Vorrichtung sowie des entsprechenden Verfahrens gegenüber dem Stand der Technik gemäß Fig. 1 zeigt sich, wenn das Verhältnis von Länge zur Dicke der herzustellenden Permanentmagnete das Verhältnis 1:1 deutlich überschreitet. Denn im Gegensatz zum Stand der Technik führen Dichteschwankungen über der Höhe nicht zu einer inhomogenen Verdichtung. Vielmehr ist die Verdichtung aufgrund des radialen Stromflusses stets homogen über die axiale Länge. Hierzu sei folgender Hintergrund erläutert.

[0014] Bei der Ausübung einer Druckkraft auf einen Pulverhaufen nimmt diese mit zunehmendem Abstand vom Krafteinleitungsort aufgrund der Reibungsverluste zwischen den Pulverpartikeln ab. Es entsteht ein sogenannter Presskegel, der umso ausgeprägter ist, je höher der Pulverhaufen ist. Somit ist die Dichte des Pulverpresslings über die axiale Länge nicht konstant. Ein axial fließender Strom auf dem Weg von der einen Elektrode zur anderen Elektrode erfährt dann im höher verdichteten Bereich aufgrund der größeren Berührungsfläche der Pulverpartikel einen lokal geringeren Widerstand und im niedriger verdichteten Bereich einen lokal entsprechend höheren Widerstand, so dass in axialer Richtung betrachtet innerhalb des Pulvers keine homogene Wärmeerzeugung vorliegt. Somit sind auch die Schmelzebildung an den Pulverpartikelkontaktpunkten sowie die magnetischen Eigenschaften des Werkstücks nicht homogen. Es kann passieren, dass die Pulverpartikel im höher verdichteten Bereich nicht vollständig verschmelzen.

[0015] Dieses bei hohen Ringwerkstücken auftretende

Phänomen wird bei dem erfindungsgemäßen Verfahren aufgrund des radialen Stromflusses verhindert, weil der Widerstand maßgeblich durch die Länge der Strompfade bestimmt ist und diese Länge bei radial gegenüberliegender Anordnung der Elektroden zur Herstellung hoher Permanentmagnete kleiner ist als bei einem axialen Strompfad nach dem Stand der Technik ist. Das erfindungsgemäße Verfahren eignet sich damit insbesondere, hohe hohlzylindrische Permanentmagnete herzustellen, vorzugsweise eben solche, bei denen die axiale Länge gleich oder größer als die radiale Dicke ist. Entsprechend kann zur Herstellung dieser Permanentmagnete die Kavität eine axiale Länge aufweisen, die größer als der Abstand zwischen dem Kern und der Außenwand ist.

[0016] Da hier die radialen Strompfade kürzer sind als sie nach dem Stand der Technik bei einem Stromfluss in axialer Richtung wären, wirken sich Dichteinhomogenitäten weniger auf die Verschmelzung der Pulverpartikel und damit weniger auf die magnetischen Eigenschaften des Endprodukts aus.

[0017] Die Kontur der ringförmigen Permanentmagnete kann grundsätzlich beliebig sein. Entsprechend ist auch die geometrische Form des die Kavität bildenden Ringraums nicht festgelegt. Dies gilt sowohl für Außenkontur der Permanentmagnete respektive für die dies ausbildende Innenkontur der die Kavität nach außen begrenzenden Außenform, als auch für ihre Innenkontur respektive die dies ausbildende Außenkontur des die Kavität nach innen begrenzenden Kerns.

[0018] So kann die Innenkontur der Außenform im Querschnitt einer kreisrunden, ovalen, quadratischen oder mehreckige Grundform entsprechen. Technisch von besonderer Bedeutung und für die Herstellung von Rotoren für Elektromotoren verwendbar sind jedoch ringförmige Permanentmagnete mit kreisförmiger Außenkontur.

[0019] Ferner kann die Außenkontur des Kerns im Querschnitt einer kreisrunden, ovalen, quadratischen oder mehreckige Grundform entsprechen. Von technisch größter Bedeutung ist hier ebenfalls eine kreisförmige Außenkontur des Kerns, jedoch ist auch eine eckige Außenkontur vorteilhaft, da sie eine Verdrehung bilden kann.

