

(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
25. Juni 2020 (25.06.2020)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2020/126149 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

H02K 15/02 (2006.01) H01F 41/02 (2006.01)
H02K 1/02 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2019/077462

(22) Internationales Anmeldedatum:
10. Oktober 2019 (10.10.2019)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2018 133 491.5
21. Dezember 2018 (21.12.2018) DE

(71) Anmelder: **THYSSENKRUPP STEEL EUROPE AG**
[DE/DE]; Kaiser-Wilhelm-Str. 100, 47166 Duisburg (DE).

(72) Erfinder: **WALTER, Andreas**; Zillertalstr. 142, 44807
Bochum (DE). **OFFERGELD, Andreas**; Auf der Aue 23a,
40882 Ratingen (DE). **PATBERG, Lothar**; Friesenstr. 35,
47445 Moers (DE). **PRETORIUS, Thomas**; Nimmendohr-
str. 11, 47475 Kamp-Lintfort (DE).

(74) Anwalt: **ZENZ PATENTANWÄLTE PART-
NERSCHAFT MBB**; Rüttenscheider Straße 2, 45128 Es-
sen (DE).

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

(84) **Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,
GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST,
SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ,
RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ,
DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT,
LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI,

(54) **Title:** METHOD FOR PRODUCING A SEMI-FINISHED PRODUCT FOR AN ELECTRIC MACHINE, AND METHOD FOR
PRODUCING A FUNCTIONAL UNIT FOR AN ELECTRIC MACHINE

(54) **Bezeichnung:** VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG EINES HALBZEUGS FÜR EINE ELEKTRISCHE MASCHINE UND
VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG EINER FUNKTIONSEINHEIT FÜR EINE ELEKTRISCHE MASCHINE

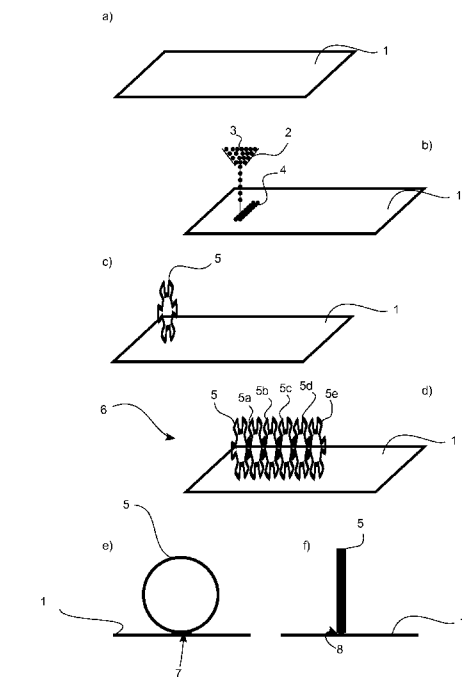


Fig. 1

(57) **Abstract:** The invention relates to a method for producing a semi-finished product (6) for producing a functional unit for an electric machine. The following steps are carried out: A) providing a substrate (1), B) providing a powder (3) in an application system (2), and C) applying the starting material (3) onto the substrate (1) in layers using an additive manufacturing method starting with a first layer (4) and continuing until completely constructing at least one first functional structure (5, 5a, 5b, 5c, 5d, 5e). The functional structure can have a recess (7) or a taper (8). The invention additionally relates to a method for producing a functional unit and to a semi-finished product.

(57) **Zusammenfassung:** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung eines Halbzeugs (6) für die Herstellung einer Funktionseinheit für eine elektrische Maschine. Folgende Schritte werden durchgeführt: A) Bereitstellen eines Substrats (1), B) Bereitstellen eines Pulvers (3) in einer Auftragsanlage (2), C) lagenweises Aufbringen des Ausgangsmaterials (3) auf dem Substrat (1) mit einem additiven Fertigungsverfahren, startend mit einer ersten Lage (4) und fortgesetzt bis zum abgeschlossenen Aufbau wenigstens einer ersten Funktionsstruktur (5, 5a, 5b, 5c, 5d, 5e). Die Funktionsstruktur kann eine Ausnehmung (7) oder eine Verjüngung (8) aufweisen. Die Erfindung betrifft außerdem ein Verfahren zur Herstellung einer Funktionseinheit sowie ein Halbzeug.

SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN,
GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Erklärungen gemäß Regel 4.17:

— *Erfindererklärung (Regel 4.17 Ziffer iv)*

Veröffentlicht:

— *mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz
3)*

Verfahren zur Herstellung eines Halbzeugs für eine elektrische
5 Maschine und Verfahren zur Herstellung einer Funktionseinheit
für eine elektrische Maschine

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung eines Halbzeugs für eine elektrische Maschine. Das Halbzeug weist
10 wenigstens eine Funktionsstruktur aus einem eisenbasierten Werkstoff auf. Die Erfindung betrifft außerdem ein Verfahren zur Herstellung einer Funktionseinheit für eine elektrische Maschine. Eine Funktionseinheit kann insbesondere ein Stator oder ein Rotor sein.

15 Elektrische Maschinen, insbesondere Elektromotoren, sind aus der Praxis bekannt. Elektromotoren weisen zumindest eine als Stator bezeichnete unbewegliche Funktionseinheit und eine bewegliche Funktionseinheit auf. Als bewegliche Funktionseinheit kann beispielsweise ein Rotor vorgesehen sein. Für die
20 Positionierung von Stator und Rotor weist die elektrische Maschine außerdem ein Gehäuse auf. Wenigstens eine der beiden Funktionseinheiten ist magnetisch wirksam. Je nach Funktionsweise des Elektromotors ist die wenigstens eine der Funktionseinheiten mit einem elektromagnetischen Wechselfeld
25 ummagnetisierbar. Daraus ergibt sich die Anforderung, dass die Funktionseinheit möglichst weichmagnetisches Material aufweisen soll und bei möglichst geringen Ummagnetisierungsverlusten ummagnetisierbar ist. Die Ummagnetisierungsverluste setzen sich insbesondere aus Hystereseverlusten bei der Umpolung der
30 Elementarmagnete des magnetischen Materials und aus Wirbelstromverlusten infolge induzierter Wirbelströme innerhalb des magnetischen Materials zusammen.

Mit der Zielsetzung, dass Ummagnetisierungsverluste möglichst gering ausfallen sollen, hat sich als gängige Methode
35 zur Herstellung von Funktionseinheiten elektrischer Maschinen etabliert, Statoren und/oder Rotoren aus mehreren Blechen zu

sogenannten Blechpaketen zusammenzusetzen. Die verwendeten Bleche werden üblicherweise als Elektrobleche bezeichnet. Die einzelnen Bleche der Blechpakete werden mit einem elektrischen Isolator voneinander teilweise oder vollständig getrennt, um innerhalb jedes einzelnen Blechs und damit auch in der fertiggestellten Funktionseinheit insgesamt Wirbelstromverluste während der Ummagnetisierung zu verringern. Zur möglichst weitgehenden Verringerung von Wirbelstromverlusten werden möglichst dünne Bleche zur Herstellung des Blechpakets verwendet. Eine weitere Maßnahme zur Verringerung der Ummagnetisierungsverluste besteht in der vorstehend bereits erwähnten Nutzung von Elektroblechen. Der Begriff der Elektrobleche bezeichnet in diesem Zusammenhang Bleche, deren Eigenschaften unter anderem mit Hinblick auf möglichst geringe Ummagnetisierungsverluste eingestellt sind. Elektrobleche weisen beispielsweise zu diesem Zweck unter anderem eine vergleichsweise geringe Dichte an Gitterfehlern, vergleichsweise geringe Dichte an Korngrenzen sowie vergleichsweise geringe Eigenspannungen auf. Ein weiteres Merkmal der Elektrobleche sind ihre Elementzusammensetzungen, die ebenfalls unter anderem auf geringe Ummagnetisierungsverluste hin entwickelt sind. Eine bekannte Maßnahme, vorteilhafte Eigenschaften der Elektrobleche zu erreichen, bei eisenbasierten Legierungen, beispielsweise bei Elektrostählen, ist die Zugabe von Silizium.

