



(11)

**EP 1 444 706 B1**

(12)

**EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des  
Hinweises auf die Patenterteilung:  
**14.01.2009 Patentblatt 2009/03**

(51) Int Cl.:  
**H01F 3/08** <sup>(2006.01)</sup> **H01F 17/00** <sup>(2006.01)</sup>  
**H01F 17/04** <sup>(2006.01)</sup> **H01F 41/02** <sup>(2006.01)</sup>  
**H01F 41/04** <sup>(2006.01)</sup>

(21) Anmeldenummer: **02785387.8**

(86) Internationale Anmeldenummer:  
**PCT/EP2002/012708**

(22) Anmeldetag: **13.11.2002**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:  
**WO 2003/043033 (22.05.2003 Gazette 2003/21)**

**(54) INDUKTIVES BAUELEMENT UND VERFAHREN ZU SEINER HERSTELLUNG**

INDUCTIVE COMPONENT AND METHOD FOR PRODUCING SAME  
COMPOSANT INDUCTIF ET SON PROCEDE DE PRODUCTION

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**DE FR GB IT**

(30) Priorität: **14.11.2001 DE 10155898**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:  
**11.08.2004 Patentblatt 2004/33**

(73) Patentinhaber: **Vacuumschmelze GmbH & Co. KG**  
**63450 Hanau (DE)**

(72) Erfinder: **BRUNNER, Markus**  
**63856 Bessenbach (DE)**

(74) Vertreter: **Schmuckermaier, Bernhard**  
**Westphal, Mussnug & Partner**  
**Patentanwälte**  
**Herzog-Wilhelm-Strasse 26**  
**80331 München (DE)**

(56) Entgegenhaltungen:  
**EP-A- 0 871 183** **US-A- 4 696 725**  
**US-A- 6 054 210**

- **PATENT ABSTRACTS OF JAPAN** vol. 010, no. 263  
(E-435), 9. September 1986 (1986-09-09) & JP 61  
088509 A (TOSHIBA CORP), 6. Mai 1986  
(1986-05-06)

**EP 1 444 706 B1**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein induktives Bauelement mit zumindest einer Wicklung und einem weichmagnetischen Kern aus einem ferromagnetischen Pulververbundwerkstoff.

**[0002]** Weichmagnetische Pulverwerkstoffe als gepresste Magnetkerne oder als gegossene oder spritzgegossene Magnetkerne sind seit langem bekannt. Als für diese Anwendung geeignete Legierungen kommen Eisenpulver, Eisenlegierungspulver wie insbesondere FeSi oder FeAlSi-Legierungen sowie verschiedene NiFe-Legierungen infrage.

**[0003]** Neben diesen kristallinen Legierungen werden bekannterweise auch amorphe oder nanokristalline Legierungen auf Fe- oder Co-Basis verwendet.

**[0004]** Es sind kunststoffgebundene Verbundwerkstoffe aus weichmagnetischen Materialien und thermoplastischen bzw. duroplastischen Werkstoffen bekannt, die als Pressteil, Spritzgussteil oder als druckloser Guss verarbeitet werden. Auch die Verwendung von formanisotropen magnetischen Partikeln und das Herstellen von Verbundteilen erhöhter Permeabilität aus diesen Partikeln unter Ausrichtung der Partikel durch Anwendung von Druck, gerichtetem Fließen sowie äußeren magnetischen Feldern ist bekannt.

**[0005]** Ebenso ist die Verwendung von magnetischen Pulvern in Kombination mit feinsten keramischen Partikeln als isolierende Abstandshalter bekannt. Die Verwendung von magnetischen Pulvern deutlich unterschiedlicher Partikelgröße (2 - 3 Fraktionen) zur Optimierung der Packungsdichte bei drucklosem Verguss ist der JP 11218256 zu entnehmen. Aus der DE 333 4827 oder DE 245 2252 ist es bekannt, eine Spule mit einer weichmagnetischen Material enthaltenen Masse zu umgießen.

**[0006]** Die Verwendung von Legierungspulvern unterschiedlicher Duktilität zur Optimierung der Pressdichten ist ebenfalls bekannt.

**[0007]** Die EP 0 921 534 A1 und die JP 04343207 beschreiben ein induktives Bauelement mit einer Wicklung und einem weichmagnetischen Kern aus einem ferromagnetischen Pulververbundwerkstoff, wobei der ferromagnetische Pulververbundwerkstoff eine Pulvermischung aus Pulvern mit formanisotropen sowie formisotropen Pulverpartikeln enthält.

**[0008]** Für den Einsatz als Drosselwerkstoff ist es wünschenswert Magnetkerne hoher Permeabilität ( $\mu > 40$ ) und Gleichstromvorbelastbarkeit ( $B_0 > 0,2$  T) herzustellen. Die Gleichstromvorbelastbarkeit ist ein Maß für die im Magnetwerkstoff gespeicherte Energie (Zur Definition der Gleichstromvorbelastbarkeit siehe R. Boll: "Weichmagnetische Werkstoffe" Siemens AG, 1990 S. 114f).

**[0009]** Der übliche Fertigungsweg ist das Pressen von Kernen in entsprechenden Werkzeugen zum Beispiel mit Ringkern- oder E-Kern-Form. Zum Verdichten der Magnetpulverlegierungen sind dabei Drücke im Bereich von ca. 5 - 15 t/cm<sup>2</sup> erforderlich. Im Anschluss an die Formgebung ist bei den meisten Legierungen eine Wärmebehandlung im Temperaturbereich oberhalb 500°C zur Wiederherstellung der guten weichmagnetischen Eigenschaften erforderlich. Diese beiden Verfahrensschritte, die Formgebung unter hohem Druck und die anschließende Wärmebehandlung - machen es praktisch unmöglich, auf diesen Wege Bauelemente mit einer vom Magnetmaterial umhüllten Spule herzustellen.

**[0010]** Für die Fertigung solcher Bauelemente eignet sich praktisch ausschließlich ein Gieß- oder Spritzgießverfahren. Mit derartigen Verfahren werden jedoch nur vergleichsweise niedrige Packungsdichten im Bereich vom maximal 70 Volumenprozent Magnetmaterial erreicht. Damit verbunden sind typische Permeabilitäten des Werkstoffes im Bereich um ca. 10 - 20.

Um hier die Permeabilität zu erhöhen, ist es möglich, durch Pulvermischungen mit Pulverpartikeln unterschiedlichen Durchmessers eine Erhöhung der Packungsdichte und damit eine Verringerung des effektiven Luftspaltes zwischen den Einzelpartikeln zu erreichen. Durch diese Maßnahme lassen sich jedoch auch nur Permeabilitäten bis ca. 40 erreichen.

**[0011]** Eine weitere Möglichkeit ist der Einsatz von formanisotropen Partikeln und anschließender Ausrichtung im Magnetfeld hier lassen sich die effektiven Luftspalte zwischen den Einzelpartikeln durch die große Überlappung der Partikel zum Teil kompensieren.

**[0012]** Der letzten Variante sind jedoch auch enge Grenzen gesetzt, da zum einen die Fließfähigkeit der Mischung sichergestellt werden muss und zum anderen die Ausrichtung der formanisotropen Partikeln im Magnetfeld nicht sehr effektiv gestaltet werden kann. Die Kraftwirkung, die durch ein äußeres magnetisches Feld an den Partikeln erzielt werden kann, ist äußerst begrenzt, da lediglich die Formanisotropie der Partikel zum Ausrichten verwendet werden kann.

**[0013]** Diese Ausrichtung ist bei weitem nicht so effektiv wie die zum Beispiel bei Dauermagnetlegierungen mögliche Ausrichtung über die Kristallanisotropie der Magnetpulverpartikel. Dies hat zur Konsequenz, dass eine Ausrichtung formanisotroper Partikel durch magnetische Felder in hochviskosen Spritzgussmassen praktisch unmöglich wird und in Gießmassen mit vergleichsweise niederviskosen Gießharzen nur eine sehr mäßige Ausrichtung der Pulverpartikel erreicht werden kann. Über den größten Teil des Bauelementevolumens sind daher diese formanisotropen Partikel auch nach der Ausrichtung durch magnetische Felder quasi statisch verteilt. Es ist dabei nicht zu vermeiden, dass sich auch ein merklicher Anteil der Magnetpulverpartikel mit seiner Flächennormalen parallel zur Magnetisierungsrichtung im

Bauelement stellt und somit zur Magnetisierung im Bauelement praktisch nicht mehr beiträgt.

**[0014]** Dieser Verlust an magnetisierbarem Material macht sich insbesondere in der erreichten Sättigungsinduktion bzw. Gleichfeldvorbelastbarkeit bei Verwendung von formanisotropen Partikeln in Magnetpulvermischungen bemerkbar. Es werden zwar vergleichsweise hohe Permeabilitäten bis in den Bereich von mehreren Hundert erreicht, die Gleichfeldvorbelastbarkeit bleibt jedoch sehr begrenzt (typischerweise  $< 0,2$  T).