[0020] Vorzugsweise ist der Kern stiftförmig, so dass sich Permanentmagnete in Form eines Hohlprofils herstellen lassen.

[0021] Geeigneterweise weist zumindest eines der Kompressionsmittel eine zentrale Öffnung auf, in die der Kern infolge der Relativbewegung der Kompressionsmittel zueinander einfahrbar ist.

[0022] Von besonderem Vorteil ist es, wenn die Außenform und der Kern stationäre Werkzeugteile sind. Hierdurch lassen sich die Elektroden besser und einfacher kontaktieren. Denn im Gegensatz zum Stand der Technik müssen in diesem Fall keine beweglichen Werkzeugteile elektrisch kontaktiert werden. Während bei der Vorrichtung gemäß Figur 1 die Kompressionsmittel 4, 5 die Elektroden bilden, von denen zumindest eines axial-

beweglich ist, können die nun als Elektroden verwendeten Werkzeugteile Außenform und Kern unbewegliche Werkzeugteile bilden. Dies vereinfacht die elektrische Kontaktierung, weil die elektrische Verbindung zwischen der beweglichen Elektrode und der den Strom vom Impulsstromgenerator zuleitenden Zuführung nicht den mechanischen Ruck aushalten, den das bewegliche Kompressionsmittel infolge des Fließpressens der aufgeschmolzenen Pulverpartikel oder zumindest ihrer Oberfläche in die Partikelzwischenräume erfährt.

[0023] Es sei angemerkt, dass der Begriff "Kompressionsmittel" lediglich eine Beteiligung an der Kompression des Pulvers zum Ausdruck bringt, jedoch nicht impliziert, dass eine Kraft auf das Pulver ausgeübt wird. So kann in einer Ausführungsvariante der Erfindung nur eines der Kompressionsmittel aktiv eine Kraft auf das Pulver ausüben und das andere Kompressionsmittel diese Kraft passiv aufnehmen, so dass nur ein einseitiges Pressen erfolgt.

[0024] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsvariante können jedoch auch beide Kompressionsmittel axialbeweglich und unabhängig voneinander in Richtung der Kavität kraftbeaufschlagt oder kraftbeaufschlagbar sein, d.h. aktiv eine Kraft auf das Pulver ausüben. Das zweiseitige Pressen hat den Vorteil, dass ein höherer Gesamtdruck auf das Pulver wirkt und das Pulver besser verdichtet wird, weil der oben beschriebene Presskegel reduziert wird bzw. zu einem Doppelkegel wird.

[0025] Um die Elektroden gut voneinander zu isolieren und gleichzeitig mechanische Kräfte aufnehmen oder übertragen zu können, können die Kompressionsmittel aus einem keramischen Material bestehen. Unabhängig davon können die Außenform und/ oder der Kern aus Kupfer bestehen.

[0026] Zur Durchführung des Verfahrens kann das Pulver als lockere Pulverschüttung oder als mechanisch vorgepresster Pulverpressling in die Kavität eingebracht werden. In ersterem Fall bewirken die Kompressionsmittel infolge der Kraftausübung auf das Pulver eine mechanische Vorpressung vor dem elektrischen Entladungssintem.

[0027] Mit diesem erfindungsgemäßen Verfahren ist es möglich, Magnete in einem Prozessschritt herzustellen, wobei die Werkstücke nach dem elektrischen Entladungssintem noch magnetisiert werden müssen. Dies kann innerhalb der Vorrichtung oder außerhalb, in einer separaten Vorrichtung erfolgen, in dem die Werkstücke einem starken, entsprechend der gewünschten Magnetisierungsrichtung orientierten magnetischen Feld ausgesetzt werden. Der zweite Ansatz verfolgt das Ziel, mittels EDS zunächst ein Halbzeug herzustellen, das in einem nachfolgenden Prozessschritt durch Warmfließpressen die gewünschten mechanischen und magnetischen Eigenschaften erreicht.

