

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
24. Dezember 2008 (24.12.2008)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2008/155109 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
H01F 1/375 (2006.01) *F16F 1/36* (2006.01)
H01F 1/44 (2006.01)

(74) Anwalt: PFENNING, MEINING & PARTNER GBR;
Theresienhöhe 13, 80339 München (DE).

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2008/004902

(22) Internationales Anmeldedatum:
18. Juni 2008 (18.06.2008)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2007 028 663.7 21. Juni 2007 (21.06.2007) DE

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG E.V. [DE/DE]; Hansastrasse 27c, 80686 München (DE).

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): BÖSE, Holger [DE/DE]; Pfaffenbergstrasse 13, 97080 Würzburg (DE). HESLER, Andreas [DE/DE]; Seuffertstrasse 3, 97074 Würzburg (DE). MONKMAN, Gareth [GB/DE]; Waldweidenweg 10, 93053 Regensburg (DE).

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht

(54) Title: MAGNETORHEOLOGICAL COMPOSITE MATERIALS COMPRISING HARD MAGNETIC PARTICLES, METHOD FOR THE PRODUCTION THEREOF AND USE THEREOF

(54) Bezeichnung: MAGNETORHEOLOGISCHE KOMPOSITMATERIALIEN MIT HARTMAGNETISCHEN PARTIKELN, VERFAHREN ZU DEREN HERSTELLUNG SOWIE DEREN VERWENDUNG

(57) Abstract: The present invention relates to composites made of an elastic and/or thermoplastic-elastic carrier medium and hard magnetic particles that are polarized in a magnetic field, wherein after turning off the magnetic field, a magnetization remains.

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Erfindung betrifft Komposite aus einem elastischen und/oder thermoplastisch-elastischen Trägermedium und hartmagnetischen Partikeln, die in einem Magnetfeld polarisiert werden, wobei nach dem Abschalten des Magnetfeldes eine Magnetisierung zurückbleibt.



WO 2008/155109 A1

Magnetorheologische Kompositmaterialien mit hartmag-
netischen Partikeln, Verfahren zu deren Herstellung
sowie deren Verwendung

5 Die vorliegende Erfindung betrifft Komposite aus
einem elastischen und/oder thermoplastisch-elastischen
Trägermedium und hartmagnetischen Partikeln,
die in einem Magnetfeld polarisiert werden, wobei
nach dem Abschalten des Magnetfeldes eine Magnetisie-
10 rung zurückbleibt.

Magnetisch steuerbare Elastomerkomposite, sog. magnetorheologische Elastomere (MRE), sind in allgemeiner
Form bereits bekannt. Sehr viel weiter verbreitet
15 sind magnetorheologische Flüssigkeiten (MRF), bei denen die magnetisierbaren Partikel in einer Trägerflüssigkeit verteilt sind. Wegen der fehlenden chemischen Vernetzung haben solche Materialien jedoch keine feste Form, sondern sind flüssig oder als Gele irreversibel verformbar.
20

Ebenfalls bekannt ist die Möglichkeit, in einem MRE während der Vernetzung durch Anlegen eines Magnetfeldes eine kettenförmige Anordnung der Partikel zu erzeugen. Hierfür wurden bislang überwiegend Silicone verwendet, die als gießfähige Vorstufen eingesetzt wurden. Daneben wurde der Einsatz von anderen technisch weit verbreiteten Elastomeren aus Natur- und Synthesekautschuk, wie z.B. Nitrilkautschuk, beschrieben. Auch die Verwendung verschiedener magnetischer Partikelmaterialien in MRE wurde in allgemeiner Form bereits erwähnt.

Den bereits bekannten Systemen ist dabei gemein, dass stets weichmagnetische Partikel eingesetzt werden. Somit sind lediglich Materialien bekannt, deren permanente Beeinflussung der mechanischen Eigenschaften die andauernde Präsenz eines äußeren Magnetfeldes erfordert. Dies ist entweder apparativ aufwändig, da beispielsweise ein zusätzlicher Permanentmagnet in der jeweiligen Vorrichtung eingesetzt werden muss.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es somit, magnetorheologische Komposite bereitzustellen, bei denen eine permanente mechanische Verstärkung der Kompositmatrix durch die magnetischen Materialien ermöglicht ist.

Diese Aufgabe wird bezüglich der Kompositmaterialien mit den Merkmalen des Anspruchs 1 und bezüglich der Aufgabe zur Herstellung der Materialien mit den Merkmalen des Anspruchs 28 gelöst. Die abhängigen Ansprüche stellen dabei jeweils bevorzugte Ausführungsformen dar. Mit den Ansprüchen 39 bis 42 werden Verwendungszwecke der Materialien genannt.

Erfindungsgemäß werden somit magnetorheologische Materialien aus mindestens einem nicht-magnetisierbaren elastomeren und/oder thermoplastisch-elastischen Trägermedium und darin enthalten mindestens eine erste
5 Sorte magnetisierbarer Partikel, bereitgestellt, wobei die magnetisierbaren Partikel aus mindestens einem hartmagnetischen Werkstoff gebildet sind. Erfindungsgemäß werden unter hartmagnetischen Werkstoffen solche Werkstoffe verstanden, wie sie in der Norm
10 DIN IEC 60405-8-1 definiert sind. Durch die erfindungsgemäßen Kompositmaterialien wird somit beispielsweise eine Ausführungsform ermöglicht, bei der die Grundsteifigkeit des Komposits durch die Magnetisierung der hartmagnetischen Partikel bleibend erhöht
15 werden kann. Die Magnetisierung der hartmagnetischen Partikel erfolgt beispielsweise durch ein kurzzeitig angelegtes starkes Magnetfeld eines Elektromagneten. Dies bringt den Vorteil mit sich, dass im Gegensatz zu einem magnetorheologischen Elastomerkomposit mit weichmagnetischen Partikeln das Magnetfeld nicht auf-
20 rechterhalten werden muss, um die Grundsteifigkeit des Elastomerkomposits beizubehalten. Durch den nur kurzzeitig notwendigen Magnetisierungsstrom in der das Feld erzeugenden Spule wird die erforderliche Energiezuführung drastisch reduziert. Andererseits
25 lassen sich durch ein anschließend kurzzeitig angelegtes Magnetfeld veränderter Feldstärke und/oder Feldrichtung die hartmagnetischen Partikel bleibend ummagnetisieren, wodurch eine veränderte bleibende Grundsteifigkeit des Elastomerkomposits erhalten
30 wird. Auf diese Weise können die mechanischen Eigenschaften des Elastomerkomposits wie E-Modul und Schubmodul durch kurzzeitig angelegte Magnetfelder zwischen verschiedenen Stufen geschaltet werden. Die weichste Stufe des Elastomerkomposits entsteht durch
35 eine Entmagnetisierung der hartmagnetischen Partikel.