**[0015]** Aufgabe der Erfindung ist es daher, ein induktives Bauelement sowie ein Verfahren zu dessen Herstellung anzugeben, das eine Umhüllung vorgefertigter Spulen mit weichmagnetischem Material erlaubt, wobei dieses Material vergleichsweise hohe Permeabilitäten ( $\mu > 40$ ) bzw. eine hohe Gleichfeldvorbelastbarkeit ( $B_0 > 0,3$  T) zulässt.

**[0016]** Die Aufgabe wird durch ein induktives Bauelement gemäß Patentanspruch 1 bzw. ein Verfahren zu dessen Herstellung gemäß Patentansprüchen 14 und 15 gelöst. Ausgestaltungen und Weiterbildungen des Erfindungsgedankens sind Gegenstand von Unteransprüchen.

**[0017]** Vorteil der Erfindung ist es, dass induktive Bauelemente mit universeller Formgebung und hoher Packungsdichte bei hoher Permeabilität ( $\mu > 40$ ) und hoher Gleichfeldvorbelastbarkeit ( $B_0 > 0,3$  T) geschaffen werden können.

**[0018]** Erreicht wird dies im einzelnen bei einem induktiven Bauelement der eingangs genannten Art dadurch, dass der ferromagnetische Pulververbundwerkstoff eine Legierungspulvermischung aus je einem Legierungspulver mit formanisotropen sowie einem Legierungspulver mit formisotropen Pulverpartikeln und ein Gießharz aufweist.

**[0019]** Die Legierungspulvermischung weist dabei bevorzugt eine Koerzitivfeldstärke von kleiner  $150$  mA/cm, eine Sättigungsmagnetostriktion und eine Kristallanisotropie von annähernd Null, eine Sättigungsinduktion  $> 0,7$  T sowie einen spezifischen elektrischen Widerstand von größer  $0,4$  Ohm\*mm<sup>2</sup>/m auf. Die formanisotropen Pulverpartikel können dabei sowohl Flakes aus amorphen oder nanokristallinen Legierungen als auch elliptische Teile aus kristallinen Legierungen mit einem Aspektverhältnis größer  $1,5$  umfassen. Bevorzugt haben die formanisotropen Pulverpartikel dabei einen Partikeldurchmesser von  $30 - 200$   $\mu$ m. Sowohl die formanisotropen als auch die formisotropen Pulverpartikel können darüber hinaus oberflächenisoliert sein. Die Oberflächenisolierung kann beispielsweise durch Oxidation und/oder durch Behandlung mit Phosphorsäure erzeugt werden.

**[0020]** Die Legierungspulvermischung weist neben dem anisotropen Legierungspulver zwei formisotrope Pulver auf, von denen ein Pulver grobe Legierungspartikel mit einem Partikeldurchmesser von  $30 - 200$   $\mu$ m aufweist und das andere Pulver aus Carbonyleisenpartikeln mit einem Partikeldurchmesser unter  $10$   $\mu$ m besteht. Der Anteil von Legierungspulver mit formanisotropen Partikeln beträgt  $5 - 65$  Volumenprozent, das Legierungspulver mit groben formisotropen Partikeln beträgt  $5 - 65$  Volumenprozent und das Carbonyleisenpulver mit feinen formisotropen Partikeln beträgt  $25 - 30$  Volumenprozent der Legierungspulvermischung.

**[0021]** Die formanisotropen Pulverpartikel können FeSi-Legierungen und/oder FeAlSi-Legierungen und/oder FeNi-Legierungen und/oder amorphe oder nanokristalline Fe- oder Co-Basis-Legierungen enthalten.

**[0022]** Vorzugsweise weist das Gießharz eine Viskosität kleiner  $50$  mPas im unausgehärteten Zustand und eine Daueranwendungstemperatur von mehr als  $150^\circ\text{C}$  im ausgehärteten Zustand auf. Als Gießharz kommt beispielsweise ein Harz aus der Gruppe der Epoxide, der epoxidierten Polyurethane, der Polyamide sowie der Methacrylatester infrage.

**[0023]** Der Anteil der Legierungspulvermischung liegt vorzugsweise bei  $70 - 75$  Volumenprozent, der Anteil des Gießharzes bei  $25 - 30$  Volumenprozent. Der Pulververbundwerkstoff kann zudem einen Zusatz von Fließhilfsmitteln beispielsweise auf Kieselsäurebasis enthalten.

**[0024]** Schließlich kann das induktive Bauelement ein Gehäuse aufweisen.

**[0025]** Das erfindungsgemäße Verfahren zum Herstellen eines induktiven Bauelements mit zumindest einer Wicklung und einem weichmagnetischen Kern aus einem ferromagnetischen Pulververbundwerkstoff ist in einer ersten Ausführungsform durch die folgenden Schritte gekennzeichnet:

- a) Bereitstellen einer Form, einer Legierungspulvermischung und einer Gießharzformulierung;
- b) Befüllen der Form mit der Legierungspulvermischung;
- c) Einfüllen der Gießharzformulierung in die Form; und
- d) Aushärten der Gießharzformulierung.

**[0026]** In einer alternativen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist das Verfahren zum Herstellen eines induktiven Bauelements mit zumindest einer Wicklung und einem weichmagnetischen Kern aus einem ferromagnetischen Pulververbundwerkstoff durch folgende Schritte gekennzeichnet:

- a) Bereitstellen einer Form, einer Legierungspulvermischung und einer Gießharzformulierung;
- b) Vermischen der Legierungspulvermischung und der Gießharzformulierung zu einer Gießharzpulverformulierung;
- c) Einfüllen der Gießharzpulverformulierung in die Form; und
- d) Aushärten der Gießharzpulverformulierung.

**[0027]** Durch diese Vorgehensweise wird im Unterschied zum Spritzgussverfahren vermieden, dass die Pulverpartikel

einer mechanischen Belastung beim Herstellungsprozess ausgesetzt werden. Des weiteren wird auch insbesondere bei Verwendung einer mit einer vorgefertigten Wicklungen bestückten Form, die auf den Wicklungsdrähten aufgebrachte Isolationsschicht nicht beschädigt, da das Einfüllen der möglichst niedrigviskosen Gießharzformulierung bzw. Gießharz-

pulver-Formulierung in die Form aufgrund des sanften Einleitens der Formulierung diese nicht beschädigt. Besonders bevorzugt sind Gießharzformulierungen mit Viskositäten von einigen wenigen Millipascalsekunden.

**[0028]** In einer weiteren Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung, insbesondere beim Erzielen von großen Füllhöhen in der Form, hat es sich als besonders vorteilhaft erwiesen, dass die Legierungspulvermischung bereits vor dem Einfüllen in die Form mit der Gießharzformulierung vermischt wird. Bei dieser Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung kann mit einem kleinen Überschuss an Gießharz gearbeitet werden, der die Fließfähigkeit der dann hergestellten Gießharz-

pulver-Formulierung begünstigt. Beim Einfüllen in die Form wird dann die Form durch eine geeignete Einrichtung, beispielsweise einem Pressluftvibrator in Schwingungen versetzt, was dazu führt, dass die Gießharzpulverformulierung gut durchmengt wird. Gleichzeitig wird die Gießharzpulverformulierung entgast.

**[0029]** Da die Legierungspulvermischung im Vergleich zum Gießharz eine sehr hohe Dichte aufweist, setzt sich die Legierungspulvermischung in der Form problemlos ab, so dass der verwendete Gießharzüberschuss beispielsweise in einem Anguss gesammelt werden kann, welcher nach dem Aushärten des Pulververbundwerkstoffs entfernt werden kann.

**[0030]** Durch die Verwendung von Formen, die mit vorgefertigten Wicklungen bereits bestückt sind, können in einem Arbeitsgang induktive Bauelemente hergestellt, werden, ohne dass später das sehr arbeitsaufwendige "Bewickeln" oder Aufbringen von vorgefertigten Wicklungen auf Teilkern und anschließendes Zusammensetzen der Teilkern zu Gesamtkernen erforderlich wäre.

**[0031]** In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung wird die Form, die mit der Legierungspulvermischung und der Gießharz-Formulierung befüllt wird oder die bereits mit einer vorgefertigten Gießharzpulverformulierung befüllt wird, als Gehäuse des induktiven Bauelements "weiterverwendet". Das heißt, dass in dieser Ausführungsform der vorliegenden Erfindung die Form als "verlorene Schalung" dient. Durch diese Vorgehensweise wird ein besonders effektives und kostengünstiges Verfahren bereitgestellt, das insbesondere auch im Gegensatz zu Spritzgussverfahren erhebliche Vereinfachungen bringt. Bei dem eingangs erwähnten Spritzgussverfahren ist immer eine Form, die noch dazu sehr aufwendig und teuer herzustellen ist, notwendig, die niemals als "verlorene Schalung" dienen kann.