[0028] Weitere Merkmale und Vorteile der Erfindung werden nachfolgend anhand eines Ausführungsbeispiels und der beigefügten Figur 2 beschrieben.

[0029] Figur 2 zeigt eine schematische Darstellung ei-

ner erfindungsgemäßen Vorrichtung 1 zur Herstellung von Permanentmagneten mit einer Ringform. Die Vorrichtung 1 ermöglicht es, Ringmagnete beliebiger axialer Länge unter Anwendung des elektrischen Entladungssinterns herzustellen.

[0030] Hierzu stellt die Vorrichtung 1 eine ringförmige Kavität 11 bereit, die der Aufnahme eines Magnetpulvers 2 dient, welches als lose Pulverschüttung oder als mechanisch vorkomprimierter Pulverpressling in die Kavität 11 eingebracht wird. In Figur 2 ist bereits Magnetpulver 2 in der Kavität 11 vorhanden. Die Kavität wird von vier Werkzeugteilen 3, 4, 5, 6 begrenzt, nämlich in radialer Richtung nach außen durch eine Außenform 3, in radialer Richtung nach innen durch einen Kern 6, sowie in axialer Richtung durch zwei Kompressionsmittel 4, 5.

[0031] Die Außenform 3 hat die Gestalt eines Hohlzylinders, obgleich sie eine beliebige Außenkontur haben kann. Innerhalb der Außenform 3 ist ein zylindrischer Hohlraum gebildet, der die Kavität 11 umfasst. Koaxial zur Außenform 3 erstreckt sich der Kern 6 durch diesen Hohlraum und formt ihn respektive die Kavität 11 somit zu einem Ringraum. Der Kern 6 ist stiftförmig ausgebildet. Der Abstand zwischen Kern und Außenform definiert die Dicke D des herzustellenden Permanentmagneten.

[0032] Jeweils eines der beiden Kompressionsmittel 4, 5 erstreckt sich zumindest teilweise formschlüssig in den Hohlraum hinein und begrenzt diesen somit in axialer Richtung. Der Abstand zwischen diesen Kompressionsmitteln 4, 5 definiert die Höhe bzw. axiale Länge L des herzustellenden Permanentmagneten. Die Kavität besitzt somit eine axiale Länge L, die größer als die Dicke D ist.

[0033] Die Kompressionsmittel 4, 5 sind zylindrisch und haben eine koaxiale Öffnung 13 entweder in Form einer Bohrung über die gesamte axiale Länge wie im Falle des unteren Kompressionsmittels 5 oder in Form eines Sacklochs wie im Falle des oberen Kompressionsmittels 4 ausgeführt ist, um den Kern 6 aufzunehmen. Der Innendurchmesser der Öffnung 13 ist somit an den Außendurchmesser des Kerns 6 angepasst, so dass Kern 6 und Kompressionsmittel 4, 5, formschlüssig ineinander geschoben oder gefahren werden können.

[0034] In der Ausführungsvariante gemäß Figur 2 sind beide Kompressionsmittel 4, 5 axialbeweglich angeordnet. Sie werden unabhängig voneinander in Richtung der Kavität 11 von einer Kraft F beaufschlagt und bilden somit gegen das Pulver 2 drückende Stempel. Die Kraft F wird von jeweils einer Hydraulik 10 erzeugt und über Bolzen 7a, 7b auf das jeweilige Kompressionsmittel 4, 5 übertragen. Es besteht jedoch auch die Möglichkeit, dass nur eines der Kompressionsmittel 4, 5, axialbeweglich und kraftbeaufschlagt ist, wie dies bei der Vorrichtung 1 in Figur 1 der Fall ist.

[0035] Die Außenform 3 und der Kern 6 sind elektrisch leitend, beispielsweise aus Kupfer bestehend ausgeführt. Sie bilden Elektroden und sind über ein Anschlusskabel mit einem steuerbaren Impulsstromgenerator 8, 9 verbunden, der hier schematisch durch einen Impulst-

ransformator 8 und einen Kondensator 9 repräsentiert ist. Im Gegensatz zu den Kompressionsmitteln 4, 5 sind Außenform 3 und Kern 6 feststehend, d.h. nicht unbeweglich. Sie können so besser kontaktiert werden und es besteht kein Risiko, dass sich die Anschlussleitung 12 löst.

