

SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

(11) CH 720 860 A1

Patentanmeldung für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

(51) Int. Cl.: G01L 1/12 (2006.01)
G01D 5/14 (2006.01)
G01L 5/22 (2006.01)
B25J 13/08 (2006.01)

(12) PATENTANMELDUNG

(21) Anmeldenummer: 000634/2023

(22) Anmeldedatum: 15.06.2023

(43) Anmeldung veröffentlicht: 30.12.2024

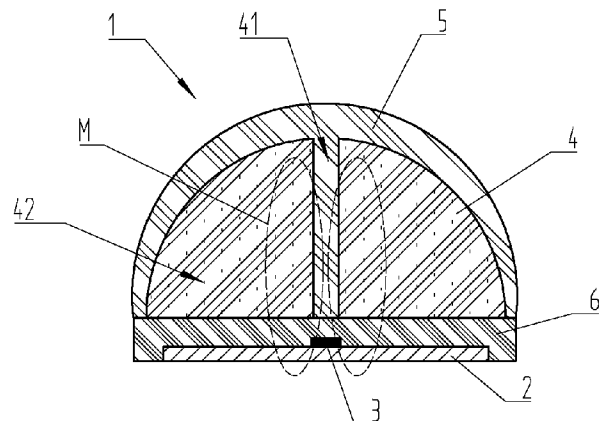
(71) Anmelder:
Dätwyler Schweiz AG, Militärstrasse 7
6467 Schattdorf (CH)

(72) Erfinder:
Samira Jafari, 8041 Zurich (CH)
Yassine Ahaggach, 8047 Zürich (CH)
Yassine Lamkharbech, 6460 Altdorf (CH)

(74) Vertreter:
PRINS Intellectual Property AG, Mellingerstrasse 12
5443 Niederrohrdorf (CH)

(54) Taktile Sensor auf Basis magnetisch aktiver Elastomere

(57) Die Erfindung betrifft eine taktile Sensoreinrichtung (1), z.B. für Anwendungen im Bereich der Robotik, umfassend ein magnetisches Sensorelement (3), das ein Magnetfeld messen kann, und einen magnetisierten Körper (4) aus elastomerem Material, das gleichmäßig verteiltes, permanent magnetisiertes Füllmaterial (42), welches ein permanentes inneres Magnetfeld (M) erzeugt, umfasst; wobei der magnetisierte Körper (4) in der Nähe des magnetischen Sensorelements (3) derart angeordnet ist, dass die magnetische Flussdichte des inneren Magnetfeldes (M) durch das magnetische Sensorelement (3) messbar ist; und wobei die taktile Sensorvorrichtung (1) ferner eine Verarbeitungseinheit umfasst, die zum Erfassen einer Änderung des Magnetfelds bei einer externen Wechselwirkung mit der taktilen Sensorvorrichtung konfiguriert ist.



Beschreibung

Technisches Gebiet

[0001] Die Erfindung betrifft eine taktile Sensorvorrichtung mit einem permanent magnetisierten Element, einem magnetischen Sensorelement und einer Verarbeitungseinheit, die zum Messen einer Änderung des Magnetfeldes bei einer externen Wechselwirkung mit der taktilen Sensorvorrichtung konfiguriert ist.

Technischer Hintergrund

[0002] Eine besondere Herausforderung im Bereich der Robotik und der Präzisionshandhabung ist die Entwicklung der weichen taktilen Kraftmessung. In der Vergangenheit wurden verschiedene Technologien verfolgt, darunter gedruckte Elektronik sowie piezoresistive und piezoelektrische Materialien, die jeweils ihre Vor- und Nachteile haben.

[0003] Verschiedene Anwendungen (z. B. Robotergreifer, Oberflächenabtastung usw.) erfordern einen taktilen Sensor, der in der Lage ist, die Nähe oder den Kontakt eines Objekts oder die auf den Sensor ausgeübte Kraft auf konforme, zerstörungsfreie Weise zu erfassen. In diesen Anwendungen müssen Roboter, Werkzeuge oder Endeffektoren, die in einer Umgebung arbeiten, in der Lage sein, Objekte vor und in dem Moment zu erkennen, in dem sie berührt werden. Dazu werden Näherungs-, Kontakt- und Druckinformationen benötigt. Bei Mensch-Maschine-Schnittstellen besteht auch die Notwendigkeit, Interaktionseingänge wie Nähe, Kontakt und Kraft zu messen. Daher ist ein konformer ergonomischer, berührungsfreundlicher Sensor erforderlich.

[0004] Le Signor 2022 [1], Le Signor 2023 [2] und WO23036900 stellen einen 3D-Magnetkraftsensor für das robotergestützte Greifen und die Rutscherkennung vor. Der Sensor besteht aus einem Magneten, der in ein verformbares Elastomer eingebettet ist, das auf einem Magnetometer-Chip montiert ist. Kawasetsu 2018a [4] und Yoo 2016 [5] beschreiben einen ähnlichen Ansatz. Ein Magnet, der in eine Elastomermatrix eingebettet ist und auf einer flexiblen Leiterplatte mit vier Spiralinduktivitäten montiert ist. Die 3D-Verschiebung wird geschätzt, indem die Induktivitätsänderungen der vier Induktivitäten überwacht werden.

[0005] Bei dieser Art von Sensoren entsteht das Problem, dass sich die Bindung zwischen dem Hartmagneten und der umgebenden elastischen Matrix mit der Zeit verschlechtert, wodurch die Lebensdauer des Sensors verkürzt wird. Ein weiteres Problem besteht darin, dass eine präzise Platzierung des Magneten innerhalb der umgebenden Matrix und in Bezug auf den Magnetometer-Chip in einem hochautomatisierten und zuverlässigen Fertigungsprozess nur schwer zu erreichen ist. Die richtige Platzierung ist jedoch entscheidend, um zuverlässige und vergleichbare Messungen zu erhalten. Außerdem besteht die Gefahr eines Bruchs der Matrix im Bereich der Ecken des Magneten aufgrund höherer Spannungen in diesen Bereichen.

[0006] Kawasetsu 2018 [3] offenbart einen flexiblen taktilen Sensor, der aus einem Magneten, einem magnetischen Wandler und einem zweischichtigen Elastomer besteht und aus einer magnetorheologischen und einer nichtmagnetischen Elastomerfolie besteht. Der Magnet und der magnetische Wandler werden in einem definierten Abstand zueinander auf einer Leiterplatte positioniert. Die magnetorheologische Elastomerfolie wird auf den Magneten und den magnetischen Wandler gelegt, dazwischen befindet sich die nichtmagnetische Elastomerplatte. Die Verformung der magnetorheologischen Elastomerfolie führt zu einer Verzerrung des Magnetfeldes des Magneten, die durch den magnetischen Wandler gemessen wird. Da sich der Magnet immer an der gleichen Position relativ zum magnetischen Wandler befindet, kann das Gerät nur eine indirekte Verzerrung des Magnetfeldes messen. Die Empfindlichkeit des Systems wird dadurch reduziert.

[0007] US2018151281 beschreibt einen haptischen Aktuator, der eine haptische Rückmeldung von der Reaktion magnetischer Partikel in einem Elastomermaterial auf ein von einer elektromagnetischen Spule erzeugtes Magnetfeld erzeugt. Es wird auch beschrieben, dass der haptische Aktuator verwendet wird, um eine Änderung der elektromotorischen Kraft zu messen, die mit dem System verbunden ist, wenn das elastomere Material zusammengedrückt wird. Um eine solche Veränderung zu erkennen, ist eine relativ höhere Energie notwendig. Durch die Doppelfunktion mit haptischem Feedback ist die Empfindlichkeit des Systems gering und geringe Kompressionskräfte oder die Nähe ferromagnetischer Objekte sind kaum messbar.