**[0032]** Bei den Spritzgussverfahren muss immer das hergestellte Bauelement bzw. der hergestellte weichmagnetische Kern aus Pulververbundwerkstoff aufwendig aus der Form entformt werden, was zu längeren Produktionszeiten führt.

**[0033]** Als Gießharzformulierungen werden typischerweise Polymerbausteine, die mit einem Polymerisationsinitiator (Starter) vermengt sind, verwendet. Insbesondere kommen als Polymerbausteine Methacrylsäuremethylester in Betracht. Es sind jedoch auch andere Polymerbausteine denkbar, beispielsweise Lactame. Die Methacrylsäuremethylester werden beim Aushärten dann zu Polyacryl polymerisiert. Analog werden die Lactame über eine Polyadditionsreaktion zu Polyamiden polymerisiert.

**[0034]** Als Polymerisationsinitiatoren kommen Dibenzoylperoxid oder auch beispielsweise 2,2'-Azo-Isobuttersäuredinitril in Betracht.

**[0035]** Es sind jedoch auch andere Polymerisationsprozesse der bekannten Gießharze möglich, beispielsweise Polymerisationen, die über Licht- oder UV-Strahlung ausgelöst werden, das heißt also weitgehend ohne Polymerisationsinitiatoren auskommen.

**[0036]** In einer besonders bevorzugten Ausführungsform werden die Pulverpartikel während und/oder nach dem Befüllen der Form mit der Legierungspulvermischung durch Anlegen eines Magnetfeldes ausgerichtet. Dies kann insbesondere bei der Verwendung von Formen, die bereits mit einer Wicklung bestückt sind, durch Durchleiten eines Stroms durch die Wicklung und den damit einhergehenden Magnetfeld geschehen. Durch dieses Anlegen von Magnetfelder, die zweckmäßigerweise Feldstärken von mehr als 10 A/cm aufweisen, werden die Pulverpartikel ausgerichtet.

**[0037]** Insbesondere ist es von Vorteil, die Pulverpartikel, die formanisotrop sind, entlang der Magnetfeldlinien, die im später betriebenen induktiven Bauelement vorliegen, auszurichten. Durch die Ausrichtung der Pulverpartikel mit ihrer "langen" Achse parallel zu den Magnetfeldlinien kann eine starke Absenkung der Verluste und eine Erhöhung der Permeabilität des weichmagnetischen Kerns und damit der Induktivität des induktiven Bauelementes erzielt werden.

**[0038]** Im Fall der Verwendung einer Gießharzpulverformulierung ist es zum Erzielen höherer Permeabilitäten des weichmagnetischen Kerns von Vorteil bereits beim Einfüllen der Gießharzpulverformulierung mit der in der Form liegenden Spule ein Magnetfeld zu erzeugen, welches zu einer Orientierung der formanisotropen Pulverpartikel in Richtung des magnetischen Flusses wirkt. Nachdem die Form vollständig gefüllt ist, wird diese zunächst in Schwingungen versetzt, was wiederum beispielsweise durch den oben erwähnten Pressluftvibrator erfolgen kann und anschließend der Magnetisierungsstrom abgeschaltet. Nach der endgültigen Aushärtung der Gießharzformulierung wird dann das resultierende induktive Bauelement entformt.

**[0039]** Schließlich erfolgt während und/oder nach dem Befüllen der Form mit der Legierungspulvermischung, Gießharzformulierung bzw. Gießharzpulverformulierung durch Rütteln ein Verdichten bzw. eine Sedimentation der Legierungspulvermischung.

**[0040]** Obwohl bereits einzelne erfindungsgemäße Maßnahmen die Eigenschaften induktiver Bauelemente der eingangsgenannten Art deutlich verbessern, sind Kombinationen verschiedener Maßnahmen besonders vorteilhaft. So lässt sich durch das zu wählende Mischungsverhältnis zwischen dem isotropen und anisotropen Anteil die erreichbare Permeabilität bzw. die erreichbare Gleichfeldvorbelastbarkeit steuern. Als formanisotrope Pulverpartikel lassen sich beispielsweise Flakes aus amorphen, nanokristallinen oder kristallinen Legierungen einsetzen sowie elliptische Partikel mit Aspektverhältnissen größer 1,5, wie sie beispielsweise durch entsprechend angepasste Gasverdünsungsverfahren erzeugt werden können. Als isotrope Mischungskomponente bietet sich beispielsweise der Einsatz von Carbonyleisenpulvern an. Diese Pulver sind vorzugsweise oberflächenisoliert, so dass neben der Flussführung durch die feinen Magnetpulverpartikel zusätzlich ein isolierender Effekt in der Pulvermischung auftritt. Diese feinen Pulverpartikel wirken in der Mischung als elektrisch isolierende Abstandshalter zwischen den größeren formanisotropen Pulverpartikeln.

**[0041]** Noch bessere Eigenschaften als beim Einsatz dieser binären Metallpulvermischungen werden durch die Verwendung ternärer Magnetpulvermischungen erreicht. Dazu wird vorzugsweise eine Kombination aus einerseits größeren formanisotropen Pulverpartikeln mit Abmessungen im Bereich von 30 - 200  $\mu\text{m}$ , vorzugsweise 50 - 200  $\mu\text{m}$ , in der lateralen Ausdehnung und einem Aspektverhältnis von größer 1,5 und andererseits eine zweite isotrope Pulverkomponente mit Partikelndurchmessern im Bereich von 30 - 200  $\mu\text{m}$  mit sphärischer Partikelform und einer dritten isotropen Pulverkomponente mit Partikelndurchmessern im Bereich unter 10  $\mu\text{m}$  verwendet. Letztere Pulverkomponente besteht vorzugsweise aus oberflächenisoliertem Carbonyleisenpulver.

**[0042]** Die ternäre Mischung mit größeren sphärischen Pulverpartikeln zeichnet sich darüber hinaus durch eine deutlich verbesserte Fließfähigkeit der Gießmasse als die zuvor beschriebene binäre Pulvermischung aus Flakes und Feinpulver aus. Außerdem wird die Bewegung der Pulverpartikel im magnetischen Feld durch den erhöhten Anteil größerer sphärischer Partikel wesentlich erleichtert. Hinsichtlich der größeren Partikel sowohl der formanisotropen als auch der formanisotropen Pulverpartikel ist ein sehr weites Legierungsspektrum anwendbar. Grundvoraussetzung für die Verwendung in dieser Pulvermischung ist eine Legierung mit möglichst niedriger Koerzitivfeldstärke, verschwindend kleiner Sättigungsmagnetostriktion und Kristallanisotropie sowie ein möglichst hoher spezifischer elektrischer Widerstand. Diese Voraussetzungen werden beispielsweise von FeSi-Legierungen, FeAlSi-Legierungspulvern, FeNi-Legierungspulvern sowie den amorphen und nanokristallinen Fe- bzw. Co-Basis-Legierungspulvern erfüllt. Weiterhin ist es wichtig, dass sämtliche erforderlichen Wärmebehandlungsschritte vor der Herstellung des Gießkerns abgeschlossen werden können. Dies ist bei den genannten Legierungen ebenfalls der Fall.

**[0043]** Zur Herstellung der erfindungsgemäßen Bauelemente lässt sich beispielsweise eine Magnetpulvermischung aus einer Kombination von 5 - 65 Volumenprozent formanisotroper Pulverpartikel mit einem Aspektverhältnis größer 1,5 und einer Partikelgröße größer 30  $\mu\text{m}$  als erste Komponente sowie einer größeren isotropen Pulverkomponente mit Partikelndurchmessern größer 30  $\mu\text{m}$  und einem Anteil von 5 - 65 Volumenprozent als zweite Komponente sowie die Carbonyleisenpulver mit einem Volumenanteil von 25 - 30 Volumenprozent als dritte Komponente verwenden. Aus den genannten Einzelkomponenten wird in einem geeigneten Mischer eine homogene Pulvermischung erzeugt. Um eine Agglomeration der Feinpulveranteile zu verhindern, hat sich der Zusatz von Fließhilfsmitteln auf Kieselsäurebasis zu dieser Pulvermischung bewährt. Anschließend erfolgt beispielsweise das Vermischen der so vorbereiteten Magnetpulvermischung mit der für den Verguss vorgesehenen Harzmischung. Die Auswahl der verwendbaren Harze richtet sich dabei sowohl nach den Eigenschaften im ausgehärteten als auch im unausgehärteten Zustand. Verwendbar sind Harze mit Viskositäten kleiner 50 mPas im unausgehärteten Zustand und Dauerwendungs-temperaturen oberhalb 150 °C im ausgehärteten Zustand. Diese Eigenschaften werden beispielsweise von Harzen aus der Gruppe der Epoxide, der epoxidierten Polyurethane sowie von verschiedenen Methacrylateestern erfüllt.