[0036] Der Impulstransformator 8 generiert aus der in dem Kondensator 9 gespeicherten Ladung einen Stromimpuls I von ca. 300kA und wenigen Millisekunden Länge, wie es in Figur 1a dargestellt ist. Die Kompressionsmittel 4, 5 bestehen aus einem nicht leitenden Material, beispielsweise aus einer Keramik, und isolieren somit Außenform 3 und Kern 6 voneinander.

[0037] Da das Magnetpulver elektrisch leitend ist, fließt der Stromimpuls I zwischen Außenform 3 und Kern 6 durch das Pulver 2, d.h. in radialer Richtung und folglich senkrecht zur Kraft F. Dadurch ergeben sich ein kurzer Strompfad und eine homogene Verdichtung durch das Entladungssintern.

[0038] Da die Kontaktpunkte zwischen den einzelnen Pulverpartikeln einen ohmschen Widerstand bilden, entsteht dort infolge des hohen Stroms joulesche Wärme, die so groß ist, dass zumindest die Oberfläche der Pulverpartikel zumindest teilweise aufgeschmolzen wird. Durch die gleichzeitig von den Kompressionsmitteln 4, 5 auf das Pulver 2 ausgeübte Druckkraft wird diese Schmelze in die Partikelzwischenräume gepresst und füllen somit die ehemaligen Freiräume zwischen Pulverpartikeln, d.h. das Porenvolumen aus. Dabei bewegen sich die Kompressionsmittel 4, 5 rückartig weiter in den Hohlraum hinein und verkleinern somit die Kavität 11. Es entsteht somit ein dichtes Gefüge. Fast ebenso schnell wie das Aufheizen des Pulvers erfolgte, kühlt das hergestellte Werkstück ab.

[0039] Dieses wird anschließend einem starken magnetischen Feld ausgesetzt und auf diese Weise magnetisiert, so dass der gewünschte Ringmagnet erhalten wird.

40 Bezugszeichenliste

[0040]

1	EDS-Vorrichtung
2	Magnetpulver
3	Außenform
4	oberes Kompressionsmittel
5	unteres Kompressionsmittel
6	Kern
7a, 7b	Druckbolzen
8	Impulstransformator
9	Kondensator
10	Hydraulik
11	Kavität
12	Anschlusskabel
13	Öffnung