Literatur:

[0008]

- [1] Le Signor T, et al., A Gradiometric Magnetic Force Sensor Immune to Stray Magnetic Fields for Robotic Hands and Grippers, IEEE Robotics and Automation Letters, Vol: 7, Issue: 2, April 2022, DOI: 10.1109/LRA.2022.3146507.
- [2] Le Signor T, et al., Mass-Manufacturable 3D Magnetic Force Sensor for Robotic Grasping and Slip Detection, Sensors 2023, 23(6), 3031; DOI: 10.3390/s23063031, published: 10 March 2023.
- [3] Kawasetsu T, et al., Mexican-Hat-Like Response in a Flexible Tactile Sensor Using a Magnetorheological Elastomer, Sensors 2018, 18, 587, doi:10.3390/s18020587.

- [4] Kawasetsu T, et al., Flexible Tri-Axis Tactile Sensor Using Spiral Inductor and Magnetorheological Elastomer, IEEE SENSORS JOURNAL, VOL. 18, NO. 14, JULY 15, 2018, DOI: 10.1109/JSEN.2018.2844194.
- [5] Yoo B, et al., Evaluation of Magnetorheological Elastomers With Oriented Fe-Ga Alloy Flakes for Force Sensing Applications, IEEE Transactions on Magnetics 52(7):1-1; July 2016, DOI: 10.1109/TMAG.2016.2529499.

Darstellung der Erfindung

[0009] Ziel der Erfindung ist es, einen verbesserten taktilen Sensor bereitzustellen, der zumindest einige der Probleme des Standes der Technik überwindet.

[0010] Mindestens eines der Ziele der vorliegenden Erfindung wird durch eine taktile Sensorvorrichtung nach Anspruch 1 erreicht. Die taktile Sensorvorrichtung umfasst ein magnetisches Sensorelement, das ein Magnetfeld, d. h. ein statisches magnetisches und dynamisches Magnetfeld, messen kann, und einen magnetisierten Körper aus elastomerem Material, das gleichmäßig verteiltes, permanent magnetisiertes Füllmaterial welches ein permanentes inneres Magnetfeld erzeugt, umfasst. Der magnetisierte Körper ist in der Nähe des magnetischen Sensorelements so angeordnet, dass eine magnetische Flussdichte des inneren Magnetfeldes durch das magnetische Sensorelement messbar ist. Die taktile Sensorvorrichtung umfasst ferner eine Verarbeitungseinheit, die für die Erfassung einer Änderung des Magnetfeldes bei einer externen Wechselwirkung mit der taktilen Sensorvorrichtung konfiguriert ist.

[0011] Der magnetisierte Körper aus einem elastomeren Material, das gleichmäßig dispergiertes, magnetisierbares Füllmaterial umfasst, wird mit dem klassischen Magnetisierungsverfahren magnetisiert, wobei beispielsweise eine Spule verwendet wird, die einen starken Magnetfeldimpuls erzeugt. Der Elastomerkörper befindet sich in der Spule, die schnell unter Strom steht und entladen wird. Dies ermöglicht eine sogenannte „through thickness magnetization“. Die Ausrichtung der Spule (bzw. des Konstrukts aus verschiedenen Spulen) definiert die Ausrichtung des Magnetfeldes im magnetisierten Körper. Die Ausrichtung des inneren Magnetfeldes kann optimiert werden, um sicherzustellen, dass die Verformung der elastomeren Matrix die höchste messbare Änderung des inneren Magnetfeldes hervorruft.

[0012] So erzeugt das gleichmäßig dispergierte, permanent magnetisierte Füllmaterial ein inneres Magnetfeld, das sich dicht um oder in der Nähe des magnetischen Sensorelements befindet. Mit anderen Worten, das permanent magnetisierte Füllmaterial bildet zusammen mit der elastomeren Matrix einen elastomeren Permanentmagneten mit einer vordefinierten Form.

[0013] Nähert sich ein ferromagnetisches Objekt dem taktilen Sensorgerät, verschieben sich die Feldlinien des inneren Magnetfeldes, was wiederum die vom magnetischen Sensorelement gemessene magnetische Flussdichte beeinflusst. Dabei kann der taktile Sensor die Nähe des Objekts erfassen (Näherungssensorik). Wenn eine Kraft auf den magnetisierten Körper ausgeübt wird, ändert sich durch die Kompression oder Verformung des magnetisierten Körpers das innere Magnetfeld, das durch das magnetisierte Füllmaterial erzeugt wird, und ändert dadurch die vom magnetischen Sensorelement gemessene magnetische Flussdichte. Mit anderen Worten, der magnetisierte Körper wirkt wie ein elastisch verformbarer Permanentmagnet, dessen Magnetfeld sich bei Verformung ändert. Wird der Druck abgelassen, kehrt der elastisch verformbare Permanentmagnet und damit das innere Magnetfeld in seinen ursprünglichen Zustand zurück. (Drucksensorik)

[0014] Die taktile Sensorvorrichtung ermöglicht die Erkennung der Nähe zu ferromagnetischen Objekten und der auf die Vorrichtung ausgeübten Kraft. Abhängig vom verwendeten magnetischen Sensorelement kann die Ausrichtung der Kraft quantifiziert werden.

[0015] Durch die Verwendung eines magnetisierten Körpers aus elastomerem Material, das gleichmäßig verteiltes magnetisiertes Füllmaterial umfasst, kann eine höhere Materialhomogenität und Komplexitätsreduzierung des Sensorgeräts erreicht werden. Die oben beschriebenen Probleme, die sich aus einem Permanentmagneten in Form eines Fremdkörpers ergeben, der in einen Elastomerkörper eingebettet ist, können vermieden werden.

[0016] Darüber hinaus kann eine engere magnetische Kopplung (d.h. geringere Verluste der detektierbaren magnetischen Flussdichte) erreicht werden, da das magnetische Sensorelement von dem magnetischen Elastomermaterial umgeben sein kann. Das bedeutet, dass mehr magnetische Feldlinien durch das Sensorelement verlaufen, was die Empfindlichkeit des Geräts erhöht.

[0017] Darüber hinaus können die Geometrie und der Formfaktor des Geräts angepasst werden, da das magnetisierte Elastomermaterial in die gewünschte Form gebracht werden kann. Die vorgeschlagene taktile Sensorvorrichtung hat auch einen geringeren Energieverbrauch und eine höhere Empfindlichkeit im Vergleich zu Systemen ohne permanent magnetisierte Materialien, wie sie z.B. in haptischen Feedback-Geräten verwendet werden.

[0018] Die vorgeschlagene taktile Sensorvorrichtung hat einen Vorteil gegenüber bekannten anderen Sensortypen auf dem Markt, da es sich um einen von Natur aus „weichen“ Sensor handelt. Die meisten Lösungen auf dem Markt sind nicht von Natur aus weiche Lösungen, sondern in ein Elastomergehäuse integriert, das mit der Außenseite verbunden ist, was die Integration in eine Maschine komplexer macht. Die bestehenden Lösungen liefern auch nicht unbedingt einen Verformungszustand oder eine 3D-Kraftmessung oder eine Kombination der Erfassung von Nähe, Kontakt und Kraft in einem Gerät.

[0019] Weitere Ausgestaltungen der Erfindung sind in den abhängigen Ansprüchen dargelegt.

[0020] In einigen Ausführungsformen kann die taktile Sensorvorrichtung ferner einen Kompressionskörper aus elastomerem Material mit einer Härte umfassen, die geringer ist als die Härte des magnetisierten Körpers, wobei der Kompressionskörper, beispielsweise in Form einer planaren Folie, zwischen dem magnetisierten Körper und dem magnetischen Sensorelement angeordnet ist.

[0021] Beim ersten Kontakt mit der taktilen Sensorvorrichtung wird zuerst das weichere Elastomermaterial des Kompressionskörpers zusammengedrückt und das innere Magnetfeld dadurch näher an das magnetische Sensorelement verlagert (Kontaktsensorik). Die zunehmende magnetische Flussdichte am Sensor kann gemessen werden. Der weichere elastomere Werkstoff enthält weder magnetisiertes Füllmaterial noch ferromagnetisches Füllmaterial.