**[0044]** Die Herstellung der gießfähigen Mischung erfolgt dann durch Vermischen von 70 - 75 Volumenprozent Magnetpulvermischung und 25 - 30 Volumenprozent eines ausgewählten Harzes. Diese Mischung wird unter Rühren im Vakuum entgast und anschließend in die vorgesehene Vergussform gefüllt. In der Form erfolgt durch mechanisches Rütteln ein Verdichten bzw. eine Sedimentation des Magnetpulvers und gleichzeitig durch ein äußeres magnetisches Feld oder aber durch Bestromen der eingelegten Kupferspule eine Ausrichtung des formanisotropen Anteiles des Magnetpulvers. Im Anschluss an das Ausrichten des formanisotropen Pulveranteils erfolgt die Aushärtung der Harze bei erhöhter Temperatur.

**[0045]** Mit der beschriebenen Technologie ist die Herstellung von Gießkernen im Permeabilitätsbereich zwischen ca. 20 und 100 problemlos möglich. Die erreichbare Permeabilität wird dabei durch die Größe der formanisotropen Partikel und deren Volumenanteil in der Gesamtpulvermischung bestimmt. Bezüglich der Gleichfeldvorbelastbarkeit werden Werte um 0,3 - 0,35 T erreicht. Die Ummagnetisierungsverluste so hergestellter Bauelemente bewegen sich etwa auf dem gleichen Niveau wie permeabilitätsgleiche Ringkerne aus FeAlSi bzw. hoch nickelhaltigen NiFe-Legierungen.

**[0046]** Die Erfindung wird nachfolgend anhand der in den Figuren der Zeichnung dargestellten Ausführungsformen näher erläutert. Es zeigen:

Figur 1 ein induktives Bauelement gemäß einer ersten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung im Querschnitt;  
Figur 2 ein induktives Bauelement gemäß einer zweiten Ausführungsform im Querschnitt; und

Figur 3 ein induktives Bauelement gemäß einer dritten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung im Querschnitt.

**[0047]** Die Figur 1 zeigt ein induktives Bauelement 10. Das induktive Bauelement 10 besteht aus einem weichmagnetischen Kern 11 und einer Wicklung 12, die aus relativ dickem Kupferdraht mit wenigen Windungen besteht. Die Wicklung kann dabei sowohl aus Runddraht als auch aus Flachdraht in ein- oder mehrlagiger Ausführung gefertigt werden. Besonders durch die Verwendung von Kupferflachdraht lässt sich durch den kompakteren Wicklungsaufbau bei konstanten Bauelementevolumen der Kupferquerschnitt des Drahtes erhöhen was wiederum zu einer Reduzierung der ohmschen Verluste in der Wicklung führt. Bei konstantem Wicklungswiderstand lässt sich durch diese Maßnahme umgekehrt entsprechend das Bauelementevolumen reduzieren. Figur 1 zeigt das Bauelement 10 während der Herstellung. Das Bauelement 10 ist in eine Form 1a, die hier aus Aluminium besteht, eingebracht.

**[0048]** Die Figur 2 zeigt ebenfalls ein induktives Bauelement 20, das aus einem weichmagnetischen Kern aus einem Pulververbundwerkstoff 21 besteht, in welchem ein Lagenwickel-Spulenkörper 22 eingebracht ist. Der Lagenwickel-Spulenkörper 22 ist an seinen Wicklungsenden mit Stiften 23 verbunden, die aus dem weichmagnetischen Kern 21 herausragen und zum Anschluss an eine Bodenplatte, beispielsweise eine Leiterplatte dienen. Das induktive Bauelement 20 in der Figur 2 ist ebenfalls wie in der Figur 1 während seiner Herstellung gezeigt. Das heißt, dass das induktive Bauelement 20 hier in der Form 1b gezeigt ist, in der Pulververbundwerkstoff vergossen wird.

**[0049]** Die Figur 3 zeigt ebenfalls wie die Figuren 1 und 2 ein induktives Bauelement. Das hier gezeigte induktive Bauelement 30 besteht aus einem weichmagnetischen Kern 31, aus einem Pulververbundwerkstoff, in den wiederum ein Lagenwickel-Spulenkörper 32 eingebracht ist. Der Lagenwickel-Spulenkörper 32 ist an seinen Wicklungsenden mit Anschlussstiften 33 verbunden, die aus der Form 1c, die gleichzeitig als Gehäuse 34 dient, ragen.

**[0050]** Als Ausgangsmaterial für den Pulververbundwerkstoff ist in den drei Ausführungsbeispielen eine der folgenden Pulvermischungen vorgesehen:

Vergleichsbeispiel: 1: Gießkerne mit niedriger Permeabilität

**[0051]** Zur Herstellung eines Gießkernes im Permeabilitätsbereich um ca. 35 - 40 und einem Bauelementgewicht um 100 g lässt sich z.B. folgende Formulierung verwenden:

|      |                                                                                                                                                                                                                       |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 72 g | vorgeglühtes und oberflächenisoliertes Pulver aus $\text{Fe}_{84}\text{Al}_6\text{Si}_{10}$ oder $\text{Ni}_{78}\text{Fe}_{18}$ mit einem mittleren Partikeldurchmesser von ca. 50 $\mu\text{m}$ und sphärischer Form |
| 21 g | phosphatiertes Carboneisen                                                                                                                                                                                            |
| 9 g  | Gießharzmischung                                                                                                                                                                                                      |

**[0052]** Aus obiger Mischung lassen sich Gießkerne mit einer Permeabilität um ca. 40, einer Gleichfeldvorbelastbarkeit von ca. 0,35 T und Ummagnetisierungsverlusten von ca. 90 - 110 W/kg bei 100 kHz und Wechsellaststeuerungen von 0,1 herstellen.

Beispiel 1 : Gießkerne mit mittlerer Permeabilität

**[0053]** Zur Herstellung eines Gießkernes im Permeabilitätsbereich um ca. 60 und einem Bauelementgewicht um 100 g lässt sich z.B. folgende Formulierung verwenden:

|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 16 g | vorgeglühtes und oberflächenisoliertes Pulver aus $\text{Fe}_{84}\text{Al}_6\text{Si}_{10}$ , $\text{Ni}_{78}\text{Fe}_{18}$ oder $\text{Fe}_{73,5}\text{Cu}_1\text{Nb}_3\text{Si}_{15,5}\text{B}_7$ mit einer mittleren Partikelgröße von 40 - 200 $\mu\text{m}$ und einem Aspektverhältnis $>1,5$ |
| 48 g | vorgeglühtes und oberflächenisoliertes Pulver aus $\text{Fe}_{84}\text{Al}_6\text{Si}_{10}$ oder $\text{Ni}_{78}\text{Fe}_{18}$ mit einem mittleren Partikeldurchmesser von ca. 50 $\mu\text{m}$ und sphärischer Form                                                                               |
| 21 g | phosphatiertes Carboneisen                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| 9 g  | Gießharzmischung                                                                                                                                                                                                                                                                                    |

**[0054]** Aus obiger Mischung lassen sich Gießkerne mit einer Permeabilität um ca. 65, einer Gleichfeldvorbelastbarkeit von ca. 0,30 T und Ummagnetisierungsverlusten von ca. 90 - 110 W/kg bei 100 kHz und Wechsellaststeuerungen von 0,1 T herstellen.

Beispiel 2 : Gießkerne mit höherer Permeabilität

**[0055]**

- 48 g vorgeglühtes und oberflächenisoliertes Pulver aus  $\text{Fe}_{84}\text{Al}_6\text{Si}_{10}$ ,  $\text{Ni}_{78}\text{Fe}_{18}$  oder  $\text{Fe}_{73,5}\text{Cu}_1\text{Nb}_3\text{Si}_{15,5}\text{B}_7$  mit einer mittleren Partikelgröße von 40 - 200  $\mu\text{m}$  und einem Aspektverhältnis  $>1,5$
- 16 g vorgeglühtes und oberflächenisoliertes Pulver aus  $\text{Fe}_{84}\text{Al}_6\text{Si}_{10}$  oder  $\text{Ni}_{78}\text{Fe}_{18}$  mit einem mittleren Partikeldurchmesser von ca. 50  $\mu\text{m}$  und sphärischer Form
- 21 g phosphatiertes Carboneisen
- 9 g Gießharzmischung

[0056] Aus obiger Mischung lassen sich Gießkerne mit einer Permeabilität um ca. 85, einer Gleichfeldvorbelastbarkeit von ca. 0,27 T und Ummagnetisierungsverlusten von ca. 90 - 110 W/kg bei 100 kHz und Wechsellaststeuerungen von 0,1 T herstellen

[0057] Es wird angemerkt, dass die vorstehenden Legierungspulvermischungen nur beispielhaften Charakter haben. Es sind eine große Fülle von anderen Legierungspulvermischungen als die oben aufgeführten Formulierungen möglich ist.