Durch die elastomeren und/oder thermoplastisch elastomeren Trägermedien grenzen sich die erfindungsgemäßen Kompositmaterialien von kunststoffgebundenen Magneten ab.

5

Vorteilhaft ist dabei, wenn die Remanenz B_r (gemessen nach DIN IEC 60404-5) der dabei eingesetzten hartmagnetischen Werkstoffe mindestens 50 mT, bevorzugt mindestens 150 mT, besonders bevorzugt mindestens 350 mT beträgt. Somit ist gewährleistet, dass die eingesetzten Materialien eine hohe Magnetisierbarkeit aufweisen. Die angegebenen Werte beziehen sich dabei auf die Bestimmung nach DIN IEC 60404-5 an Werkstoffen selbst, aus denen dann die benötigten Partikel oder Pulver hergestellt werden.

15

Insbesondere sind die hartmagnetischen Werkstoffe dabei ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus Legierungen basierend auf Al-Ni-Co, Al-Ni-Co-Fe-Ti, Cr-Fe-Co, Fe-Co-V-Cr, Pt-Co, Cu-Ni-Fe, Seltenerdverbindungen wie RE-Co, RE-Fe-B, RE-Fe-N, wobei RE = Sm, Ce, Pr, Nd und/oder Dy ist, z.B. Nd-Fe-B, Nd-Pr-Fe-Co-Ti-Zr-B, Pr-Fe-Co-Nd-B, Sm-Fe-N; Hartferriten, bevorzugt gemäß der Formel $M^1O \cdot n Fe_2O_3$, wobei $M^1 = Ba, Sr$ und/oder Pb und bevorzugt $4,5 \leq n \leq 6,5$ sowie Mischungen und/oder Legierungen hieraus. Die angegebene Schreibweise („-“) umfasst jeweils immer alle möglichen Zusammensetzungen für die einzelnen Elemente. Bei den genannten Legierungen sind durch die Formulierung „basierend auf“ auch Varianten umfasst, bei denen nicht alle der genannten Elemente enthalten sind, d.h. für einzelne Elemente ist auch der stöchiometrische Faktor 0 möglich.

20

25

30

35

Die erwähnten Legierungen sind dabei so zu verstehen, dass der Gehalt an den jeweiligen Elementen gemäß den

gewünschten einzustellenden Eigenschaften des Werkstoffs variiert werden kann. Diese Maßnahme ist dem Fachmann beispielsweise aus der DIN-Norm IEC 60404-8-1 bekannt, deren gesamter Offenbarungsgehalt zu den genannten Legierungen hiermit durch Bezugnahme aufgenommen wird. Ebenso sind die genannten Legierungen nicht auf die explizit angegebenen Bestandteile beschränkt, sondern sie können auch weitere Elemente, z.B. Cu, Ti, Ni, Si, Fe, Mo, Al, V, Zr, Hf, Ga enthalten. Solche Legierungen sind ebenso in der DIN IEC 60404-8-1 bekannt und werden durch Bezugnahme mit aufgenommen.

Bevorzugte Seltenerdverbindungen sind dabei ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus Nd-Fe-B, Nd-Pr-Fe-Co-Ti-Zr-B, Pr-Fe-Co-Nd-B, Sm-Co und/oder deren Legierungen.

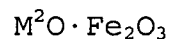
Dabei kann es wünschenswert sein, wenn hartmagnetische Partikel die einzige Sorte magnetischer Partikel darstellen, die in den Kompositmaterialien enthalten sind.

Weiterhin betrifft die Erfindung ebenso Komposite aus einem elastischen Trägermedium und einer Mischung aus hartmagnetischen und weichmagnetischen Partikeln. In diesem Fall wird beim Anlegen eines starken Magnetfeldes durch die hartmagnetischen Partikel eine bleibende Magnetisierung erzeugt, während die Magnetisierung durch die weichmagnetischen Partikel beim Abschalten des Magnetfeldes verschwindet. Auf diese Weise entsteht ein Werkstoff, dessen mechanische Eigenschaften - ähnlich wie bei den bisher bekannten magnetorheologischen Elastomeren mit ausschließlich weichmagnetischen Partikeln - durch ein relativ schwaches Magnetfeld, welches die Magnetisierung der

hartmagnetischen Partikel nicht beeinflusst, reversibel verändert werden können. Abhängig von der Richtung dieses relativ schwachen Magnetfeldes in Bezug auf die Vormagnetisierung der hartmagnetischen Partikel lässt sich die aus beiden Partikelarten resultierende Gesamtmagnetisierung gegenüber der Vormagnetisierung entweder verstärken oder abschwächen. Als Auswirkung davon werden die mechanischen Eigenschaften solcher Elastomerkomposite, wie E-Modul und Schubmodul, reversibel vergrößert bzw. verkleinert. Wird dagegen ein starkes Magnetfeld angelegt, welches die Magnetisierung der hartmagnetischen Partikel verändert, so wird damit auch eine bleibende Veränderung der Magnetisierung des Werkstoffs erreicht.

Bevorzugt sind die weichmagnetischen Partikel dabei aus weichmagnetischen, metallischen Werkstoffen gebildet, insbesondere aus Eisen, Cobalt, Nickel (auch in nichtreiner Form) und Legierungen daraus wie Eisen-Cobalt, Eisen-Nickel; magnetischer Stahl; Eisen-Silizium und/oder deren Mischungen.

Alternativ dazu ist es jedoch ebenso möglich, dass die weichmagnetischen Partikel aus weichmagnetischen oxidkeramischen Werkstoffen gebildet sind, insbesondere aus kubischen Ferriten, Perowskiten und Granaten der allgemeinen Formel



mit einem oder mehreren Metallen aus der Gruppe $M^2 =$ Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ti, Cd oder Mg und/oder deren Mischungen.