[0022] Die Härte des Materials für den magnetisierten Körper und/oder die Rückhalteschicht (wie unten beschrieben) und/oder den weichen Körper kann je nach den Anforderungen der Anwendung angepasst werden, z. B. bei der Messung des mit dem Finger ausgeübten Drucks oder bei einigen Roboterinteraktionen mit hoher Kraft. Bei härteren Materialien können höhere Kräfte gemessen werden als bei weicheren Materialien. Z.B. kann für einen Knopf für die Mensch-Maschine-Schnittstelle ein magnetisierter Körper mit einer Härte von 50-60 ShA und ein Körper aus weichem Elastomermaterial mit einer Härte von 20-30 ShA geeignet sein.

[0023] Die taktile Sensorvorrichtung einschließlich des Kompressionskörpers ermöglicht es, die Krafterfassung durch zwei verschiedene Mechanismen zu erreichen, d.h. erstens durch Änderung des Abstands zwischen innerem Magnetfeld und magnetischem Sensor (Kompressionskörper) und zweitens durch Änderung des inneren Magnetfeldes, das durch das permanent magnetisierte Füllmaterial erzeugt wird (magnetisierter Körper). Dies ermöglicht eine komplexere „zweistufige“ Kraftauslesung, die für verschiedene Anwendungen angepasst werden kann.

[0024] In einigen Ausführungsformen kann die taktile Sensorvorrichtung ferner eine Rückhalteschicht aus flexiblem, vorzugsweise elastomerem Material umfassen, das gleichmäßig verteiltes, nicht magnetisiertes ferromagnetisches Füllmaterial umfasst, wobei die Rückhalteschicht zumindest eine äußere Oberfläche des magnetisierten Körpers bedeckt, um das innere Magnetfeld auf das Innere der taktilen Sensorvorrichtung in der Nähe des magnetischen Sensorelements zu beschränken.

[0025] Durch die umgebende Rückhalteschicht, die das nicht magnetisierte ferromagnetische Füllmaterial umfasst, kann das innere Magnetfeld stärker auf das Innere der taktilen Sensorvorrichtung in der Nähe des magnetischen Sensorelements zurückgeführt werden. Mit anderen Worten, die Schicht mit nicht magnetisiertem ferromagnetischem Füllmaterial kann es ermöglichen, die inneren magnetischen Feldlinien näher an das magnetische Sensorelement zu leiten.

[0026] In einigen Ausführungsformen kann der magnetisierte Körper eine toroidale Form haben. Das magnetische Sensorelement kann entlang der Rotationsachse und in der Nähe des magnetisierten Körpers positioniert werden.

[0027] In einigen Ausführungsformen kann das magnetische Sensorelement mehrere magnetische Sensoren umfassen, die zum Messen von Magnetfeldkomponenten in definierten Richtungen konfiguriert sind, und das magnetische Sensorelement ist für das Messen der magnetischen Flussdichte und Richtung des inneren Magnetfeldes konfiguriert. Ein solches magnetisches Sensorelement ermöglicht es, (i) den Kontakt oder den Druck in verschiedenen und mehrfachen Bereichen der taktilen Sensorvorrichtung und/oder (ii) die Richtung des auf die taktile Sensorvorrichtung ausgeübten Drucks zu messen.

[0028] In einigen Ausführungsformen kann das magnetische Sensorelement einen Hall-Sensor, vorzugsweise einen 3D-Hall-Sensor, oder mindestens eine planare Induktorspule, vorzugsweise mehrere planare Induktorspulen, die in einer Ebene angeordnet sind, umfassen.

[0029] In einigen Ausführungsformen können das magnetische Sensorelement und die Verarbeitungseinheit so angepasst sein, dass sie die Verformung des elastomeren Kompressionskörpers in x-, y- und z-Richtung messen.

[0030] In einigen Ausführungsformen kann die taktile Sensorvorrichtung ferner mindestens eine Streufeldabschirmschicht aus flexiblem, vorzugsweise elastomerem Material, welches gleichmäßig verteiltes, nicht magnetisiertes ferromagnetisches Füllmaterial umfasst, aufweisen, wobei die mindestens eine Streufeldabschirmschicht die Rückhalteschicht zumindest teilweise bedeckt und von der Rückhalteschicht durch eine Zwischenschicht aus flexiblem, vorzugsweise elastomerem, Material ohne magnetisiertes Füllmaterial oder nicht magnetisiertes ferromagnetisches Füllmaterial.

[0031] Ein taktiler Sensorgerät mit einer solchen äußeren Streufeldabschirmschicht kann robuster gegenüber magnetischen Streufeldern sein. Die Topologie des taktilen Sensors kann so konstruiert werden, dass die Permeanz des magnetischen Flusses, der vom magnetisierten Körper (inneres Magnetfeld) zum magnetischen Sensorelement kommt, maximiert wird und die Permeanz des magnetischen Streuflusses auf das magnetische Sensorelement minimiert wird, indem es mit der zusätzlichen Streufeldabschirmschicht abgeschirmt wird. Mehr als eine Streufeldabschirmschicht können durch Abwechseln von Zwischenschichten aus flexiblem, vorzugsweise elastomerem Material ohne magnetisiertem Füllmaterial oder nicht magnetisiertem ferromagnetischem Füllmaterial angeordnet sein.

[0032] In einigen Ausführungsformen kann das magnetische Sensorelement auf einer starren oder flexiblen Grundstruktur, vorzugsweise einer Leiterplatte, montiert sein.

[0033] In einigen Ausführungsformen kann das elastomere Material des magnetisierten Körpers ein duroplastisches Elastomer oder ein thermoplastisches Elastomer (TPE) sein. Bei dem elastomeren Werkstoff kann es sich beispielsweise um einen synthetischen oder natürlichen Kautschuk handeln, wie z.B. Butylkautschuk, Isoprenkautschuk, Butadienkautschuk, halogenierter Butylkautschuk (z.B. Brombutylkautschuk), Ethylen-Propylen-Terpolymer, Silikonkautschuk, Fluor- oder Perfluorelastomere, Chlorsulfonat, Polybutadien, Butyl, Neopren, 30 Nitril, Polyisopren, Buna-N, Copolymerkautschuke wie Ethylen-Propylen (EPR), Ethylen-Propylen-Dien-Monomer (EPDM), Acrylnitril-Butadien (NBR oder HNBR) und Styrol-Butadien (SBR), Mischungen wie Ethylen oder Propylen-EPDM, EPR oder NBR, Kombinationen davon. Der Begriff „synthetische Kautschuke“ sollte auch so verstanden werden, dass er Materialien umfasst, die alternativ allgemein als thermoplastische oder duroplastische Elastomere klassifiziert werden können, wie Polyurethane, Silikone, Fluorsilikone, Styrol-Isopren-Styrol (SIS) und Styrol-Butadien-Styrol (SBS) sowie andere Polymere, die gummiähnliche Eigenschaften aufweisen, wie plastifizierte Nylons, Polyolefine, Polyester, Ethylvinylacetate, Fluorpolymere und Polyvinylchlorid. Gute Ergebnisse lassen sich mit Ethylen-Propylen-Dien-Monokautschuk (EPDM), Silikonkautschuk (SR), Flüssigsilikonkautschuk (LSR), Butylkautschuk, Isopren oder Nitrilkautschuk erzielen. Der elastomere Werkstoff kann gewählt werden, um spezifische Dehnungs-Spannungs-Kurven zu erreichen oder zusätzliche Eigenschaften wie die Fähigkeit, auf Feuchtigkeit oder Temperaturänderungen zu reagieren, zu bieten.