[0058] Wie zu ersehen ist, wurden die formanisotropen Pulverpartikel, aufgrund ihrer Form auch Flakes genannt, zur Verbesserung ihrer dynamischen magnetischen Eigenschaften einer Wärme- und Oberflächenbehandlung unterzogen. Außerdem erfolgte zum Zwecke der Isolation die Behandlung der formanisotropen Pulverpartikel mit Phosphorsäure, wodurch sich an deren Oberfläche elektrisch isolierendes Eisenphosphat bildet.

[0059] Die so vorbereiteten gemischten Legierungspulvermischungen wurden dann bei den in den Figuren 1 und 2 gezeigten Ausführungsformen in die Formen 1a bzw. 1b gefüllt. Die aus Aluminium bestehenden Formen 1a bzw. 1b wiesen an ihren Innenwandungen eine geeignete Trennbeschichtung auf, so dass es nicht zu einer erschwerten Entformung der induktiven Bauelemente 10 bzw. 20 kommen konnte. Danach wurden durch die Wicklungen 12 bzw. 22 elektrische Ströme geleitet, so dass die Pulverpartikel sich mit ihrer "langen Achse" parallel zu dem dabei entstehenden Magnetfeld, das ungefähr 12 A/cm betrug, ausrichteten.

[0060] Anschließend wurden bei den in den Figuren 1 und 2 gezeigten Ausführungsbeispielen in die mit der Legierungspulvermischung befüllten Formen jeweils eine Gießharzformulierung eingefüllt.

[0061] Bei der in der Figur 1 gezeigten Ausführungsform wurde eine thermoplastische Methacrylatformulierung eingefüllt. Diese thermoplastische Methacrylatformulierung hatte folgende Zusammensetzung:

|       |                           |
|-------|---------------------------|
| 100 g | Methacrylsäuremethylester |
| 2 g   | Methacryltrimethoxysilan  |
| 6 g   | Dibenzoylperoxid und      |
| 4,5 g | N,N-p-Toluidin            |

[0062] Bei dem in Figur 2 gezeigten Ausführungsform wurde ebenfalls eine thermoplastische Methacrylatformulierung eingefüllt, wobei diese Methacrylatformulierung die folgende Zusammensetzung aufwies:

|       |                           |
|-------|---------------------------|
| 100 g | Methacrylsäuremethylester |
| 2 g   | Methacryltrimethoxysilan  |
| 10 g  | Diglycoldimethacrylat     |
| 6 g   | Dibenzoylperoxid und      |
| 4,5 g | N,N-p-Toluidin            |

[0063] In beiden Ausführungsformen wurden die vorstehenden chemischen Bestandteile nacheinander im Methacrylester gelöst. Die fertige Mischung war in beiden Fällen wasserklar und wurde dann in die Formen 1a und 1b gegossen. Die Gießharzformulierungen härteten in beiden Fällen bei Raumtemperatur innerhalb von ca. 60 min aus. Anschließend wurde eine Nachhärtung bei ca. 150 C für eine weitere Stunde vorgenommen.

[0064] Beim Befüllen der Formen 1a bzw. 1b mit der Legierungspulvermischung hat es sich als zweckmäßig erwiesen, die Formen 1a bzw. 1b während des Befüllens in Schwingungen zu versetzen, um damit die Legierungspulvermischung zu verdichten. Mit diesem Vorgehen konnten in beiden Fällen problemlos Volumenanteile von bis zu 70 Volumenprozent Legierungspulvermischung in dem Pulververbundwerkstoff erzielt werden.

[0065] Bei dem in der Figur 3 gezeigten Ausführungsbeispiel wurde eine warmhärtende thermoplastische Methacrylatformulierung verwendet, die die folgende Zusammensetzung hatte:

|       |                           |
|-------|---------------------------|
| 100 g | Methacrylsäuremethylester |
|-------|---------------------------|

(fortgesetzt)

0,1 g 2,2'-Azo-Isobuttersäure-Dinitril

**[0066]** Diese Gießharzformulierung wurde in die Form 1c, wie in der Figur 3 gezeigt wird, eingefüllt und innerhalb von 15 Stunden bei einer Temperatur von ungefähr 50 °C ausgehärtet. Da die Form 1c in der Figur 3 als "verlorene Schalung" verwendet wird, das heißt anschließend nach dem Herstellungsvorgang als Gehäuse 34 für das induktive Bauelement diente, hat es sich hier besonders gut erwiesen, eine warmhärtende Gießharzformulierung zu verwenden, da dadurch eine besonders intensiver und guter Kontakt zwischen der aus Kunststoff bestehenden Form 1c und dem Pulververbundwerkstoff gelungen ist.

**[0067]** Anschließend wurde auch diese die Gießharzformulierung bei einer Temperatur von ungefähr 150 °C für ca. eine Stunde nachgehärtet.

**[0068]** Es wird angemerkt, dass die vorstehenden Gießharzformulierungen nur beispielhaften Charakter haben. Es sind eine große Fülle von anderen Gießharzformulierungen möglich, die auch chemisch anders vernetzt werden, als es in den oben aufgeführten Formulierungen der Fall war.

**[0069]** Der Vollständigkeit halber wird angemerkt, dass die oben genannten Formulierungen polymerisiert wurden und als Startersubstanzen Dibenzoylperoxid bzw. 2,2'-Azo-Isobuttersäure-Dinitril verwendet wurden. Es ist jedoch insbesondere auch möglich, ohne eine spezielle Startersubstanz auszukommen und Monomerbausteine, das heißt chemische Agentien wie hier den Methacrylsäuremethylester, mit UV-Licht zu polymerisieren. Durch die Beimengungen von Methacrylmethoxisilan bzw. Diglycoldimethacrylat und anderen chemischen Substanzen kann die Zähigkeit bzw. die Schlagfestigkeit des entstehenden Pulververbundwerkstoffes eingestellt, insbesondere erhöht werden.

**[0070]** Bei der Verwendung von thermoplastischen Polyamiden können insbesondere Schmelzen aus  $\epsilon$ -Caprolactam und Phenylisocyanat verwendet werden, so hat sich in weiteren Versuchen eine Schmelze aus 100 g  $\epsilon$ -Caprolactam und 0,4 g Phenylisocyanat als geeignet erwiesen, welche bei 130 °C miteinander vermischt wurde. Diese Schmelze wurde dann in eine auf 150 °C vorgewärmte Form eingefüllt. Die Aushärtung des Caprolactams zu einem Polyamid erfolgte dann innerhalb von ungefähr 20 min. Eine Nachhärtung bei höheren Temperaturen war bei dieser Vorgehensweise in der Regel nicht erforderlich.

**[0071]** Statt eines Caprolactams kann selbstverständlich auch ein anderes Lactam, beispielsweise Laurinlactam mit einer entsprechenden Binderphase verwendet werden. Bei der Verarbeitung von Laurinlactam sind jedoch Prozesstemperaturen von über 170 °C erforderlich.

**[0072]** Neben den bisher beschriebenen thermoplastischen Binderharzformulierungen ist natürlich auch der Einsatz von Reaktionsharzen, die duroplastische Formstoffe liefern denkbar. Insbesondere ist hier der Einsatz von zweikomponentigen heißhärtenden Epoxydharzen möglich. Ein Gießharz aus dieser Gruppe hat beispielsweise folgende Zusammensetzung:

|       |                                                                                                                                                   |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 100 g | Cycloaliphatisches Epoxydharz mit einem Molekulargewicht < 700 g/mol, einem Epoxydgehalt von 5,7 - 6,5 Äquiv./kg und einer Viskosität <800 mPas   |
| 100g  | Säureanhydridhärter mit einem Molekulargewicht <700 g/mol, einem Wasserstoffäquivalentgewicht zwischen 145 und 165 und einer Viskosität <100 mPas |
| 2,5g  | Beschleuniger (Aminbasis)                                                                                                                         |

**[0073]** Aus den vorstehend genannten Einzelkomponenten wird das Vergußharz durch Vermischen bei Raumtemperatur hergestellt. Zur Verarbeitung wird die Mischung auf Temperaturen um  $80 \pm 10$  °C erwärmt. Dadurch verringert sich die Viskosität der Mischung auf Werte < 20 mPas. Zur Aushärtung von, aus dieser Mischung hergestellten Bauelementen erfolgt eine Erwärmung auf Temperaturen von ca. 150 °C für eine Zeitdauer von ca. 30 Minuten.