Eine weitere bevorzugte Ausführungsform sieht vor, dass die weichmagnetischen Partikel aus Mischferriten, wie Mn-Zn-, Ni-Zn-, Ni-Co-, Ni-Cu-Co-, Ni-Mg-, Cu-Mg-

Ferriten und/oder deren Mischungen gebildet sind.

5 Ebenso ist es jedoch möglich, dass die weichmagnetischen Materialien aus Eisencarbid oder Eisennitrid sowie aus Legierungen von Vanadium, Wolfram, Kupfer und Mangan und/oder deren Mischungen gebildet sind.

10 Die erfindungsgemäß eingesetzten weichmagnetischen Partikel können dabei in reiner Form, verunreinigter Form und/oder als Mischungen vorliegen.

15 Bevorzugt liegt dabei die mittlere Teilchengröße der ersten Sorte magnetisierbarer Partikel und/oder der mindestens einen weiteren Sorte magnetisierbarer Partikel zwischen 5 nm und 10 mm, bevorzugt zwischen 10 nm und 1 mm. Das Mischungsverhältnis der beiden Sorten magnetisierbarer Partikel ist in einem breiten Bereich variierbar und kann auf den jeweiligen speziellen Verwendungszweck abgestimmt werden. So be-
20 trägt das Volumenverhältnis der ersten Sorte magnetisierbarer Partikel und der mindestens einen weiteren Sorte magnetisierbarer Partikel zueinander zwischen 1:99 und 99:1, bevorzugt zwischen 10:90 und 90:10.

25 Die Gesamtheit der magnetisierbaren Partikel, d.h. erste sowie weitere Sorte, bezogen auf 100 Vol-% des magnetorheologischen Materials, liegt dabei vorteilhaft zwischen 1 und 70 Vol.-%, bevorzugt zwischen 10 und 50 Vol.-%.

30 Insbesondere erweist es sich als vorteilhaft, wenn die erste Sorte magnetisierbarer Partikel und/oder die mindestens eine weitere Sorte magnetisierbarer Partikel als Mischungen von Partikeln mit verschiedener Partikelgröße vorliegen. Besonders bevorzugt ist
35 dabei, wenn die Mischung eine bi- oder trimodale Par-

tikelgrößenverteilung ist. Dabei kann die erste Sorte magnetisierbarer Partikel und/oder die mindestens eine weitere Sorte magnetisierbarer Partikel sowohl anisotrop als auch isotrop im Trägermedium verteilt sein. Eine beispielhafte anisotrope Verteilung sieht vor, dass die magnetisierbaren Partikel kettenförmig verteilt sind. Dies kann beispielsweise dadurch erfolgen, dass beim formgebenden Prozess (dies ist beispielsweise Vernetzung bei elastomeren Materialien oder Abkühlung eines thermoplastisch-elastomeren Materials) ein externes Magnetfeld angelegt wird. Dabei verteilen sich die magnetischen Partikel entlang der Feldlinien. Durch die Stärke des während der Vernetzung herrschenden Magnetfeldes lässt sich die eingeprägte Mikrostruktur beeinflussen.

Die Grundsteifigkeit des Elastomerkomposits ohne Magnetfeld kann durch das gewählte Elastomermaterial (Polymerzusammensetzung, Kettenlänge, etc.) sowie die magnetischen Partikel beeinflusst werden. Der Einfluss der magnetischen Partikel auf die Grundsteifigkeit des Elastomerkomposits hängt von der Volumenkonzentration, aber auch von der Art der Partikel, der Partikelgrößenverteilung und der Partikelform ab. Eine weitere Einflussmöglichkeit ergibt sich außerdem durch die Verwendung von Weichmachern, wie beispielsweise schwerflüchtigen Ölen. Dies eröffnet die Möglichkeit der Herstellung von extrem weichen Elastomerkompositen, wodurch höhere Steigerungsfaktoren der mechanischen Eigenschaften erreicht werden können. Diese Zusammenhänge sind bereits bekannt. Neu ist die Möglichkeit, durch den Einsatz von hartmagnetischen Partikeln im Komposit eine durch ein ausreichend starkes Magnetfeld veränderbare und nach dem Abschalten des Magnetfeldes bleibende Magnetisierung und damit veränderbare mechanische Eigenschaften des Kompo-

sitmaterials zu erzeugen.

Das Trägermedium zeichnet sich dabei bevorzugt durch einen Schubmodul < 500 kPa, bevorzugt < 250 kPa, besonders bevorzugt < 100 kPa gemessen bei 10 Hz und einer Deformation von 1 %, sowie durch eine Shorehärte A < 20 , bevorzugt < 10 aus. Ebenso ist es bevorzugt, wenn das Trägermedium einen E-Modul < 1500 kPa, bevorzugt < 750 kPa, besonders bevorzugt < 300 kPa aufweist.

Als bevorzugte Materialien für das Trägermedium kommen insbesondere gießfähige Elastomermaterialien, wie Silikone, Polyurethane und/oder Styrol-Block-Copolymere, z.B. Styrol-Olefin-Block-Copolymere, insbesondere Styrol-Ethylen-Butylen-Block-Copolymere, Styrol-Ethylen-Propylen-Block-Copolymere und/oder Polynorbornenen in Frage.

Die rheologischen Eigenschaften bzw. weitere mechanische Eigenschaften des Trägermaterials können insbesondere durch Zugabe von Additiven, wie beispielsweise Dispergiermittel, Antioxidantien, Entschäumer und/oder Antiverschleißmittel positiv beeinflusst werden.

Ebenso ist die Zugabe von weiteren Additiven, z.B. anorganischen Partikeln, wie SiO_2 , TiO_2 , Eisenoxiden, Schichtsilicaten oder organischen Zusatzstoffen sowie Kombinationen daraus, möglich.

Weiterhin können ebenso Additive, wie beispielsweise Additive zur Herabsetzung von Abrasionserscheinungen, partikelförmige Zusätze wie Graphit, Perfluorethylen oder Molybdänverbindungen wie Molybdändisulfit sowie Kombinationen daraus enthalten sein.