[0034] In einigen Ausführungsformen kann das permanent magnetisierte Füllmaterial des magnetisierten Körpers auf einem magnetischen Material mit hoher Remanenz basieren, das eine dauerhafte Magnetisierung ermöglicht, und kann Seltenerdmaterialien wie Neodym (Nd), Niob (Nb) oder Samarium (Sm) oder gebräuchlichere Materialien wie Bor (B), Eisen (Fe), Kobalt (Co), Nickel (Ni) oder Silizium (Si) umfassen, oder harte Ferrite wie Strontiumferrit oder Bariumferrit oder Legierungen auf Eisenbasis mit hohem Remanenzgrad oder Mischungen aus einem dieser Legierungen. Die Mischung der Materialien kann so gewählt werden, dass der gewünschte Remanenzbereich erreicht wird. Das Füllmaterial wird dauerhaft magnetisiert, vorzugsweise nach Dispersion in dem elastomeren Werkstoff und/oder Umformung des magnetisierten Körpers.

[0035] In einigen Ausführungsformen kann das permanent magnetisierte Füllmaterial des magnetisierten Körpers eine durchschnittliche Partikelgröße im Bereich von bis zu 500 Mikrometern, vorzugsweise unter 200 Mikrometern aufweisen.

[0036] In einigen Ausführungsformen kann das Füllmaterial isotrop oder anisotrop sein und dementsprechend isotrop oder anisotrop dispergiert sein.

[0037] In einigen Ausführungsformen kann das nicht magnetisierte ferromagnetische Füllmaterial auf magnetischem Material mit geringer Remanenz basieren, vorzugsweise auf weichen Ferriten oder Eisenbasislegierungen. Das Material hat „magnetisch leitende“ Eigenschaften.

[0038] In einigen Ausführungsformen kann das nicht magnetisierte ferromagnetische Füllmaterial eine durchschnittliche Partikelgröße im Bereich von bis zu 500 Mikrometern, vorzugsweise unter 200 Mikrometern aufweisen.

[0039] In einigen Ausführungsformen kann das elastomere Material des Kompressionskörpers ein duroplastisches Elastomer oder ein thermoplastisches Elastomer (TPE) sein, wie oben erwähnt.

[0040] In einigen Ausführungsformen kann die äußere Oberfläche der taktilen Sensorvorrichtung oder ihre Rückhalteschicht so strukturiert sein, dass sie einen „Griff“ an der Oberfläche der taktilen Sensorvorrichtung bereitstellt. Dadurch kann die Messung einer Greifkraft (Tangentialkraft) verbessert werden.

[0041] Das vorgeschlagene taktile Sensorgerät weist mehrere Vorteile gegenüber bekannten Sensoren auf: Es ist weich und zerstörungsfrei; Es hat eine robuste Konstruktion mit hoher Verschleiß- und Umweltbeständigkeit aufgrund des elastomeren Materials; Es verlässt sich nicht auf mechanische Teile, die anfällig für Verschleiß und Ausfälle sind; Es ist energieeffizient, da die Magnetisierung permanent ist und die Auslesung mit magnetischen Sensoren mit geringer Leistung möglich ist. Es verfügt über einen anpassbaren Auslesebereich und eine Empfindlichkeit, die durch die mechanischen Eigenschaften des Elastomermaterials oder die magnetischen Eigenschaften (z. B. durch die Füllstoffdichte) leicht für die gewünschten Anwendungen optimiert werden können. Es verfügt über eine leicht anpassbare Geometrie und einen leicht anpassbaren Formfaktor, und die Herstellungskosten sind im Vergleich zu anderen Systemen relativ niedrig.

[0042] Die Erfindung bezieht sich ferner auf einen toroidalen magnetisierten Körper aus elastomerem Material, das gleichmäßig verteiltes, permanent magnetisiertes Füllmaterial umfasst, zur Verwendung als permanenter Elastomermagnet in einer taktilen Sensorvorrichtung, wie oben beschrieben. Der elastomere Werkstoff und das permanent magnetisierte Füllmaterial können die gleichen sein wie oben beschrieben.

Kurze Erläuterung zu den Figuren

[0043] Die Erfindung wird im Folgenden unter Bezugnahme auf Ausführungsformen, die in den Figuren dargestellt sind, näher beschrieben. Die Figuren zeigen:

Fig. 1 eine Schnittansicht einer taktilen Sensoreinrichtung in verschiedenen Erfassungszuständen (a) bis (c);

- Fig. 2 eine Schnittansicht eines taktilen Sensorgeräts mit Streufeld-Abschirmschicht;
 Fig. 3 Vergleich von drei Verbindungen für den magnetisierten Körper (B-H-Kurve);
 Fig. 4 Vergleich von drei Verbindungen für den magnetisierten Körper (Kraft-Kompressions-Kurve); und
 Fig. 5 Vergleich von drei Verbindungen für den magnetisierten Körper (Kraft vs. Veränderung magnetischer Ablesung).

Wege zur Ausführung der Erfindung

[0044] Fig. 1 zeigt eine Schnittansicht eines taktilen Sensorgeräts in verschiedenen Erfassungszuständen. In Fig. 1(a) wird keine Kraft ausgeübt, in Fig. 1(b) wird eine geringe „Kontakt“-Kraft auf die Sensorvorrichtung ausgeübt und in Fig. 1(c) wird eine größere Kraft auf die Sensorvorrichtung ausgeübt.

[0045] Die taktile Sensorvorrichtung 1 umfasst eine Grundstruktur 2, z. B. eine starre oder flexible Leiterplatte, mit einem magnetischen Sensorelement 3, einem magnetisierten Elastomerkörper 4, einer flexiblen Rückhalteschicht 5 und einem elastomeren Kompressionskörper 6, der zwischen dem magnetisierten Elastomerkörper 4 und der Grundstruktur 2 mit dem magnetischen Sensorelement 3 angeordnet ist. Die Grundstruktur mit dem magnetischen Sensorelement kann mit dem elastomeren Kompressionskörper 6 umspritzt (oder darin eingebaut) werden.

[0046] Die Grundstruktur 2 mit dem magnetischen Sensorelement 3 bildet den unteren Teil des Sensors, der an einer festen Halterung einer Maschine befestigt werden kann.

[0047] Der magnetisierte Elastomerkörper 4 besteht aus einer elastomeren Matrix mit gleichmäßig dispergiertem, permanent magnetisiertem Füllmaterial, der ein inneres Magnetfeld M erzeugt. Somit bildet der magnetisierte Körper 4 einen elastomeren Permanentmagneten und ist derart angeordnet, dass die Feldlinien seines inneren Magnetfeldes M mit dem magnetischen Sensorelement 3 ausgerichtet sind, um die Messempfindlichkeit von Änderungen des inneren Magnetfeldes M zu optimieren.

[0048] Eine äußere Oberfläche des magnetisierten Elastomerkörpers 4 ist von der flexiblen Rückhalteschicht 5 bedeckt, die ebenfalls aus elastomerem Material bestehen kann. Die Rückhalteschicht 5 umfasst gleichmäßig dispergiertes, nicht magnetisiertes ferromagnetisches Füllmaterial. Die Rückhalteschicht 5 ist dabei magnetisch leitfähig und konzentriert das innere Magnetfeld näher an den magnetischen Sensorelementen. Die Rückhalteschicht 5 kann sich durch eine zentrale Öffnung 41 innerhalb des magnetisierten Elastomerkörpers 4 erstrecken.

[0049] Der Kompressionskörper 6 ist zwischen der Grundstruktur 2 mit dem magnetischen Sensorelement 3 und dem magnetisierten Elastomerkörper 4 angeordnet. Der Kompressionskörper 6 weist eine wesentlich geringere Härte auf als die Rückhalteschicht 5 und der magnetisierte Elastomerkörper 4, so dass beim Aufbringen einer Kraft auf die taktile Sensorvorrichtung 1 zuerst der Kompressionskörper 5 verformt wird.