Die erfindungsgemäße Zugabe von Silizium führt bei eisenbasierten Elektroblechen, wie erwähnt, zu der gewünschten Verringerung von Ummagnetisierungsverlusten. Die Zugabe von Silizium in Elektroblechen wirkt sich aber bei höheren Siliziumgehalten, bei eisenbasierten Elektroblechen insbesondere oberhalb von etwa 3,5 Gew.-% Si-Gehalt, nachteilhaft auf die Verarbeitbarkeit aus. Insbesondere für die Kaltverarbeitbarkeit ist die Zugabe von Silizium in Anteilen oberhalb von etwa 3,5 Gew.-% nachteilig. Einer der Gründe hierfür ist, dass Si-Gehalte oberhalb von etwa 3,5 Gew.-% zur Ausscheidung von Sprödphasen

führen. Auch eine Warmverformung der Elektrobleche ist bei Si-Gehalten oberhalb von etwa 3,5 Gew.-% nur noch eingeschränkt beziehungsweise mit erhöhtem Aufwand möglich.

Ein weiterer Nachteil eines hohen Si-Gehalts in
5 eisenbasierten Elektroblechen ist, dass die eingangs erwähnte eigentlich vorteilhafte Verringerung der Blechdicke mit Erhöhung des Si-Gehalts zunehmend begrenzt wird. Dies liegt darin begründet, dass das üblicherweise zur Formgebung genutzte Stanzen der Bleche einerseits zu Anisotropien in den
10 magnetischen Eigenschaften führt, beispielsweise bedingt durch Eigenspannungen, andererseits aber eine an sich übliche Reduktion der Eigenspannungen durch Glühen bei Elektroblechen mit geringen Dicken, insbesondere unterhalb von etwa 0,3 mm, aufgrund vermehrter Oxidbildung von Randzonen zu einer
15 Verschlechterung der Magnetisierungseigenschaften führt.

Zusammenfassend führt die bekannte Herstellung von Funktionseinheiten für eine elektrische Maschine aus Elektroblechen aufgrund gegenläufiger Effekte dazu, dass der Auswahl der Konstruktionsparameter, insbesondere der
20 Elementzusammensetzung der verwendeten Bleche und der Dicke der verwendeten Bleche, Grenzen gesetzt sind.

Ausgehend von den dargestellten Problemstellungen liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, Funktionseinheiten für elektrische Maschinen bereitstellen zu können, bei denen die
25 genannten Probleme vermieden werden oder zumindest in ihrem Ausmaß verringert sind.

Die Aufgabe wird gelöst mit einem Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1 zur Herstellung eines Halbzeugs, das anschließend in der Herstellung einer Funktionseinheit für eine
30 elektrische Maschine weiterverarbeitet werden kann. Die Aufgabe wird weiterhin gelöst mit einem Verfahren zur Herstellung einer Funktionseinheit für eine elektrische Maschine mit den Merkmalen des Anspruchs 12.

Das erfindungsgemäße Verfahren sieht vor, ein Halbzeug herzustellen, das zur Weiterverarbeitung zu einer Funktionseinheit für eine elektrische Maschine verwendet werden kann.

5 Das Verfahren sieht folgende Schritte vor:

A) Bereitstellen eines Substrats,

B) Bereitstellen eines Pulvers als Ausgangsmaterial,

C) lagenweises Aufbringen des Ausgangsmaterials auf dem Substrat bis zum abgeschlossenen Aufbau wenigstens einer ersten

10 Funktionsstruktur der Funktionseinheit.

Bei der Funktionsstruktur der Funktionseinheit kann es sich insbesondere um eine bereits in Endgeometrie vorhandene zumindest abschnittsweise, bevorzugt vollständig, flache Struktur handeln. Die flache Struktur dient bei der später

15 herzustellenden Funktionseinheit als ein Bestandteil der

Funktionseinheit. Beispielsweise kann es sich um eine flache Struktur handeln, die als Bestandteil eines Rotors, alternativ eines Stators, vorgesehen ist. Die Funktionsstruktur kann mit anderen Worten insbesondere eine Ebene des Rotors

20 beziehungsweise des Stators sein. Die Funktionsstruktur nimmt damit die Rolle ein, die bei herkömmlich hergestellten

Funktionseinheiten durch ein Blech eines Blechpakets eingenommen wird, genauer gesagt durch ein mittels Stanzens hergestelltes Ausschnittteil eines Blechs des Blechpakets.