**[0074]** Mit den vorstehend beschriebenen Gießharzformulierungen wurden induktive Bauelemente mit weichmagnetischen Kernen aus ferromagnetischen Pulververbundwerkstoffen hergestellt, die Ummagnetisierungsverluste zeigen, wie permeabilitätsgleiche Ringkerne aus FeAlSi bzw. hoch nickelhaltigen NiFe-Legierungen. Die erreichbare Permeabilität von ca. 20 und 100 wird dabei durch die Größe der formanisotropen Partikel und deren Volumenanteil in der Gesamtpulvermischung bestimmt. Bezüglich der Gleichfeldvorbelastbarkeit werden Werte um 0,3 - 0,35 T erreicht.

## Patentansprüche

1. Induktives Bauelement (10; 20; 30) mit zumindest einer Wicklung (12; 22; 32) und einem weichmagnetischen Kern (11; 21; 31) aus einem ferromagnetischen Pulververbundwerkstoff, wobei der ferromagnetische Pulververbundwerkstoff eine Legierungspulvermischung aus Pulvern mit formanisotropen

sowie formisotropen Pulverpartikeln und ein Gießharz aufweist,

**dadurch gekennzeichnet,**

**dass** die Legierungspulvermischung neben einem anisotropen Legierungspulver zwei formisotrope Pulver aufweist, von denen ein Pulver grobe Legierungspartikel mit einem Partikeldurchmesser von 30 bis 200  $\mu\text{m}$  aufweist und das andere Pulver aus Carbonyleisenpartikeln mit einem Partikeldurchmesser unter 10  $\mu\text{m}$  besteht.

2. Induktives Bauelement nach Anspruch 1,

**dadurch gekennzeichnet,**

**dass** die Legierungspulvermischung eine Koerzitivfeldstärke von kleiner 150 mA/cm, eine Sättigungsmagnetostraktion und eine Kristallanisotropie von annähernd null, eine Sättigungsinduktion  $> 0,7 \text{ T}$  sowie einen spezifische elektrische Widerstand von größer 0,4  $\text{Ohm} \cdot \text{mm}^2/\text{m}$  aufweisen.

3. Induktives Bauelement nach Anspruch 1 oder 2,

**dadurch gekennzeichnet,**

**dass** formanisotrope Pulverpartikel amorphe, nanokristalline oder kristalline Legierungen umfassen.

4. Induktives Bauelement nach Anspruch 1 oder 2,

**dadurch gekennzeichnet,**

**dass** formanisotrope Pulverpartikel eine elliptische Form mit einem Aspektverhältnis größer 1,5 haben.

5. Induktives Bauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 4,

**dadurch gekennzeichnet,**

**dass** formanisotrope Pulverpartikel einen Partikeldurchmesser von 30 bis 200  $\mu\text{m}$  aufweisen.

6. Induktives Bauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 5,

**dadurch gekennzeichnet,**

**dass** formisotrope Pulverpartikel oberflächenisoliert sind.

7. Induktives Bauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 6,

**dadurch gekennzeichnet,**

**dass** der Anteil von Legierungspulver mit formanisotropen Partikeln 5 bis 65 Volumenprozent, von Legierungspulver mit groben formisotropen Partikeln 5 bis 65 Volumenprozent und von Carbonyleisenpulver mit feinen formisotropen Partikeln 25 bis 30 Volumenprozent an der Legierungspulvermischung beträgt.

8. Induktives Bauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 7,

**dadurch gekennzeichnet,**

**dass** formanisotrope Pulverpartikel FeSi-Legierungen und/oder FeAlSi-Legierungen und/oder FeNi-Legierungen und/oder amorphe oder nanokristalline Fe- oder Co-Basis-Legierungen enthalten.

9. Induktives Bauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 8,

**dadurch gekennzeichnet,**

**dass** das Gießharz eine Viskosität kleiner 50 mPas im unausgehärteten Zustand und eine Daueranwendungstemperatur von mehr als 150  $^{\circ}\text{C}$  im ausgehärteten Zustand aufweist.

10. Induktives Bauelement nach Anspruch 9,

**dadurch gekennzeichnet,**

**dass** als Gießharz mindestens ein Harz aus der Gruppe der Epoxide, der epoxidierten Polyurethane sowie der Methylacrylatester vorgesehen ist.

11. Induktives Bauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 10,

**dadurch gekennzeichnet,**

**dass** der Anteil der Legierungspulvermischung 70 bis 75 Volumenprozent und der Anteil des Gießharzes 25 bis 30 Volumenprozent an dem Pulververbundwerkstoff beträgt.

12. Induktives Bauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 11,

**dadurch gekennzeichnet,**

**dass** der Pulververbundwerkstoff einen Zusatz von Fließhilfsmitteln enthält.

13. Induktives Bauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 12,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
**dass** das induktive Bauelement (30) ein Gehäuse (34) aufweist.

14. Verfahren zum Herstellen eines induktiven Bauelements nach einem der Ansprüche 1 bis 13,  
**gekennzeichnet durch** folgende Schritte:

- a) Bereitstellen einer Form (1a; 1b; 1c), einer Legierungspulvermischung und einer Gießharzformulierung;
- b) Befüllen der Form (1a; 1b; 1c) mit der Legierungspulvermischung;
- c) Einfüllen der Gießharzformulierung in die Form (1a; 1b; 1c) ; und
- d) Aushärten der Gießharzformulierung.

15. Verfahren zum Herstellen eines induktiven Bauelements nach einem der Ansprüche 1 bis 13,  
**gekennzeichnet durch** folgende Schritte:

- a) Bereitstellen einer Form(1a; 1b; 1c), einer Legierungspulvermischung und einer Gießharzformulierung;
- b) Vermischen der Legierungspulvermischung und der Gießharzformulierung zu einer Gießharzpulverformulierung;
- c) Einfüllen der Gießharzpulverformulierung in die Form (1a; 1b; 1c); und
- d) Aushärten der Gießharzpulverformulierung.

16. Verfahren nach Anspruch 14 oder 15,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
**dass** eine mit zumindest einer mit einer Isolationsschicht versehenen Wicklung (12; 22; 32) aus Rund- oder Profildraht bestückte Form (1a; 1b; 1c) bereitgestellt wird.

17. Verfahren nach einem der Ansprüche 14 bis 16,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
**dass** die Form (1c) als Gehäuse (34) des induktiven Bauelementes (30) verwendet wird.

18. Verfahren nach einem der Ansprüche 14 bis 17,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
**dass** eine Gießharzformulierung bestehend aus Polymerbausteinen und einem Polymerisationsinitiator verwendet wird.

19. Verfahren nach Anspruch 18,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
**dass** als Polymerbaustein Methacrylsäuremethylester verwendet wird.

20. Verfahren nach Anspruch 19,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
**dass** als Polymerisationsinitiator Dibenzoylperoxid verwendet wird.

21. Verfahren nach Anspruch 19,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
**dass** als Polymerisationsinitiator 2,2'-Azo-Isobuttersäure-Dinitril verwendet wird.

22. Verfahren nach einem der Ansprüche 14 bis 21,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
**dass** die Pulverpartikel während und/oder nach dem Befüllen der Form mit der Legierungspulvermischung durch Anlegen eines Magnetfeldes ausgerichtet werden.

23. Verfahren nach Anspruch 22,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
**dass** das Magnetfeld durch Bestromen der Wicklung (12; 22; 32) angelegt wird.

24. Verfahren nach Anspruch 22 oder 23,  
**dadurch gekennzeichnet,**

dass ein Magnetfeld mit einer Feldstärke größer 10 A/cm angelegt wird.

25. Verfahren nach einem der Ansprüche 14 bis 24,

**dadurch gekennzeichnet,**

**dass** nach dem Befüllen der Form mit Legierungspulvermischung, Gießharzformulierung bzw. Gießharzpulverformulierung durch Rütteln ein Verdichten bzw. eine Sedimentation der Legierungspulvermischung erfolgt.