[0050] Die taktile Sensorvorrichtung 1 umfasst ferner eine Verarbeitungseinheit (z. B. in dem magnetischen Sensorelement enthalten oder auf der Grundstruktur angeordnet), die zum Messen einer Änderung des inneren Magnetfeldes M bei einer externen Wechselwirkung mit der taktilen Sensorvorrichtung konfiguriert ist.

[0051] Nähert sich die taktile Sensorvorrichtung 1 einem ferromagnetischen Objekt, werden die Feldlinien des inneren Magnetfeldes M verschoben, was wiederum die von dem magnetischen Sensorelement 3 gemessene magnetische Flussdichte beeinflusst. Der Effekt wird als Näherungssensorik bezeichnet.

[0052] Sobald die taktile Sensorvorrichtung 1 ein beliebiges Objekt berührt, wird eine kleine „Kontakt“-Kraft F auf die Rückhalteschicht 5 und den magnetisierten Elastomerkörper 4 ausgeübt. Die kleine „Kontakt“-Kraft F wird auf den Kompressionskörper 6 übertragen, der aus wesentlich weicherem Material besteht als die Rückhalteschicht 5 und der magnetisierte Elastomerkörper 4, wodurch der Kompressionskörper 6 in Richtung des magnetischen Sensorelements 3 verformt wird. Dabei wird das innere Magnetfeld M des magnetisierten Elastomerkörpers 4 um einen Abstand d in Richtung des magnetischen Sensorelements 3 verschoben, was zu einer starken Erhöhung der gemessenen magnetischen Flussdichte führt. Der Effekt wird als Kontaktabtastung bezeichnet und ist in Fig. 1(b) dargestellt.

[0053] Wenn die auf die taktile Sensorvorrichtung 1 ausgeübte Kraft F' weiter zunimmt, beginnt der magnetisierte Elastomerkörper 4 zusammengedrückt oder verformt zu werden. Dabei ändert sich die Form des magnetisierten Elastomerkörpers 4 (Elastomer-Permanentmagnet), was zu einer Änderung des inneren Magnetfeldes M führt, das von dem magnetischen Sensorelement 3 erfasst wird. Der Effekt wird als Kraftmessung bezeichnet und ist in Fig. 1(c) dargestellt.

[0054] So ermöglicht die taktile Sensorvorrichtung die Erfassung der Nähe zu ferromagnetischen Objekten (Näherungssensorik), des Kontakts von Objekten (Kontaktsensorik) und der auf diese ausgeübten Kraft (Drucksensorik).

[0055] Die taktile Sensorvorrichtung 1, wie in 1(a) gezeigt, weist eine kuppelförmige Struktur mit einem magnetisierten Körper von toroidaler Form auf, wobei das hohle Zentrum mit dem magnetischen Sensorelement 3 ausgerichtet ist. Eine weitere mögliche Struktur ist in Fig. 2 mit einer toroidalen Form des magnetisierten Körpers in Form eines Hohlzylinders

dargestellt. Auch andere Strukturen sind möglich, solange das innere Magnetfeld durch ein zentrales magnetisches Sensorelement detektierbar ist.

[0056] Die taktile Sensorvorrichtung 1, wie in 2 gezeigt, unterscheidet sich von der in 1 (a) gezeigten taktilen Sensorvorrichtung 1 weiterhin dadurch, dass sie weiterhin eine Streufeldabschirmschicht 7 aus flexiblem, vorzugsweise elastomerem Material umfasst, das gleichmäßig dispergiertes, nicht magnetisiertes ferromagnetisches Füllmaterial umfasst (ähnlich der Rückhalteschicht 5). Die Streufeldabschirmschicht bedeckt teilweise die Rückhalteschicht und ist von der Rückhalteschicht durch eine Zwischenschicht 8 aus flexiblem, vorzugsweise elastomerem, Material ohne magnetisiertes Füllmaterial oder nicht magnetisiertes ferromagnetisches Füllmaterial beabstandet. Die äußere Streufeld-Abschirmschicht erhöht die Robustheit gegenüber externen Streumagnetfeldern Me.

[0057] Die taktile Sensorvorrichtung 1 kann ferner ein Gehäuse oder eine Schutzschicht 9 aus flexiblem, vorzugsweise elastomerem Material ohne magnetisiertem Füllmaterial oder nicht magnetisiertem ferromagnetischem Füllmaterial umfassen.

Experimente:

[0058] Es wurden drei Varianten dieser magnetisch aktiven Elastomerverbindungen hergestellt, die zu einer hohlen Ringstruktur (Außendurchmesser 13 mm, Innenlochdurchmesser 4 mm, Dicke 6 mm) geformt und magnetisiert wurden. An der Basis dieser Struktur wurde ein 3D-Hall-Sensor integriert und zentral im Hohlraum positioniert, um das Magnetfeld unter aufgebrachtener Normalkraft zu messen. Da die Kraft das Elastomer entlang der z-Achse verformte, induzierte sie eine gleichmäßige Zunahme des Magnetfelds der z-Achse. Die drei Verbindungen basierten auf einer EPDM-Matrix (Ethylen-Propylen-Dien-Monomer), die mit einem ferromagnetischen Material auf Neodym-Basis angereichert war, und unterschieden sich in der Härte von 60 ShA bis 70 ShA (Tabelle 1).

Tabelle 1

[0059]

			Verbindung		
Test Variable	Test Specification	Units	A	B	C
Härte	DIN ISO 7619-1	Shore A	64	66	70
Micro Härte	ISO 48	IRHD	62	64	68

[0060] Die Verbindungen wurden magnetisiert, was zu unterschiedlichen magnetischen Eigenschaften führte. Zum Beispiel reichte das remanente Magnetfeld dieser Proben von 50 mT bis 120 mT. Ein solcher Bereich remanenter Magnetfelder bietet ein beträchtliches Spektrum an Möglichkeiten für das Design und die Anwendung von Sensoren. Die Koerzitivfeldstärke lag bei allen Proben bei -1000 kA/m. Im Vergleich zu herkömmlichen reinen Magneten wiesen die Verbindungen beeindruckende magnetische Eigenschaften auf, was auf ein starkes Potenzial für den Einsatz in Kraftmessanwendungen hindeutet. (siehe Fig. 3)

[0061] Die Spannungs-Dehnungs-Kurven zeigten, dass diese Materialien bei einer aufgetragenen Kraft von 100 N einer Belastung von bis zu 30 % in der z-Achse standhalten können, was auf ihre weiche und anpassungsfähige Natur hinweist. Dieser Grad der Verformbarkeit, gepaart mit den unterschiedlichen Dichten und der Shore-Härte, kann für verschiedene Anwendungen von Vorteil sein, einschließlich der feinen Berührung, die für die robotergestützte Handhabung zerbrechlicher Objekte erforderlich ist (siehe Fig. 4).