Als Alternative hierzu sind jedoch ebenso Additive zum Einsatz für die Oberflächenbehandlung von Werkstücken, abrasiv wirkende und/oder chemisch ätzende Zusatzstoffe, wie z.B. Korund, Cerioxide, Siliziumcarbid und/oder Diamant möglich.

Insbesondere ist dem magnetorheologischen Material ein Weichmacher zugesetzt, der besonders vorteilhaft in einer Menge von mindestens 10 Gew.-%, bevorzugt 30 Gew.-%, bezogen auf das Trägermedium, enthalten ist. Dabei kann der Weichmacher auch bis zu 200 Gew.-% des Trägermediums ausmachen, wodurch äußerst weiche Elastomer- bzw. thermoplastische-Elastomermatrices erhältlich sind. Bevorzugt ist der Weichmacher ausgewählt aus paraffinischem und/oder naphthenischem Öl und/oder Siliconöl.

Eine Rahmenrezeptur des magnetorheologischen Materials wird im Folgenden angegeben. Dabei beträgt

- der Anteil der magnetisierbaren Partikel zwischen 1 und 70 Vol.-%, bevorzugt zwischen 10 und 50 Vol.-%,
- der Anteil des Trägermediums inklusive Weichmacher zwischen 30 und 99 Vol.-%, bevorzugt zwischen 40 und 90 Vol.-%,
- der Anteil der Additive zwischen 0,001 und 20 Massen-%, bevorzugt zwischen 0,01 und 15 Massen-% bezogen auf die magnetisierbaren Feststoffe

Erfindungsgemäß wird ebenso ein Verfahren zur Herstellung eines magnetorheologischen Materials bereitgestellt. Dabei zeichnet sich das Verfahren dadurch

aus, dass mindestens ein Vorläufer eines elastomeren Materials und/oder ein thermoplastisch-elastisches Material mindestens mit der ersten Sorte magnetisierbarer Partikel vermengt und anschließend durch chemische und/oder physikalische Vernetzung ein Komposit des magnetorheologischen Materials hergestellt wird. Unter Vorläufern von Elastomeren werden dabei beispielsweise Stoffe aus der Gruppe der Polydimethylsiloxane mit Vinylgruppen oder Polyole verstanden, die dann jeweils mit Vernetzungspartnern reagieren.

Bevorzugt kann vor und/oder während der Kompositherstellung ein Magnetfeld angelegt werden, wobei erreicht werden kann, dass eine anisotrope Verteilung der magnetisierbaren Partikel entlang der Feldlinien erhalten wird.

Weiterhin ist bevorzugt, dass beim Vermengen zusätzlich mindestens ein Lösungsmittel ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus Toluol, Kohlenwasserstoffe, Aceton zugegeben wird. Das Lösungsmittel wird vorteilhafterweise in einem weiteren Schritt wieder verdampft.

Weiterhin kann beim Vermengen ebenso der Weichmacher und/oder die weitere Sorte an magnetisierbaren weichmagnetischen Partikeln zugesetzt werden.

Weiter bevorzugt ist, wenn im Falle von Elastomeren während der Kompositherstellung eine chemische Vernetzung des mindestens einen Trägermediums erfolgt. Dies kann z.B. durch eine Temperatur- oder Wärmebehandlung erfolgen. Ebenso ist auch die alleinige oder zusätzliche Zugabe von Vernetzungschemikalien, z.B. Isocyanaten oder Polysiloxanen mit enthaltenen Si-H-Gruppen zur Vernetzung denkbar.

5 Bevorzugte Temperaturbereiche bei der Wärmebehandlung liegen dabei zwischen 25 bis 150 °C, bevorzugt zwischen 25 und 100 °C. Diese Temperaturen werden bevorzugt über eine Zeitdauer zwischen 1 s und 10 h gehalten.

10 Die Vernetzung von thermoplastischen Elastomeren als Trägermedium erfolgt schlicht durch Abkühlung des erhaltenen Komposits, wobei sich die Matrix verfestigt. Insbesondere erfolgt dies bei Temperaturen zwischen 25 und 150 °C, bevorzugt bei 30 bis 100 °C.

15 Weiterhin ist es auch möglich, dass während und/oder im Anschluss an die Kompositherstellung eine Formgebung, beispielsweise durch Extrudieren, Spritzgießen oder Gießen erfolgt. Somit können die magnetorheologischen Kompositmaterialien in beliebige Form gebracht werden.

20 Insbesondere ist es bevorzugt, wenn während der Kompositherstellung eine Einstellung des Arbeitspunktes der Steifigkeit des magnetorheologischen Komposits durch Auswahl der Konzentration der mindestens einen ersten Sorte magnetisierbarer Partikel und/oder gegebenenfalls der Auswahl des Mischungsverhältnisses der mindestens einen ersten Sorte magnetisierbarer Partikel und der mindestens einen weiteren Sorte magnetisierbarer Partikel erfolgt.

30 Es wurde festgestellt, dass bei den erfindungsgemäßen Elastomerkompositen sowohl der Speichermodul (beschreibt das elastische Verhalten bzw. Energiespeicherung) als auch der Verlustmodul (beschreibt das viskose Verhalten bzw. Energiedissipation) durch das
35 Magnetfeld beeinflusst werden. Gleiches gilt auch für

den Verlustfaktor als Verhältnis von Verlust- und Speichermodule. Alle diese Eigenschaften werden durch die hartmagnetischen Partikel remanent und durch die weichmagnetischen Partikel reversibel beeinflusst.