Patentansprüche

1. Vorrichtung (1) zur Herstellung ringförmiger Permanentmagnete durch elektrisches Entladungssintern, umfassend mehrere, eine ringförmige Kavität (11) zur Aufnahme eines magnetisierbaren metallischen Pulvers (2) definierende Werkzeugteile (3, 4, 5, 6) und einen steuerbaren elektrischen Impulsstromgenerator (8, 9), wobei zumindest zwei der Werkzeugteile (3, 4, 5, 6) Elektroden bilden und mit dem Impulsstromgenerator (8, 9) elektrisch verbunden sind, und die Werkzeugteile (3, 4, 5, 6) zumindest eine die Kavität (11) in radialer Richtung nach außen begrenzende Außenform (3), sowie zwei die Kavität (11) in axialer Richtung begrenzende, relativ zueinander axialbewegliche Kompressionsmittel (4, 5) umfassen, wobei zumindest eines der Kompressionsmittel (4, 5) in Richtung der Kavität (11) kraftbeaufschlagt oder kraftbeaufschlagbar ist, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Kavität (11) in radialer Richtung nach innen durch einen koaxial zur Außenform (3) angeordneten Kern (6) begrenzt ist, wobei die Außenform (3) und der Kern (6) die Elektroden bilden und die Kompressionsmittel (4, 5) die Elektroden elektrisch voneinander isolieren.
2. Vorrichtung (1) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Kavität (11) eine axiale Länge (L) aufweist, die gleich oder größer als der Abstand zwischen dem Kern (6) und der Außenwand (3) ist.
3. Vorrichtung (1) nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Kern (6) stiftförmig ist.
4. Vorrichtung (1) nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Kavität (11) hohlzylindrisch ist, insbesondere einen hohlen Kreiszylinder bildet.
5. Vorrichtung (1) nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** zumindest eines der Kompressionsmittel (5, 6) eine zentrale Öffnung (13) aufweist, in die der Kern (6) infolge der Relativbewegung der Kompressionsmittel (5, 6) zueinander einfahrbar ist.
6. Vorrichtung (1) nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** beide Kompressionsmittel (4, 5) axialbeweglich und unabhängig voneinander in Richtung der Kavität (11) kraftbeaufschlagt oder kraftbeaufschlagbar sind.
7. Vorrichtung (1) nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Kompressionsmittel (4, 5) aus einem keramischen Material bestehen.
8. Verfahren zur Herstellung ringförmiger Permanentmagnete durch elektrisches Entladungssintern, bei dem ein magnetisierbares metallisches Pulver (2) in eine ringförmige, durch mehrere Werkzeugteile (3, 4, 5, 6) definierte Kavität (11) eingebracht und einem zwischen zumindest zwei der Werkzeugteile (3, 4, 5, 6) fließenden elektrischen Impulsstrom (I) derart ausgesetzt wird, dass das Pulver (2) zumindest teilweise aufgeschmolzen wird, wobei gleichzeitig von zumindest einem der Werkzeugteile (5, 6) eine Kraft (F) in Richtung der Kavität auf das Pulver (2) ausgeübt wird, um das Pulver (2) im Schmelzzustand zu verdichten, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Impulsstrom (I) in radialer Richtung zwischen einer die Kavität (11) nach außen begrenzenden Außenform (3) und einem die Kavität (11) nach innen begrenzenden, sich koaxial zur Außenform (3) erstreckenden Kern (6) fließt, und die Kraft (F) von zumindest einem von zwei die Kavität (11) in axialer Richtung begrenzenden Kompressionsmitteln (4, 5) in axialer Richtung auf das Pulver (2) ausgeübt wird, wobei die Kompressionsmittel (4, 5) die Außenform (3) und den Kern (6) elektrisch voneinander isolieren.
9. Verfahren nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Pulver (2) mechanisch vorverdichtet und anschließend in die Kavität (11) eingebracht wird.
10. Verfahren nach Anspruch 8 oder 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** das von beiden Kompressionsmitteln (4, 5) eine Kraft (F) in axialer Richtung auf das Pulver (2) übertragen wird.