[0062] In Bezug auf die Verwendung der Proben als tatsächliche Sensoren zeigten die Ergebnisse eine gute lineare Reaktion auf die Kraft. Der lineare Zusammenhang zwischen der aufgetragenen Kraft und dem Ansprechverhalten des Sensors vereinfacht die Interpretation der Messungen und ermöglicht eine einfache Kalibrierung des Sensors. (siehe Fig. 5)

Bezeichnungsliste

[0063]

- 1 Sensoreinrichtung
- 2 Grundstruktur
- 3 magnetisches Sensorelement
- 4 magnetisierten Körper
- 41 zentrale Öffnung
- 42 permanent magnetisiertes Füllmaterial
- 5 flexible Rückhalteschicht
- 6 elastomeren Kompressionskörper
- 7 Streufeldabschirmschicht

8	Zwischenschicht
9	Gehäuse oder Schutzschicht
d	Kompressions- oder Deformationsabstand
F	geringe „Kontakt“ Kraft
F'	Kompressionskraft
M	inneres Magnetfeld
Me	äusseres/externes Magnetfeld

Patentansprüche

1. Taktile Sensoreinrichtung (1), umfassend ein magnetisches Sensorelement (3), das ein Magnetfeld messen kann, und einen magnetisierten Körper (4) aus elastomerem Material, das gleichmäßig verteiltes, permanent magnetisiertes Füllmaterial (42), welches ein permanentes inneres Magnetfeld (M) erzeugt, umfasst; wobei der magnetisierte Körper (4) in der Nähe des magnetischen Sensorelements (3) derart angeordnet ist, dass die magnetische Flussdichte des inneren Magnetfeldes (M) durch das magnetische Sensorelement (3) messbar ist; und wobei die taktile Sensorvorrichtung (1) ferner eine Verarbeitungseinheit umfasst, die zum Erfassen einer Änderung des Magnetfelds bei einer externen Wechselwirkung mit der taktilen Sensorvorrichtung konfiguriert ist.
2. Taktile Sensorvorrichtung (1) nach Anspruch 1, wobei die taktile Sensorvorrichtung (1) ferner einen Kompressionskörper (6) aus elastomerem Material mit einer Härte aufweist, die geringer ist als die Härte des magnetisierten Körpers (4), wobei der Kompressionskörper (6) zwischen dem magnetisierten Körper (4) und dem magnetischen Sensorelement (3) angeordnet ist.
3. Taktile Sensorvorrichtung (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die taktile Sensorvorrichtung (1) ferner eine Rückhalteschicht (5) aus flexiblem, vorzugsweise elastomerem Material umfasst, das gleichmäßig verteiltes, nicht magnetisiertes ferromagnetisches Füllmaterial umfasst, wobei die Rückhalteschicht (5) mindestens eine äußere Oberfläche des magnetisierten Körpers (4) bedeckt, um das innere Magnetfeld (M) auf das Innere der taktilen Sensorvorrichtung (1) in der Nähe des magnetischen Sensorelements (3) zu beschränken.
4. Taktile Sensorvorrichtung (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der magnetisierte Körper (4) eine toroidale Form aufweist.
5. Taktile Sensorvorrichtung (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das magnetische Sensorelement (3) mehrere magnetische Sensoren umfasst, die zum Messen von Magnetfeldkomponenten in definierten Richtungen ausgebildet sind, und das magnetische Sensorelement (3) zum Messen der magnetischen Flussdichte und der Richtung des inneren Magnetfeldes (M) ausgebildet ist.
6. Taktile Sensorvorrichtung (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das magnetische Sensorelement (3) einen Hall-Sensor, vorzugsweise einen 3D-Hall-Sensor, oder mindestens eine planare Induktorspule, vorzugsweise mehrere planare Induktorspulen, die in einer Ebene angeordnet sind, umfasst.
7. Taktile Sensorvorrichtung (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das magnetische Sensorelement und die Verarbeitungseinheit geeignet sind, die Verformung des elastomeren Kompressionskörpers in x-, y- und z-Richtung zu messen.
8. Taktile Sensorvorrichtung (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die taktile Sensorvorrichtung (1) ferner mindestens eine Streufeldabschirmschicht (7) aus flexiblem, vorzugsweise elastomerem Material, welches gleichmäßig dispergiertes, nicht magnetisiertes ferromagnetisches Füllmaterial umfasst, aufweist, wobei die mindestens eine Streufeldabschirmschicht (7) die Rückhalteschicht (5) zumindest teilweise bedeckt und von der Rückhalteschicht (5) durch eine Zwischenschicht (8) aus flexiblem, vorzugsweise elastomerem, Werkstoff ohne magnetisiertes Füllmaterial oder nicht magnetisiertes ferromagnetisches Füllmaterial beabstandet ist.
9. Taktile Sensorvorrichtung (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das magnetische Sensorelement (3) auf einer starren oder flexiblen Grundstruktur (2), vorzugsweise einer Leiterplatte, montiert ist.
10. Taktile Sensorvorrichtung (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das elastomere Material des magnetisierten Körpers (4) und/oder das elastomere Material des Kompressionskörpers (6) ein duroplastisches Elastomer oder ein thermoplastisches Elastomer (TPE) ist.
11. Taktile Sensorvorrichtung (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das permanent magnetisierte Füllmaterial (42) des magnetisierten Körpers (4) auf einem magnetischen Material mit hoher Remanenz basiert, das eine dauerhafte Magnetisierung ermöglicht, vorzugsweise mit einer Partikelgröße im Bereich von bis zu 500 µm, bevorzugt kleiner als 200 µm.
12. Taktile Sensorvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das nicht magnetisierte ferromagnetische Füllmaterial auf einem magnetischen Material mit geringer Remanenz basiert, vorzugsweise mit einer Partikelgröße im Bereich von bis zu 500 µm, bevorzugt unter 200 µm.

13. Ringförmiger magnetisierter Körper (4) aus einem elastomeren Material, umfassend gleichmäßig dispergiertes, permanent magnetisiertes Füllmaterial (42), zur Verwendung als permanenter Elastormagnet in einer taktilen Sensorvorrichtung, die einem der vorhergehenden Ansprüche entspricht.

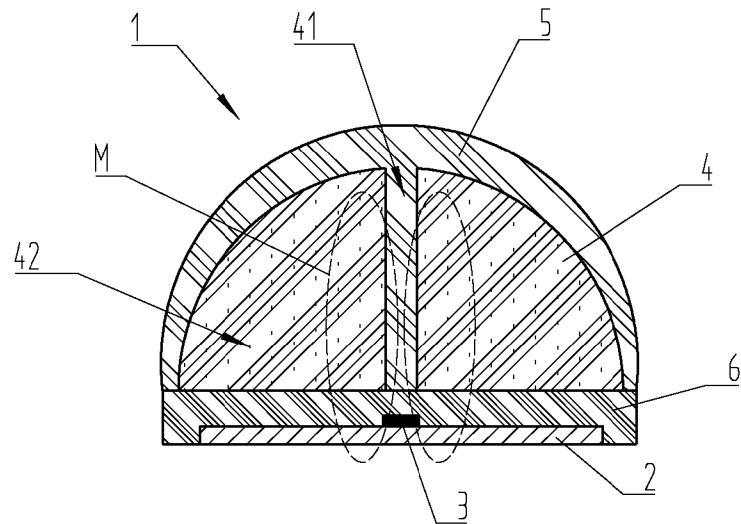


Fig.1(a)

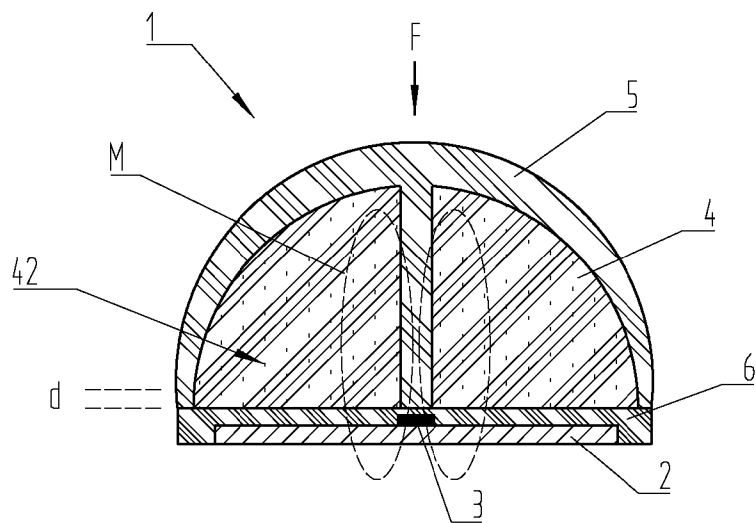


Fig.1(b)