## Claims

1. An inductive component (10; 20; 30) with at least one winding (12; 22; 32) and a soft magnetic core (11; 21; 31) of a ferromagnetic powder composite material, wherein the ferromagnetic powder composite material includes an alloy powder mixture of powders with shape anisotropic and shape isotropic powder particles and a casting resin, **characterised in that** in addition to an anisotropic alloy powder, the alloy powder mixture includes two shape isotropic powders, of which one powder has large alloy particles with a particle diameter of 30 to 200µm and the other powder consists of carbonyl iron particles with a particle diameter less than 10µm.
2. An inductive component as claimed in Claim 1, **characterised in that** the alloy powder mixture has a coercivity field strength of less than 150 mA/cm, a saturation magnetostriction and a crystal anisotropy of approaching 0, a saturation induction 0.7T and specific electrical resistance of greater than 0.4 Ohm\*mm<sup>2</sup>/m.
3. An inductive component as claimed in Claims 1 or 2, **characterised in that** shape isotropic powder particles include amorphous, nanocrystalline or crystalline alloys.
4. An inductive component as claimed in Claim 1 or 2, **characterised in that** shape anisotropic powder particles have an elliptical shape with an aspect ratio greater than 1.5.
5. An inductive component as claimed in one of Claims 1 to 4, **characterised in that** shape anisotropic powder particles have a particle diameter of 30 to 200µm.
6. An inductive component as claimed in one of Claims 1 to 5, **characterised in that** shape isotropic powder particles are surface insulated.
7. An inductive component as claimed in one of Claims 1 to 6, **characterised in that** the proportion of alloy powder with shape anisotropic particles is 5 to 65 volume percent of alloy powder with coarse shape isotropic particles is 5 to 65 volume percent and of carbonyl iron powder with fine shape isotropic particles is 25 to 30 volume percent of the alloy powder mixture.
8. An inductive component as claimed in Claims 1 to 7, **characterised in that** shape anisotropic powder particles include FeSi alloys and/or FeAlSi alloys and/or FeNi alloys and/or amorphous or nanocrystalline alloys based on Fe or Co.
9. An inductive component as claimed in one of Claims 1 to 8, **characterised in that** the casting resin has a viscosity smaller than 50 mPas in the uncured form and a long term usage temperature of more than 150°C in the cured state.
10. An inductive component as claimed in Claim 9, **characterised in that** at least one resin from the group of epoxides, epoxidated polyurethanes and methylacrylate esters is provided as the casting resin.
11. An inductive component as claimed in one of Claims 1 to 10, **characterised in that** the proportion of the alloy powder mixture is 70 to 75 volume percent and the proportion of the casting resin is 25 to 30 volume percent in the powder composite material.
12. An inductive component as claimed in one of Claims 1 to 11, **characterised in that** the powder composite material includes an addition of flow promoting agents.
13. An inductive component as claimed in one of Claims 1 to 12, **characterised in that** the inductive component (30) has a housing (34).

14. A method of producing an inductive component as claimed in one of Claims 1 to 3, **characterised by** the following steps:

- (a) providing a mould (1a; 1b; 1c), an alloy powder mixture and a casting resin formulation;
- (b) filling the mould (1a; 1b; 1c), with the alloy powder mixture;
- (c) introducing the casting resin formulation into the mould (1a; 1b; 1c); and
- (d) curing the casting resin formulation.

15. A method of producing an inductive component as claimed in one of Claims 1 to 13, **characterised by** the following steps:

- (a) providing a mould (1a; 1b; 1c), an alloy powder mixture and a casting resin formulation;
- (b) mixing the alloy powder mixture and the casting resin formulation to form a casting resin powder formulation;
- (c) introducing the casting resin formulation into the mould (1a; 1b; 1c); and
- (d) curing the casting resin formulation.

16. A method as claimed in Claim 14 or 15, **characterised in that** a mould (1a; 1b; 1c) is provided equipped with at least one winding (12; 22; 32), provided with an insulating layer, of round or profiled wire.

17. A method as claimed in one of Claims 14 to 16, **characterised in that** the mould (1c) is used as a housing (34) of the inductive component (30).

18. A method as claimed in one of Claims 14 to 17, **characterised in that** a casting resin formulation consisting of polymer units and a polymerisation initiator is used.

19. A method as claimed in Claim 18, **characterised in that** methacrylic acid methyl ester is used as the polymer unit.

20. A method as claimed in Claim 19, **characterised in that** dibenzoylperoxide is used as the polymerisation initiator.

21. A method as claimed in Claim 19, **characterised in that** 2,2' - azoisobutyric dinitrile is used as the polymerisation initiator.

22. A method as claimed in Claims 14 to 21, **characterised in that** the powder particles are aligned during and/or after the filling of the mould with the alloy powder mixture by the application of a magnetic field.

23. A method as claimed in Claim 22, **characterised in that** the magnetic field is applied by energising the winding (12; 22; 32).

24. A method as claimed in Claim 22 or 23, **characterised in that** a magnetic field is applied with a field strength greater than 10 A/cm.

25. A method as claimed in one of Claims 14 to 24, **characterised in that** after filling the mould with alloy powder mixture, casting resin formulation or casting resin powder formulation, compression or sedimentation of the alloy powder mixture is effected by vibration.

## Revendications

1. Composant inductif (10 ; 20 ; 30) comportant au moins un enroulement (12 ; 22 ; 32) ainsi qu'un noyau magnétique (11 ; 21 ; 31) en une matière composite de poudre ferromagnétique, selon lequel la matière composite de poudre ferromagnétique est un mélange de poudres d'alliage comprenant des poudres de forme anisotrope ainsi que des particules de poudres de forme isotrope et une résine coulée, **caractérisé en ce que** le mélange de poudres d'alliage comporte en plus d'une poudre d'alliage anisotrope, deux poudres de forme isotrope dont l'une est composée de particules d'alliage, grossières, ayant un diamètre de particule de 30 µm à 200 µm et l'autre de particules de fer-carbonyl ayant un diamètre de particule inférieur à 10 µm.

2. Composant inductif selon la revendication 1,

**caractérisé en ce que**

le mélange de poudres d'alliage a une intensité de champ coercitif inférieure à 150 mA/cm, une magnétostriction de saturation et une anisotropie cristalline voisine de 0, une induction de saturation supérieure à 0,7 T ainsi qu'une résistance électrique spécifique supérieure à 0,4 Ohm\*mm<sup>2</sup>/m.

- 5  
3. Composant inductif selon la revendication 1 ou la revendication 2,  
**caractérisé en ce que**  
la particule de poudre de forme anisotrope comprend des alliages amorphes, nanocristallins ou cristallins.
- 10  
4. Composant inductif selon les revendications 1 ou 2,  
**caractérisé en ce que**  
les particules de poudre de forme anisotrope sont elliptiques avec un rapport d'aspect supérieur à 1,5.
- 15  
5. Composant inductif selon l'une des revendications 1 à 4,  
**caractérisé en ce que**  
les particules de poudre de forme anisotrope ont un diamètre de particule de 30 µm à 200 µm.
- 20  
6. Composant inductif selon l'une des revendications 1 à 5,  
**caractérisé en ce que**  
les particules de poudre de forme anisotrope ont des surfaces isolées.
- 25  
7. Composant inductif selon l'une des revendications 1 à 6,  
**caractérisé en ce que**  
la teneur en poudres d'alliage à particules de forme anisotrope représente entre 5 % et 65 % en volume, la poudre d'alliage avec des particules de forme isotrope grossière représente entre 5 % et 65 % en volume et la poudre de fer carbonyle à particules de forme isotrope, fines, représente entre 25 % et 30 % en volume du mélange de poudres d'alliage.
- 30  
8. Composant inductif selon l'une des revendications 1 à 7,  
**caractérisé en ce que**  
les particules de poudre de forme anisotrope contiennent des alliages FeSi et/ou des alliages FeAlSi et/ou des alliages FeNi et/ou des alliages amorphes ou nanocristallins à base de Fe ou Co.
- 35  
9. Composant inductif selon l'une des revendications 1 à 8,  
**caractérisé en ce que**  
la résine coulée a une viscosité inférieure à 50 mPas à l'état non durci et une température d'utilisation permanente à 150°C à l'état durci.
- 40  
10. Composant inductif selon la revendication 9,  
**caractérisé en ce que**  
la résine coulée est au moins une résine choisie dans le groupe formé par les époxydes, les polyuréthanes époxydés ainsi que les méthylacrylatester.
- 45  
11. Composant inductif selon l'une des revendications 1 à 10,  
**caractérisé en ce que**  
la teneur du mélange de poudres d'alliage représente entre 70 % et 75 % en volume et la teneur de résine coulée représente entre 25 % et 30 % en volume de la matière composite de poudre.
- 50  
12. Composant inductif selon l'une des revendications 1 à 11,  
**caractérisé en ce que**  
la matière composite de poudre contient un additif de fluage.
- 55  
13. Composant inductif selon l'une des revendications 1 à 12,  
**caractérisé en ce que**  
le composant inductif (30) comporte un boîtier (34).
14. Procédé de fabrication d'un composant inductif selon l'une des revendications 1 à 13,  
**caractérisé par** les étapes suivantes :

- a) on réalise un moule (1a ; 1b; 1c), un mélange de poudres d'alliage ainsi qu'une composition de résine coulée ;
- b) on remplit le moule (1a ; 1b ; 1c) avec le mélange de poudres d'alliage ;
- c) on introduit la composition de résine coulée dans le moule (1a; 1b; 1c), et
- d) on laisse durcir la composition de résine coulée.