Stand der Technik

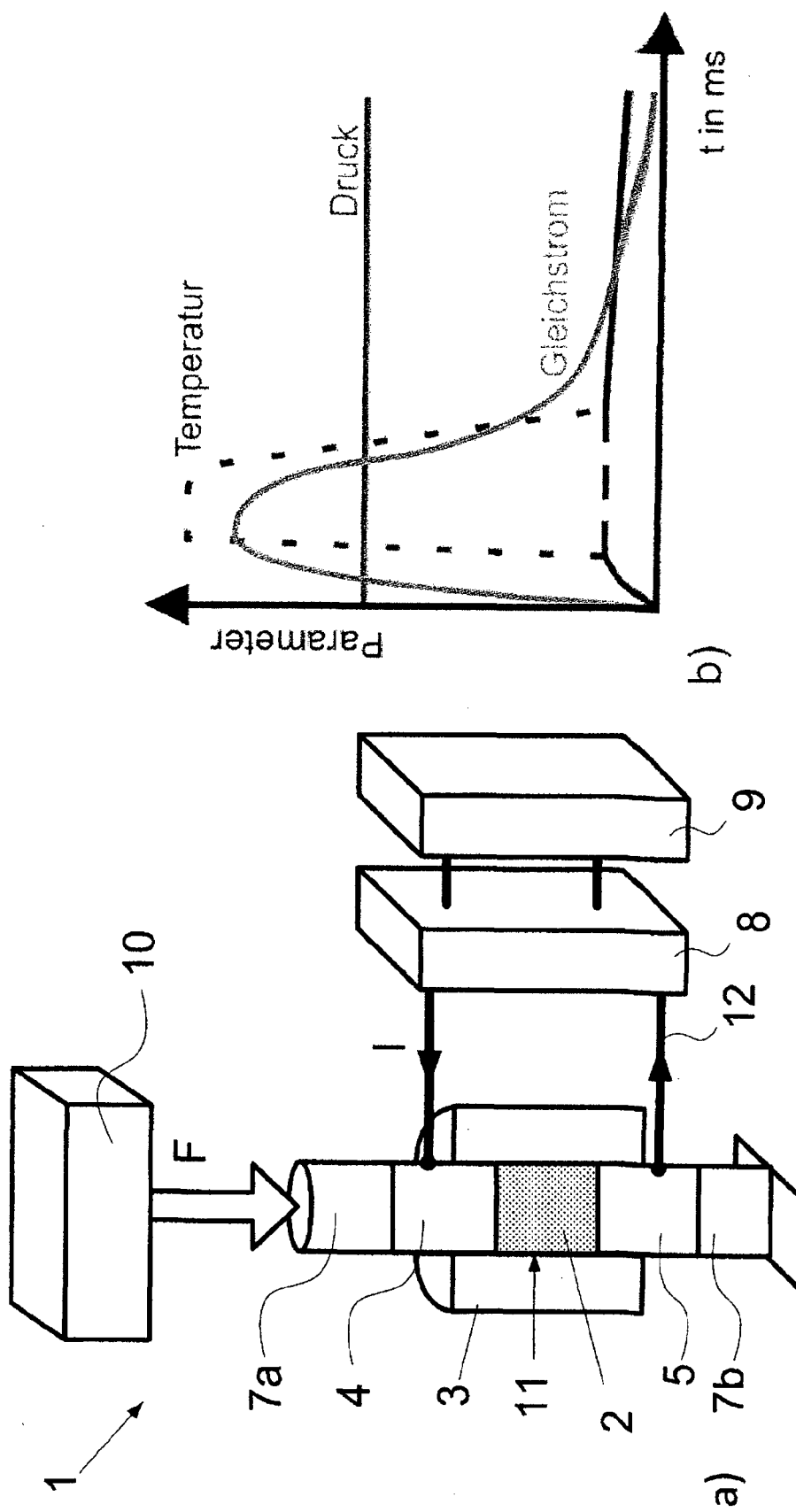


Fig. 1

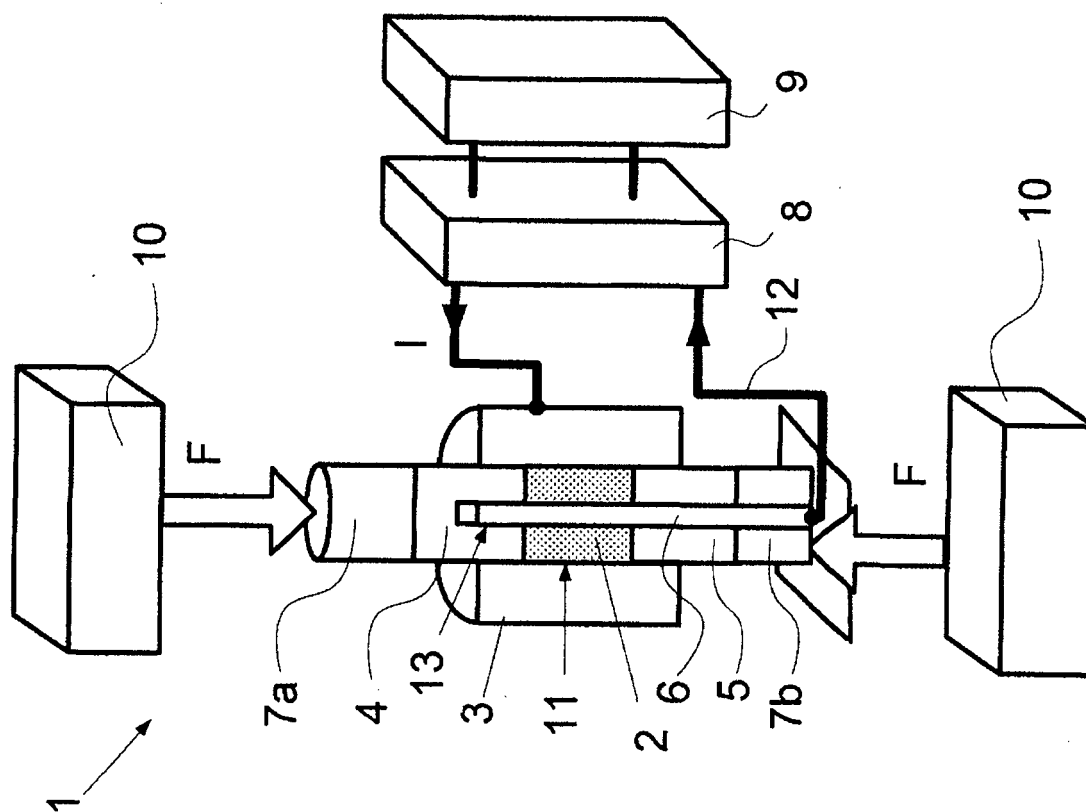


Fig. 2



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung
EP 16 00 1814

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
A,D	US 3 241 956 A (KIYOSHI INOUE) 22. März 1966 (1966-03-22) * Zusammenfassung * * Spalte 4, Zeilen 61-74; Abbildung 1 *	1-10	INV. H01F41/02
A,D	EP 2 198 993 A1 (EPOS S R L [IT]) 23. Juni 2010 (2010-06-23) * Zusammenfassung * * Absätze [0018], [0019]; Abbildung 1 *	1-10	
A	US 2013/266473 A1 (WANG YUCONG [US]) 10. Oktober 2013 (2013-10-10) * Zusammenfassung * * Absätze [0023], [0024]; Abbildungen 3,4 *	1-10	
A	OLEVSKY E A ET AL: "Outside Mainstream Electronic Databases: Review of Studies Conducted in the USSR and Post-Soviet Countries on Electric Current-Assisted Consolidation of Powder Materials", MATERIALS, Bd. 6, Nr. 10, Oktober 2013 (2013-10), Seiten 4375-4440, XP002765350, MDPI AG SWITZERLAND ISSN: 1996-1944, DOI: 10.3390/MA6104375 * Absatz [0002]; Abbildungen 5,6,10,12-14,16,17,18,21,24 *	1-10	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC) H01F B22F
A	US 6 001 193 A (KOJIMA AKINORI [JP] ET AL) 14. Dezember 1999 (1999-12-14) * Zusammenfassung * * Spalte 9, Zeilen 21-32; Abbildung 5 *	1-10	
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 20. Dezember 2016	Prüfer Winkelman, André