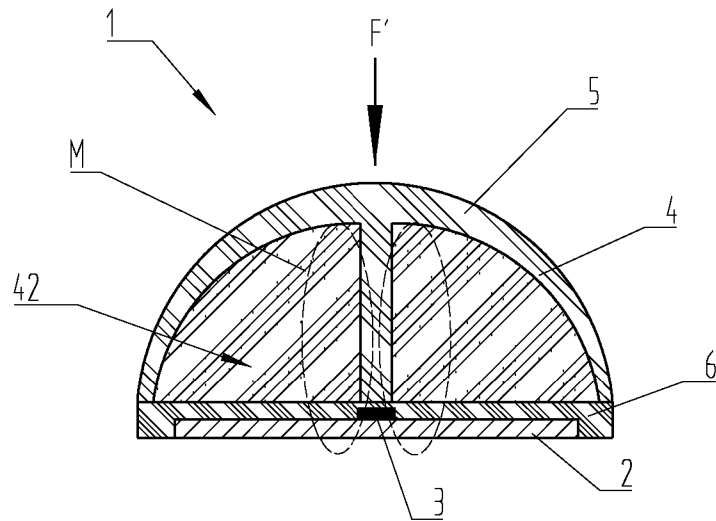


Fig.1(c)

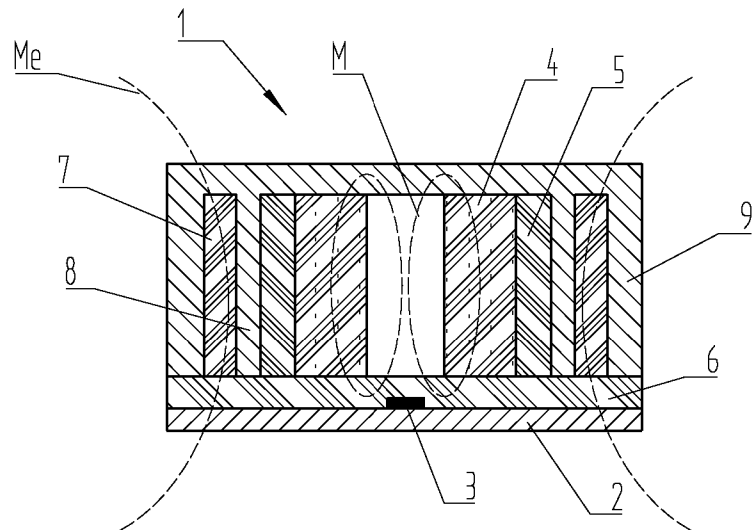


Fig.2

B-H Kurve

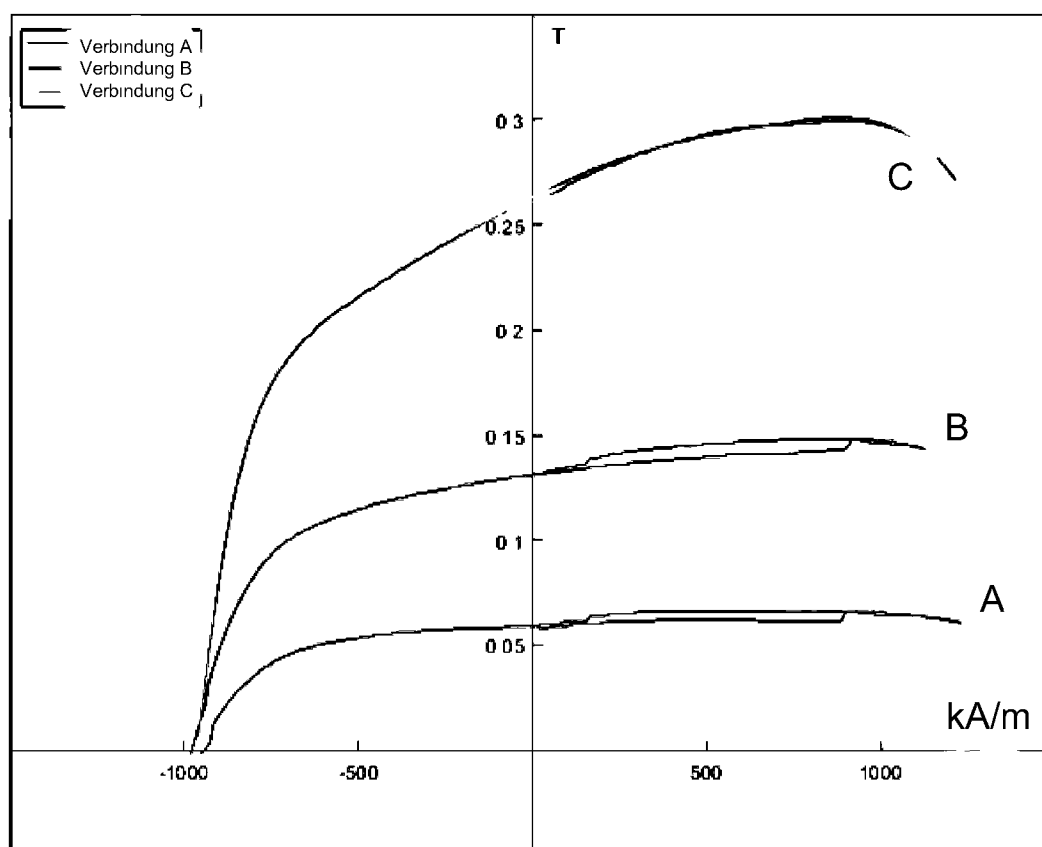


Fig. 3

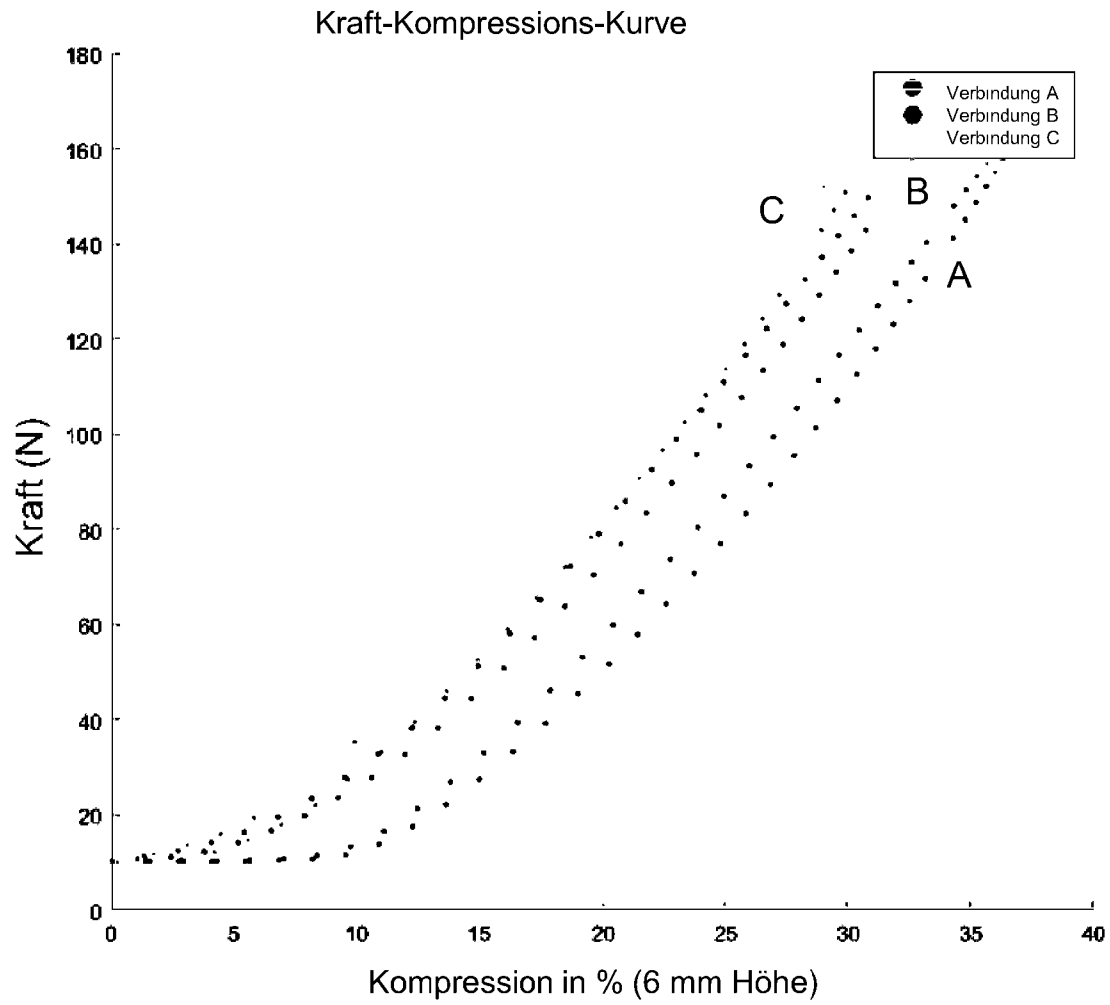


Fig. 4

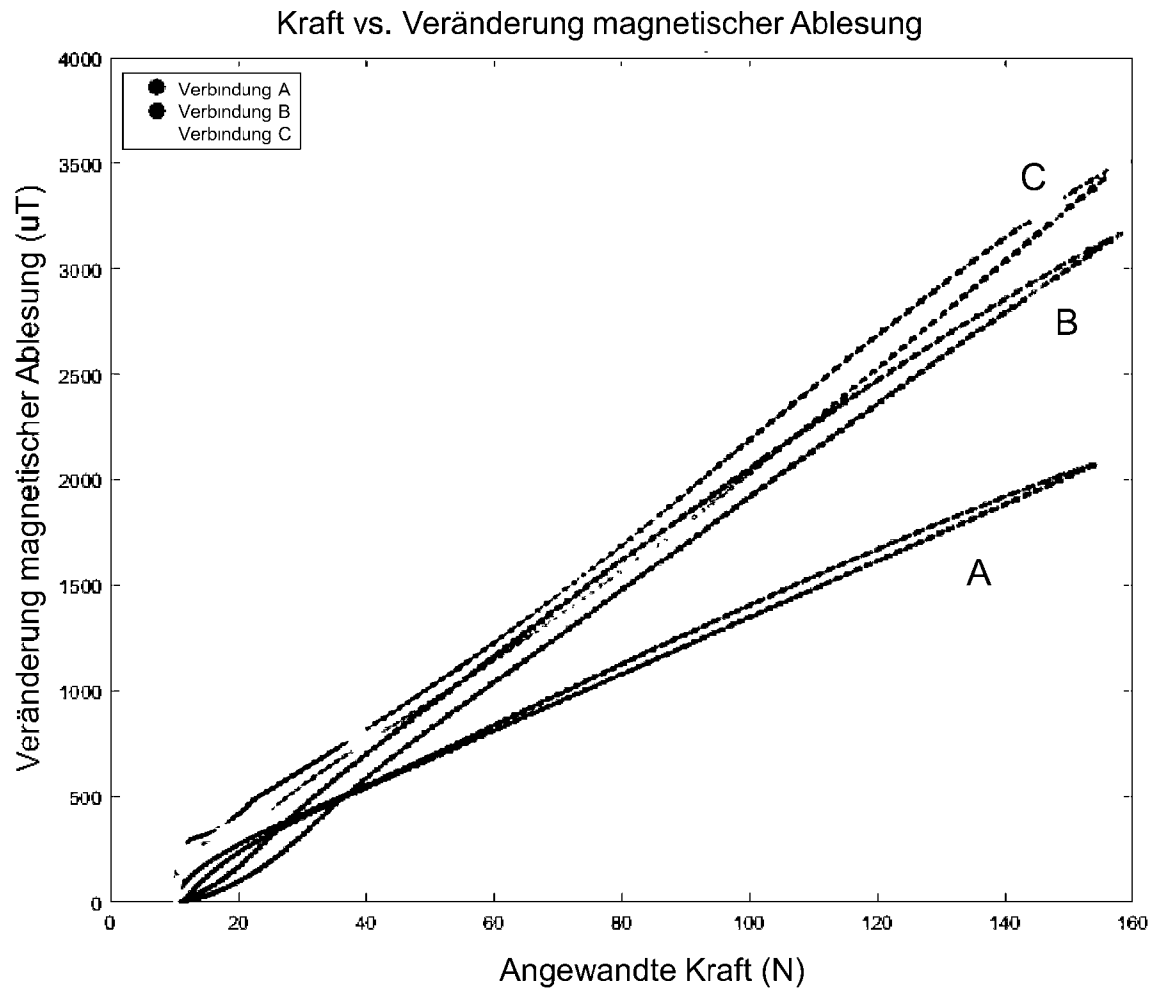


Fig. 5

PATENT COOPERATION TREATY

INTERNATIONAL-TYPE SEARCH REPORT

IDENTIFICATION OF THE NATIONAL APPLICATION		APPLICANT'S OR AGENT'S FILE REFERENCE	
		P235522CH	
National Application N°		Filing date	
6342023		15-06-2023	
Country of filing		Priority Date Claimed	
CH			
Applicant (Name)			
Dätwyler Schweiz AG			
Date of request for an International-Type search		Number given by the International Searching Authority to the request for an International-Type Search	
25-09-2023		SN84765	
I. CLASSIFICATION OF THE SUBJECT MATTER (if several classification symbols apply, indicate all)			
According to International Patent Classification (IPC), or to both National Classification and IPC			
See search report			
II. FIELDS SEARCHED			
Minimum Documentation Searched			
Classification system	Classification symbols		
IPC	See search report		
Documentation searched other than the minimum documentation to the extent, that such documents are included in the fields searched			
III.	CERTAIN CLAIMS WERE UNSEARCHABLE		(Observations on supplemental sheet)
IV.	UNITY OF INVENTION IS LACKING		(Observations on supplemental sheet)

Form PCT/ISA 201 A (11/2000)

INTERNATIONAL TYPE SEARCH REPORT

Search request No

CH 6342023

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER INV. B25J13/08 G01B7/24 G01L5/22 ADD.		