5

- 15.** Procédé de fabrication d'un composant inductif selon l'une des revendications 1 à 13,  
**caractérisé par** les étapes suivantes :

10

- a) on réalise un moule (1a ; 1b; 1c), un mélange de poudres d'alliage ainsi qu'une composition de résine coulée ;
- b) on mélange le mélange de poudres d'alliage et la composition de résine coulée pour obtenir une composition de poudres et de résine coulée ;
- c) on introduit la composition de poudres et de résine coulée dans le moule (1a ; 1b ; 1c), et
- d) on laisse durcir la composition de poudres de résine coulée.

15

- 16.** Procédé de fabrication d'un composant inductif selon la revendication 14 ou 15,  
**caractérisé en ce que**  
l'enroulement (12 ; 22 ; 32) muni d'une couche d'isolation est réalisée dans un moule (1a ; 1b ; 1c) garni d'un fil profilé ou d'un fil rond.

20

- 17.** Procédé de fabrication d'un composant inductif selon l'une des revendications 14 à 16,  
**caractérisé en ce que**  
le moule (1c) est utilisé comme boîtier (34) du composant inductif (30).

25

- 18.** Procédé de fabrication d'un composant inductif selon l'une des revendications 14 à 17,  
**caractérisé par**  
une composition de résine coulée, formée de composants de polymères et un initiateur de polymérisation.

30

- 19.** Procédé de fabrication d'un composant inductif selon la revendication 18,  
**caractérisé en ce que**  
comme composant de polymères, on utilise de l'ester méthylique d'acide méthacrylique.

35

- 20.** Procédé de fabrication d'un composant inductif selon la revendication 19,  
**caractérisé en ce que**  
comme initiateur de polymérisation, on utilise du dibenzoylpéroxyde.

40

- 22.** Procédé de fabrication d'un composant inductif selon l'une des revendications 14 à 21,  
**caractérisé en ce qu'**  
en appliquant un champ magnétique, on aligne les particules de poudre pendant et/ou après le remplissage du moule avec le mélange de poudres d'alliage.

45

- 23.** Procédé de fabrication d'un composant inductif selon la revendication 22,  
**caractérisé en ce que**  
le champ magnétique est généré par l'alimentation électrique de l'enroulement (12 ; 22 ; 32).

50

- 24.** Procédé de fabrication d'un composant inductif selon les revendications 22 ou 23,  
**caractérisé en ce qu'**  
on applique un champ magnétique avec une intensité de champ supérieure à 10 A/cm.

55

- 25.** Procédé de fabrication d'un composant inductif selon l'une des revendications 14 à 24,  
**caractérisée en ce qu'**  
après remplissage du moule avec un mélange de poudres d'alliage, de la composition de résine coulée ou de la composition de poudres et de résine coulée, on comprime en agitant ou on fait une sédimentation du mélange de poudres d'alliage.

FIG 1

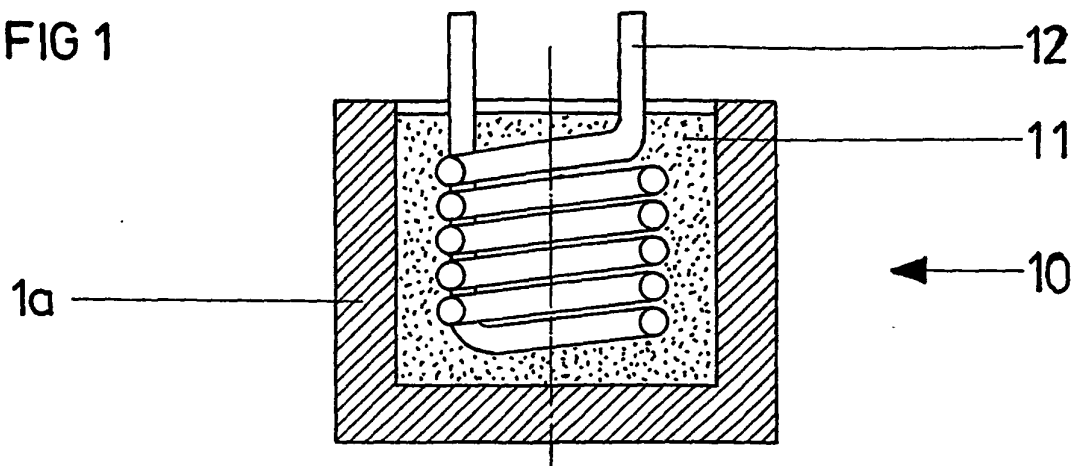


FIG 2

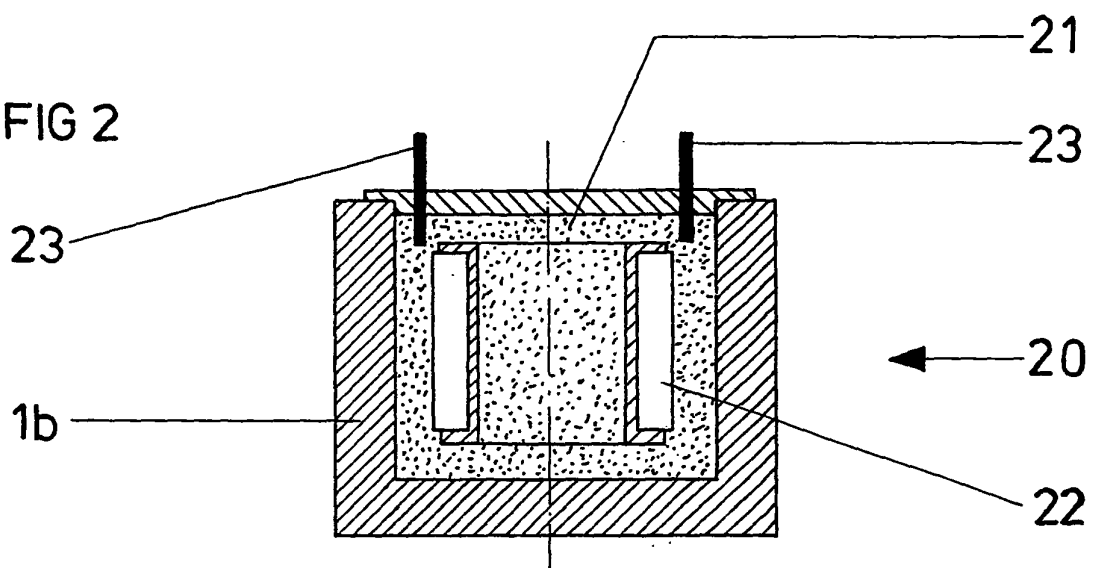
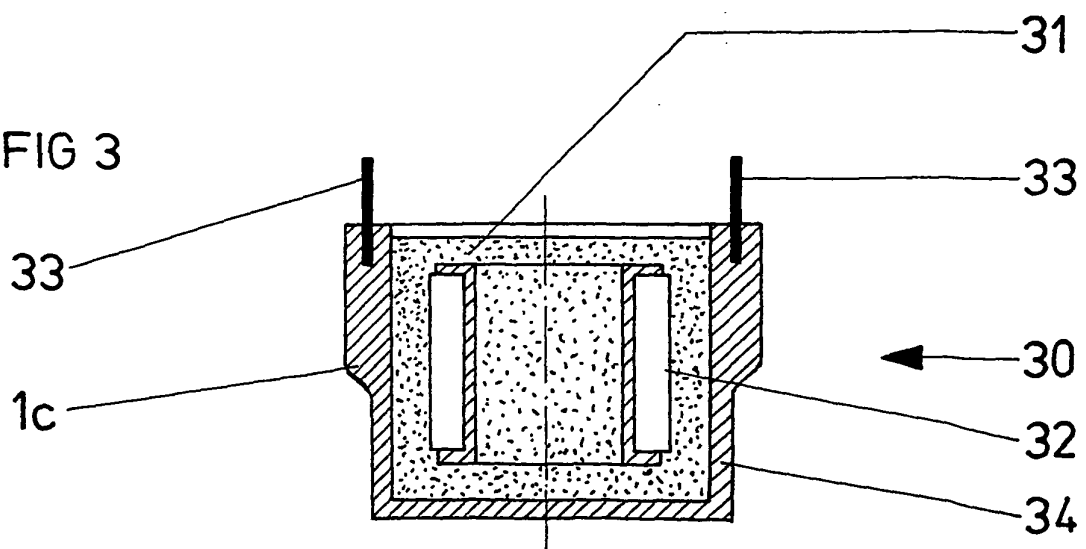


FIG 3



**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**

- JP 11218256 B [0005]
- DE 3334827 [0005]
- DE 2452252 [0005]
- EP 0921534 A1 [0007]
- JP 04343207 B [0007]