5 Damit entstehen technisch bedeutende Möglichkeiten der gesteuerten Schwingungsdämpfung bzw. Schwingungs-isolation.

10 Eine weitere Möglichkeit der erfindungsgemäßen Elastomerkomposite mit Mischungen aus hartmagnetischen und weichmagnetischen Partikeln besteht darin, dass bei einer vorgegebenen Magnetisierung der hartmagnetischen Partikel durch ein vorher angelegtes starkes Magnetfeld die Magnetisierung der weichmagnetischen
15 Partikel durch ein anschließend angelegtes schwächeres Magnetfeld, welches die Magnetisierung der hartmagnetischen Partikel nicht beeinflusst, je nach Richtung des schwächeren Magnetfeldes die ursprüngliche Magnetisierung des Komposits entweder verstärkt
20 oder schwächt. Dementsprechend können auch die mechanischen Eigenschaften des erfindungsgemäßen Elastomerkomposite mit hartmagnetischen und weichmagnetischen Partikeln, wie E-Modul oder Schubmodul, abhängig von der Feldrichtung entweder erhöht oder verringert werden. Durch die Vormagnetisierung kann eine erhöhte Grundsteifigkeit des Elastomerkomposits eingestellt werden. Das anschließend angelegte schwächeres Magnetfeld kann je nach Richtung das durch die hartmagnetischen Partikel erzeugte Magnetfeld entwe-
30 der verstärken oder schwächen und damit die Steifigkeit des Elastomerkomposites (E-Modul bzw. Schubmodul) entweder erhöhen oder verringern. Mit der Vormagnetisierung kann beispielsweise der Arbeitspunkt der Steifigkeit in einem schwingungsmindernden System
35 festgelegt werden.

Eine zusätzliche Eigenschaft des magnetorheologischen Elastomerkomposits besteht im Auftreten eines Formgedächtniseffektes. Im versteiften Zustand des Komposits kann ein aus dem Kompositmaterial abgeformter Gegenstand durch Einwirken von äußeren Kräften verformt werden. Der versteifte Zustand kann entweder durch eine remanente Magnetisierung von hartmagnetischen Partikeln oder durch eine Mischung von hartmagnetischen und weichmagnetischen Partikeln in der Elastomermatrix erreicht werden. Nach der Entmagnetisierung geht der Gegenstand in seine ursprüngliche Form zurück. Dieser Effekt lässt sich darauf zurückführen, dass im magnetisierten Zustand die magnetischen Kräfte zwischen den Teilchen dominieren, während das Verhalten ohne Magnetisierung durch die elastischen Kräfte des Elastomers bestimmt wird. Eine Voraussetzung hierfür besteht darin, dass die elastischen Kräfte nicht zu stark sind. Eine weiche Elastomermatrix ist daher besonders vorteilhaft. Das beschriebene Verhalten kann für Sicherheitssysteme oder künstliche Muskeln genutzt werden.

Aus der Vielseitigkeit der erfindungsgemäßen magnetorheologischen Elastomerkomposite ergeben sich weitreichende Anwendungsmöglichkeiten. Beispielhaft seien hierzu folgende Anwendungsmöglichkeiten stichpunktartig aufgeführt:

- in adaptiven Stoß- und Schwingungsdämpfern, Schwingungsisolatoren, steuerbaren Bremsen, Kupplungen, Aktoren, Sicherheitsschaltern, haptischen Systemen, künstlichen Muskeln sowie in Sport- oder Trainingsgeräten,
- zur Oberflächenbearbeitung von Werkstücken,
- zur Erzeugung und/oder Darstellung haptischer Informationen wie Schriftzeichen, computersimulierte

Objekte, Sensorsignale oder Bilder; zur Simulation von viskosen, elastischen und/oder visko-elastischen Eigenschaften bzw. der Konsistenzverteilung eines Objekts, insbesondere zu Trainings- und/oder Forschungszwecken und/oder für medizinische Anwendungen,

- als magnetisch steuerbare Elastomerkomposite zusammen mit einem Magnetkreis, der Elektromagnete und Permanentmagnete zur Einstellung des Arbeitspunktes der Steifigkeit enthält.

Ausführungsbeispiel 1:

Magnetorheologisches Elastomer, bestehend aus thermoplastischem Elastomer, 90 % Weichmacher, bezogen auf das thermoplastische Elastomer, und 30 Vol.-% hartmagnetischen Partikeln

12 g Granulat (Styrol-Ethylen-Propylen-Block-Copolymer, Dichte $0,89 \text{ g/cm}^3$, HTP 8534/11, Thermolast K, Kraiburg TPE GmbH) werden mit 10,8 g Paraffin dünnflüssig Ph Eur, BP, NF (Dichte $0,85 \text{ g/cm}^3$, Merck) und mit 83,057 g Hartmagnetpulver MQP-S-119 (Dichte $7,4 \text{ g/cm}^3$, Magnequench, mittlere Partikelgröße $45 \mu\text{m}$) in ein Becherglas gegeben und mit einem Spatel vermischt. Anschließend werden 26 g Toluol hinzugegeben und vermischt. Die Mischung wird in einem Ofen auf 90°C erhitzt und alle 5-10 Minuten gründlich umgerührt, wodurch das Auflösen des Polymers beschleunigt und das Ausdampfen des Toluols gefördert wird. Nach dem Verdicken der Masse wird diese alle 15 Minuten umgerührt, bis das Toluol vollständig verdampft ist. Die Mischung wird anschließend mit einem Spritzgießwerkzeug verarbeitet. Auf diese Weise werden plattenförmige Proben mit einer Dicke von 1 mm hergestellt.

Ausführungsbeispiel 2:

Magnetorheologisches Elastomer, bestehend aus thermoplastischem Elastomer, 90 % Weichmacher, bezogen auf das thermoplastische Elastomer, und 10 Vol.-% hartmagnetischen Partikeln sowie 20 Vol.-% weichmagnetischen Partikeln

12 g Granulat (Styrol-Ethylen-Propylen-Block-Copolymer, Dichte 0,89 g/cm³, HTP 8534/11, Thermolast K, Kraiburg TPE GmbH) werden mit 10,8 g Paraffin dünnflüssig Ph Eur, BP, NF (Dichte 0,85 g/cm³, Merck), mit 27,685 g Hartmagnetpulver MQP-S-119 (Dichte 7,4 g/cm³, mittlere Partikelgröße 45 µm, Magnequench) und mit 58,491 g Weichmagnetpulver (Carbonyleisen SQ, Dichte 7,817 g/cm³, mittlere Partikelgröße 5 µm, BASF) in ein Becherglas gegeben und mit einem Spatel vermischt. Anschließend werden 26 g Toluol hinzugegeben und vermischt. Die Mischung wird in einem Ofen auf 90 °C erhitzt und alle 5-10 Minuten gründlich umgerührt, wodurch das Auflösen des Polymers beschleunigt und das Ausdampfen des Toluols gefördert wird. Nach dem Verdicken der Masse wird diese alle 15 Minuten umgerührt, bis das Toluol vollständig verdampft ist. Die Mischung wird anschließend mit einem Spritzgießwerkzeug verarbeitet. Auf diese Weise werden plattenförmige Proben mit einer Dicke von 1 mm hergestellt.