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) G01B B25J G01L		
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		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	CN 111 993 446 A (UNIV BEIJING) 27 November 2020 (2020-11-27)	1, 4, 6, 9, 13
A	* the whole document *	2, 3, 8
X	EP 2 910 917 A1 (TOYO TIRE & RUBBER CO [JP]) 26 August 2015 (2015-08-26)	1, 5-7, 9-12
A	* the whole document *	2, 3, 8
X	EP 1 521 071 A2 (FIAT RICERCHÉ [IT]) 6 April 2005 (2005-04-06)	1, 9
A	* paragraphs [0025], [0030]; figure 2 *	2, 3, 8
X	WO 2022/256326 A1 (UNIV KANSAS [US]) 8 December 2022 (2022-12-08)	1, 6, 9
	* abstract; figures 24, 37 *	
☐ Further documents are listed in the continuation of box C. ☒ Patent family members are listed in 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 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 filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the 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-type search 17 November 2023		Date of mailing of the international-type search report
Name and mailing address of the ISA European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Authorized officer Debesset, Sébastien

1

INTERNATIONAL TYPE SEARCH REPORT

Information on patent family members

Search request No.

CH 6342023

CN 111993446	A	27-11-2020	NONE		

EP 2910917	A1	26-08-2015	CN 104736982 A	24-06-2015	
			EP 2910917 A1	26-08-2015	
			KR 20150055058 A	20-05-2015	
			US 2015253207 A1	10-09-2015	
			WO 2014061684 A1	24-04-2014	

EP 1521071	A2	06-04-2005	AT E495428 T1	15-01-2011	
			EP 1521071 A2	06-04-2005	

WO 2022256326	A1	08-12-2022	NONE		