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
 ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 16 00 1814

5 In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.
 Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
 Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

20-12-2016

10	Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
	US 3241956 A	22-03-1966	KEINE	
15	EP 2198993 A1	23-06-2010	CN 102325615 A	18-01-2012
			EP 2198993 A1	23-06-2010
			US 2011316202 A1	29-12-2011
			WO 2010070623 A2	24-06-2010
20	US 2013266473 A1	10-10-2013	CN 103366941 A	23-10-2013
			DE 102013205769 A1	10-10-2013
			JP 2013219353 A	24-10-2013
			US 2013266473 A1	10-10-2013
25	US 6001193 A	14-12-1999	JP 3490228 B2	26-01-2004
			JP H09316565 A	09-12-1997
			US 6001193 A	14-12-1999
30				
35				
40				
45				
50				
55				

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- US 3241956 A [0003]
- EP 2198993 A1 [0003]

In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur

- EUGENE A. OLEVSKY ; ELENA V. ALEKSANDROVA ; ALEXANDRA M. ILYINA ; DI-NA V. DUDINA ; ALEXANDER N. NOVOSELOV ; KIRILL Y. PELVE ; EUGENE G. GRIGORYEV. Out-side Mainstream Electronic Database: Review of Studies Conducted in the USSR and Post-Soviet Countries on Electric Current-Assisted Consolidation of Powder Materials. *Materials*, 2013, vol. 6, 4375-4440 [0003]