Patentansprüche

5

1. Magnetorheologische Materialien aus mindestens einem nicht-magnetisierbaren elastomeren und/oder thermoplastisch-elastischen Trägermedium und darin enthalten mindestens eine erste
10 Sorte magnetisierbarer Partikel, dadurch gekennzeichnet, dass die magnetisierbaren Partikel aus mindestens einem hartmagnetischen Werkstoff gebildet sind.
2. Magnetorheologische Materialien nach Anspruch 1,
15 dadurch gekennzeichnet, dass die Remanenz B_r des mindestens einen hartmagnetischen Werkstoffs mindestens 50 mT, bevorzugt mindestens 150 mT, besonders bevorzugt mindestens 350 mT beträgt.
3. Magnetorheologische Materialien nach einem der
20 vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens ein hartmagnetischer Werkstoff ausgewählt ist aus der Gruppe bestehend aus Legierungen basierend auf Al-Ni-Co, Al-Ni-Co-Fe-Ti, Cr-Fe-Co, Fe-Co-V-Cr, Pt-Co, Cu-Ni-Fe, Seltenerdverbindungen wie RE-Co, RE-Fe-B, RE-Fe-N,
25 wobei RE = Sm, Ce, Pr, Nd und/oder Dy ist, z.B. Nd-Fe-B, Nd-Pr-Fe-Co-Ti-Zr-B, Pr-Fe-Co-Nd-B, Sm-Fe-N; Hartferriten, bevorzugt gemäß der Formel $M^1O \cdot n Fe_2O_3$, wobei $M^1 = Ba, Sr$ und/oder Pb
30 und bevorzugt $4,5 \leq n \leq 6,5$ sowie Mischungen und/oder Legierungen hieraus.
4. Magnetorheologische Materialien nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet

net, dass mindestens eine weitere Sorte magnetisierbarer Partikel enthalten ist.

5. Magnetorheologische Materialien nach vorhergehendem Anspruch, dadurch gekennzeichnet, dass die mindestens eine weitere Sorte magnetisierbarer Partikel aus mindestens einem weichmagnetischen Werkstoff besteht.
6. Magnetorheologische Materialien nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens ein weichmagnetischer Werkstoff ausgewählt ist aus der Gruppe bestehend aus Eisen, Cobalt, Nickel (auch in nichtreiner Form) und Legierungen daraus wie Eisen-Cobalt, Eisen-Nickel; magnetischer Stahl; Eisen-Silizium und/oder deren Mischungen.
7. Magnetorheologische Materialien nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens ein weichmagnetischer Werkstoff aus weichmagnetischen oxidkeramischen Werkstoffen ausgewählt ist, insbesondere aus kubischen Ferriten, Perowskiten und Granaten der allgemeinen Formel
- $$M^2O \cdot Fe_2O_3$$
- mit einem oder mehreren Metallen aus der Gruppe $M^2 = Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ti, Cd$ oder Mg und/oder deren Mischungen.
8. Magnetorheologische Materialien nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens ein weichmagnetischer Werkstoff ausgewählt ist aus der Gruppe bestehend aus Mischferriten, wie Mn-Zn-, Ni-Zn-, Ni-Co-, Ni-Cu-Co-, Ni-Mg-, Cu-Mg-Ferriten und/oder deren Mischungen.

- 5 9. Magnetorheologische Materialien nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens ein weichmagnetischer Werkstoff ausgewählt ist aus der Gruppe bestehend aus Eisencarbid oder Eisen-
nitrid sowie aus Legierungen von Vanadium, Wolfram, Kupfer und Mangan und/oder deren Mischungen.
- 10 10. Magnetorheologische Materialien nach einem der Ansprüche 4 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass die weichmagnetischen Materialien in reiner Form, verunreinigter Form und/oder als Mischungen daraus vorliegen.
- 15 11. Magnetorheologische Materialien nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die mittlere Teilchengröße der ersten Sorte magnetisierbarer Partikel und/oder der mindestens einen weiteren Sorte magnetisierbarer Partikel zwischen 5 nm und 10 µm, bevorzugt zwischen 10 nm und 1 µm liegt.
- 20 12. Magnetorheologische Materialien nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Volumenverhältnis der ersten Sorte magnetisierbarer Partikel und der mindestens einen weiteren Sorte magnetisierbarer Partikel zueinander zwischen 1:99 und 99:1, bevorzugt zwischen 10:90 und 90:10 liegt.
- 25 13. Magnetorheologische Materialien nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass bezogen auf 100 Vol.-% der Gesamtfeststoffgehalt an magnetisierbaren Partikeln zwischen 1 und 70 Vol.-%, bevorzugt zwischen 10 und 50 Vol.-% liegt.

14. Magnetorheologische Materialien nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die erste Sorte magnetisierbarer Partikel und/oder die mindestens eine weitere Sorte magnetisierbarer Partikel als Mischungen von Partikeln mit verschiedener Partikelgröße vorliegen.
15. Magnetorheologische Materialien nach vorhergehendem Anspruch, dass die Mischung eine bi- oder trimodale Partikelgrößenverteilung ist.
16. Magnetorheologische Materialien nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die erste Sorte magnetisierbarer Partikel und/oder die mindestens eine weitere Sorte magnetisierbarer Partikel eine anisotrope Verteilung in dem mindestens einen Trägermedium aufweisen.
17. Magnetorheologische Materialien nach einem der Ansprüche 1 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass die erste Sorte magnetisierbarer Partikel und/oder die mindestens eine weitere Sorte magnetisierbarer Partikel eine isotrope Verteilung in dem mindestens einen Trägermedium aufweisen.
18. Magnetorheologische Materialien nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das mindestens eine Trägermedium einen Schubmodul < 500 kPa, bevorzugt < 250 kPa, besonders bevorzugt < 100 kPa gemessen bei 10 Hz und einer Deformation von 1 % aufweist.
19. Magnetorheologische Materialien nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das mindestens eine Trägermedium eine Shorehärte A < 20 , bevorzugt < 10 aufweist.