25 Erfindungsgemäß wird als Ausgangsmaterial ein Pulver verwendet, das für die Bereitstellung der magnetischen

Funktionalität als zwingenden Bestandteil das chemische Element Fe, also Eisen, aufweist. Zusätzlich können, neben unvermeidbaren Verunreinigungen, optionale Bestandteile

30 vorhanden sein, die neben der Berücksichtigung ihres Einflusses auf die magnetischen Eigenschaften insbesondere mit Hinblick auf die gewünschten mechanischen Eigenschaften der herzustellenden Funktionseinheit gewählt werden können. Insbesondere kann vorgesehen sein, dass das Pulver C, bevorzugt einen C-Gehalt von

wenigstens 0,003 Gew.-%, enthält, um die Bildung von Stahl zu bewirken.

Das als Ausgangsmaterial bereitgestellte Pulver weist außerdem zwischen 2,0 Gew.-% und 15,0 Gew.-%, bevorzugt zwischen 5 3,5 Gew.-% und 10,0 Gew.-%, besonders bevorzugt zwischen 4,0 Gew.-% und 7,0 Gew.-%, Silizium auf. Wie eingangs bereits erläutert, wirkt sich ein hoher Siliziumgehalt positiv auf die magnetischen Eigenschaften aus, was unter anderem seinen ferritstabilisierenden Eigenschaften und seinen 10 widerstandserhöhenden Eigenschaften, gemeint sind den elektrischen Widerstand erhöhenden Eigenschaften, zuzuschreiben ist. Ein Anteil von 15,0 Gew.-% Silizium sollte nicht überschritten werden, um negative Einflüsse auf die mechanischen Eigenschaften der Funktionsstruktur, insbesondere ein 15 Herabsetzen ihrer Bruchzähigkeit, ausreichend sicher zu vermeiden.

Das Substrat dient dem Tragen der herzustellenden Funktionsstruktur und kann aus einem beliebigen Material hergestellt sein, das bei den bei Herstellung des Halbzeugs 20 auftretenden Temperaturen strukturell und chemisch ausreichend stabil bleibt. Insbesondere kann das Substrat als Stahlblech hergestellt sein. Besonders bevorzugt weist das Substrat dieselbe oder im Wesentlichen dieselbe Elementzusammensetzung auf wie das Pulver mit dem Vorteil, dass bei dem Auftragen der 25 ersten Lage des Ausgangsmaterials auf dem Substrat eine gute Haftung zwischen Substrat und Ausgangsmaterial erreicht wird.

Bevorzugt ist neben dem genannten Siliziumanteil ein Anteil von weniger als 18,8 Gew.-% an optionalen Bestandteilen vorhanden. In der Konsequenz bedeutet dies auch, dass wenigstens 30 66,2 Gew.-% des Ausgangsmaterials sich aus Eisen und unvermeidbaren Verunreinigungen zusammensetzt. Es hat sich erwiesen, dass durch Wahl eines derart hohen Eisenanteils zwangsläufig stets ausreichende magnetische Eigenschaften erreicht werden und gleichzeitig durch die zugelassene Beifügung

eines signifikanten Anteils an optionalen Bestandteilen eine genügende Flexibilität in der Einstellung der Eigenschaften der Funktionsstruktur vorliegt, beispielsweise in der Einstellung des Gefüges und der mechanischen Eigenschaften.

5 Bei dem als Ausgangsmaterial bereitgestellten Pulver handelt es sich bevorzugt um ein Pulver, welches die Elementzusammensetzung der ersten Funktionsstruktur in den jeweiligen Gewichtsanteilen aufweist und in geeigneter Partikelgrößenverteilung und ausreichender homogener Verteilung
10 bereitgestellt wird. Alternativ kann das Pulver als definierte Pulverart vorliegen. Ob die einzelnen in dem Pulver vorhandenen Pulverpartikel als Elemente vorliegen oder ihrerseits bereits in einer oder mehreren Legierungen vorliegen, ist nicht wesentlich, solange die genannten Elementzusammensetzungen eingehalten sind
15 und, aufgrund ausreichend homogener Durchmischung des Pulvers eine genügend hohe Homogenität in der Partikelzuführung zu dem Substrat gewährleistet ist. Die Bildung der schließlich vorhandenen Legierung der Funktionsstruktur erfolgt nämlich während des Auftragens selbst und wird sichergestellt durch die
20 am Auftragsort lokal sehr hohen Temperaturen der für das Aufbringen gewählten Fertigungsverfahren, die nachfolgend genannt sind.