20. Magnetorheologische Materialien nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das mindestens eine Trägermedium einen E-Modul < 1500 kPa, bevorzugt < 750 kPa, besonders bevorzugt < 300 kPa aufweist.
21. Magnetorheologische Materialien nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das mindestens eine elastomere und/oder thermoplastisch elastomere Trägermedium ausgewählt ist aus der Gruppe bestehend aus Silikonen, Polyurethanen und/oder Styrol-Block-Copolymeren, z.B. Styrol-Olefin-Block-Copolymeren, insbesondere Styrol-Ethylen-Butylen-Block-Copolymeren, Styrol-Ethylen-Propylen-Block-Copolymeren und/oder Polynorbornenen.
22. Magnetorheologische Materialien nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass sie als Additive, Dispergiermittel, Antioxidantien, Entschäumer und/oder Antiverschleißmittel enthalten.
23. Magnetorheologische Materialien nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass sie als weitere Additive, zur Herabsetzung von Abrasionserscheinungen, partikelförmige Zusätze wie Graphit, Perfluorethylen oder Molybdänverbindungen wie Molybdändisulfit sowie Kombinationen daraus enthalten.
24. Magnetorheologische Materialien nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass sie als weitere Additive, zum Einsatz für die Oberflächenbehandlung von Werkstücken, abrasiv wirkende und/oder chemisch ätzende Zu-

satzstoffe wie z.B. Korund, Cerioxide, Siliziumcarbid und/oder Diamant enthalten.

- 5 25. Magnetorheologische Materialien nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass sie bezogen auf das Trägermedium mindestens 10 Gew.-%, bevorzugt 30 bis 200 Gew.-% Weichmacher enthalten.
- 10 26. Magnetorheologische Materialien nach vorhergehendem Anspruch, dadurch gekennzeichnet, dass der Weichmacher ausgewählt ist aus paraffinischem und/oder naphthenischem Öl und/oder Siliconöl.
- 15 27. Magnetorheologische Materialien nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass
- der Anteil der magnetisierbaren Partikel zwischen 1 und 70 Vol.-%, bevorzugt zwischen 10 und 50 Vol.-%, liegt,
 - 20 - der Anteil des Trägermediums inklusive Weichmacher zwischen 30 und 99 Vol.-%, bevorzugt zwischen 40 und 90 Vol.-%, liegt,
 - 25 - der Anteil der Additive zwischen 0,001 und 20 Massen-%, bevorzugt zwischen 0,01 und 15 Massen-% bezogen auf die magnetisierbaren Feststoffe liegt.
- 30 28. Verfahren zur Herstellung von magnetorheologischen Materialien nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens ein Vorläufer eines elastomeren Materials und/oder ein thermoplastisch-elastisches Material mindestens mit der ersten Sorte magneti-

sierbarer Partikel vermennt und anschließend durch chemische und/oder physikalische Vernetzung ein Komposit des magnetorheologischen Materials hergestellt wird.

- 5 29. Verfahren nach vorhergehendem Anspruch, dadurch gekennzeichnet, dass vor und/oder während der Kompositherstellung ein Magnetfeld angelegt wird.
- 10 30. Verfahren nach einem der Ansprüche 28 bis 29, dadurch gekennzeichnet, dass beim Vermengen zusätzlich mindestens ein Lösungsmittel ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus Toluol, Kohlenwasserstoffe, Aceton zugegeben wird.
- 15 31. Verfahren nach vorhergehendem Anspruch, dadurch gekennzeichnet, dass das mindestens eine Lösungsmittel nach Abschluss des Vermengens verdampft wird.
- 20 32. Verfahren nach einem der Ansprüche 28 bis 31, dadurch gekennzeichnet, dass beim Vermengen zusätzlich der mindestens eine Weichmacher zugesetzt wird.
- 25 33. Verfahren nach einem der Ansprüche 28 bis 32, dadurch gekennzeichnet, dass beim Vermengen die mindestens eine weitere Sorte magnetisierbarer Partikel bestehend aus weichmagnetischen Werkstoffen zugesetzt wird.
- 30 34. Verfahren nach einem der Ansprüche 28 bis 33, dadurch gekennzeichnet, dass die chemische Vernetzung durch Temperaturerhöhung auf Temperaturen im Bereich von 25 bis 150 °C, bevorzugt im Bereich von 25 bis 100 °C erfolgt.

35. Verfahren nach vorhergehendem Anspruch, dadurch gekennzeichnet, dass die Temperaturbeaufschlagung über einen Zeitraum zwischen 1 s und 10 h erfolgt.
- 5 36. Verfahren nach einem der Ansprüche 28 bis 35, dadurch gekennzeichnet, dass die physikalische Vernetzung durch Temperaturerniedrigung auf Temperaturen im Bereich von 25 bis 150 °C, bevorzugt im Bereich von 30 bis 100 °C erfolgt.
- 10 37. Verfahren nach einem der Ansprüche 28 bis 36, dadurch gekennzeichnet, dass während und/oder im Anschluss an die Kompositherstellung eine Formgebung, beispielsweise durch Extrudieren, Spritzgießen oder Gießen erfolgt.
- 15 38. Verfahren nach einem der Ansprüche 28 bis 37, dadurch gekennzeichnet, dass während der Kompositherstellung eine Einstellung des Arbeitspunktes der Steifigkeit des magnetorheologischen Komposits durch Auswahl der Konzentration der
20 mindestens einen ersten Sorte magnetisierbarer Partikel und/oder gegebenenfalls der Auswahl des Mischungsverhältnisses der mindestens einen ersten Sorte magnetisierbarer Partikel und der mindestens einen weiteren Sorte magnetisierbarer
25 Partikel erfolgt.
- 30 39. Verwendung der magnetorheologischen Materialien nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 27 in adaptiven Stoß- und Schwingungsdämpfern, Schwingungsisolatoren, steuerbaren Bremsen, Kupplungen, Aktoren, Sicherheitsschaltern, haptischen Systemen, künstlichen Muskeln sowie in Sport- oder Trainingsgeräten.

40. Verwendung der magnetorheologische Materialien nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 27 zur Oberflächenbearbeitung von Werkstücken.

5 41. Verwendung der magnetorheologischen Materialien nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 27 zur Erzeugung und/oder Darstellung haptischer
Informationen wie Schriftzeichen, computersimu-
lierte Objekte, Sensorsignale oder Bilder; zur
10 Simulation von viskosen, elastischen und/oder visko-elastischen Eigenschaften bzw. der Konsistenzverteilung eines Objekts, insbesondere zu Trainings- und/oder Forschungszwecken und/oder für medizinische Anwendungen.

15 42. Verwendung der magnetorheologischen Materialien nach einem der vorhergehenden Ansprüche 1 bis 27 als magnetisch steuerbare Elastomerkomposite zusammen mit einem Magnetkreis, der Elektromagnete und Permanentmagnete zur Einstellung des Arbeitspunktes der Steifigkeit enthält.

20

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/EP2008/004902

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
 INV. H01F1/375 H01F1/44 F16F1/36

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H01F F16F

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data, INSPEC, COMPENDEX

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	VON LOCKETTE P R ET AL: "Particle mixtures in magnetorheological elastomers (MREs)" PROCEEDINGS OF SPIE - THE INTERNATIONAL SOCIETY FOR OPTICAL ENGINEERING - SMART STRUCTURES AND MATERIALS 2006 - ACTIVE MATERIALS: BEHAVIOR AND MECHANICS 2006 SPIE US, vol. 6170, 2006, pages 61700T-1-61700T-13, XP002493893 NY, US abstract Tabelle 1, Seite 61700T-3, Sample I figures 13,14 pages 61700T-5, paragraph 4. ----- -/-	1-4, 11, 13, 18, 20-22, 28, 34, 35, 37, 39, 42

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

- *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- *E* earlier document but published on or after the international filing date
- *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- *T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- *&* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

1 September 2008

Date of mailing of the international search report

17/09/2008

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
 NL - 2280 HV Rijswijk
 Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
 Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Russell, Graham

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/EP2008/004902

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	FLORIAN ZSCHUNKE: "Aktoren auf Basis des magnetorheologischen Effekts" INTERNET CITATION, [Online] 20 June 2005 (2005-06-20), - 22 September 2005 (2005-09-22) XP002400347 Universität Erlangen-Nürnberg, DE Retrieved from the Internet: URL: http://deposit.ddb.de/cgi-bin/dokserv?idn=976717409&dok_var=d1&dok_ext=pdf&filename=976717409.pdf#search=%22Magnetorheologische%20Elastomermatrix%22 [retrieved on 2006-09-25] pages 73-74, paragraph 5.2.2; figures 49, 50	1-42
A	----- WO 2006/024457 A (TEN FORSCHUNG E V FRAUNHOFER G [DE]; BOESE HOLGER [DE]; ROEDER RENE [D] 9 March 2006 (2006-03-09) page 5, line 11 - page 6, line 23	1-42
P, X	----- WO 2007/118639 A (FRAUNHOFER GES FORSCHUNG [DE]; BOESE HOLGER [DE]; ROEDER RENE [DE]; RE) 25 October 2007 (2007-10-25) claims 1, 10, 11, 34-38	1-42
P, X	----- WO 2008/024744 A (VANDELLEN JAY [US]) 28 February 2008 (2008-02-28) claims 24-29	1

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2008/004902

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 2006024457	A	09-03-2006	DE 102004041649 A1 EP 1782438 A1	02-03-2006 09-05-2007
WO 2007118639	A	25-10-2007	DE 102006016773 A1	11-10-2007
WO 2008024744	A	28-02-2008	US 2008045358 A1	21-02-2008

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

INV. H01F1/375 H01F1/44 F16F1/36

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

H01F F16F

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data, INSPEC, COMPENDEX

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	VON LOCKETTE P R ET AL: "Particle mixtures in magnetorheological elastomers (MREs)" PROCEEDINGS OF SPIE - THE INTERNATIONAL SOCIETY FOR OPTICAL ENGINEERING - SMART STRUCTURES AND MATERIALS 2006 - ACTIVE MATERIALS: BEHAVIOR AND MECHANICS 2006 SPIE US, Bd. 6170, 2006, Seiten 61700T-1-61700T-13, XP002493893 NY, US Zusammenfassung Tabelle 1, Seite 61700T-3, Sample I Abbildungen 13,14 Seiten 61700T-5, Absatz 4. ----- -/--	1-4, 11, 13, 18, 20-22, 28, 34, 35, 37, 39, 42



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

A Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

E älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

L Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

O Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

P Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

T Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

X Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

Y Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

& Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

1. September 2008

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

17/09/2008

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Russell, Graham

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	FLORIAN ZSCHUNKE: "Aktoren auf Basis des magnetorheologischen Effekts" INTERNET CITATION, [Online] 20. Juni 2005 (2005-06-20), - 22. September 2005 (2005-09-22) XP002400347 Universität Erlangen-Nürnberg, DE Gefunden im Internet: URL: http://deposit.ddb.de/cgi-bin/dokserv?idn=976717409&dok_var=d1&dok_ext=pdf&file_name=976717409.pdf#search=%22Magnetorheologische%20Elastomermatrix%22 [gefunden am 2006-09-25] Seiten 73-74, Absatz 5.2.2; Abbildungen 49, 50	1-42
A	WO 2006/024457 A (TEN FORSCHUNG E V FRAUNHOFER G [DE]; BOESE HOLGER [DE]; ROEDER RENE [D] 9. März 2006 (2006-03-09) Seite 5, Zeile 11 - Seite 6, Zeile 23	1-42
P, X	WO 2007/118639 A (FRAUNHOFER GES FORSCHUNG [DE]; BOESE HOLGER [DE]; ROEDER RENE [DE]; RE) 25. Oktober 2007 (2007-10-25) Ansprüche 1, 10, 11, 34-38	1-42
P, X	WO 2008/024744 A (VANDELLEN JAY [US]) 28. Februar 2008 (2008-02-28) Ansprüche 24-29	1

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2008/004902

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
WO 2006024457 A	09-03-2006	DE 102004041649 A1 EP 1782438 A1	02-03-2006 09-05-2007
WO 2007118639 A	25-10-2007	DE 102006016773 A1	11-10-2007
WO 2008024744 A	28-02-2008	US 2008045358 A1	21-02-2008