Bevorzugt wird das Material beim Aufbringen vollständig aufgeschmolzen.

25 Für das Aufbringen wird ein pulverbettbasiertes additives Fertigungsverfahren oder ein pulverdüsenbasiertes additives Fertigungsverfahren genutzt. Als pulverbettbasiertes additives Fertigungsverfahren kann insbesondere ein selektives Laserschmelzen (selective laser melting), ein
30 Laserstrahlschmelzen (laser beam melting), ein selektives Lasersintern (selective laser sintering) oder ein Elektronenstrahlschmelzen (electron beam melting) genutzt werden. Als pulverdüsenbasiertes Herstellungsverfahren kann insbesondere ein Laserauftragsschweißen (laser metal deposition)

vorgesehen sein. Jedes der genannten Verfahren ist dem Fachmann an sich bekannt. Die genannten Verfahren weisen allesamt den Vorteil auf, dass zum Zeitpunkt des Auftrags an einer Stelle an dieser Stelle durch die verwendete Laserstrahlung

5 beziehungsweise den verwendeten Elektronenstrahl eine ausreichende Temperatur erreichbar ist, um die Materialien beim Auftragen vollständig aufzuschmelzen.

Die Nutzung der genannten Verfahren hat den Vorteil, dass mit der Bereitstellung von Pulvern mit vergleichsweise hohen
10 Elementbestandteilen von Silizium, auch größer als die genannten 3,5 Gew.-%, die wenigstens eine Funktionsstruktur mit einer hohen Homogenität in der Elementverteilung, einer geringen Fehlstellendichte sowie mit vergleichsweise großen Korngrößen hergestellt werden kann. Gleichzeitig ist die Herstellung von
15 kleinskaligen Strukturen möglich. Insbesondere ist es möglich, flache Strukturen, beispielsweise in der zuvor bereits erwähnten Geometrie einer Platte oder eines aus einer Platte ausgestanzten Teils, mit Dicken von weniger als 0,30 mm bis zu etwa 0,10 mm herzustellen. Das erfindungsgemäße Verfahren hat somit den
20 Vorteil, die Bereitstellung kleinskaligerer Platten zu ermöglichen als es mit Walzverfahren möglich ist. Die Funktionsstruktur kann beispielsweise als platte Struktur vorliegen, die zwei zueinander parallele ebene Begrenzungsflächen mit einem Abstand zwischen 0,10 mm und 0,30
25 mm aufweist. Aufgrund des verwendeten additiven Fertigungsverfahrens kann die Funktionsstruktur aber auch als dreidimensionales Gebilde ausgebildet sein und damit komplexere Geometrien einnehmen, ohne dass Umformvorgänge an einem Elektroblech hierfür erforderlich sind.

30 Bevorzugt weist das als Ausgangsmaterial bereitgestellte Pulver folgende Bestandteile auf (alle Angaben jeweils in Gew.-%):

Si: 2,0 - 15,0;

C: weniger als, das heißt: echt kleiner als, 0,1;

Mn: bis zu, das heißt: kleiner gleich, 2,0;

S: weniger als 0,01;

Al: bis zu 15,0;

N: weniger als 0,01;

5 Cu: weniger als 0,3;

Cr: weniger als 0,5;

Mo: weniger als 0,1;

B: weniger als 0,1;

Nb: weniger als 0,01;

10 V: weniger als 0,1;

Ti: weniger als 0,01;

Sn: weniger als 0,1;

Ni: weniger als 0,1;

P: weniger als 0,1;

15 Co: weniger als 0,01;

Zn: weniger als 0,01;

As: weniger als 0,03;

Ca: weniger als 0,012;

Sn: weniger als 0,16;

20 Ta: weniger als 0,01;

W: weniger als 0,02;

Rest Fe und unvermeidbare Verunreinigungen.

Es versteht sich, dass der Rest sich darauf bezieht, dass die Summe aller Gewichtsanteile 100 Gew.-% ergibt.

25 Besonders bevorzugt ist, dass wenigstens 0,003 Gew.-% C vorliegen, sodass keine Fe-Funktionsstruktur, sondern eine Stahl-Funktionsstruktur, mit den entsprechenden positiven Eigenschaften vorliegt, insbesondere hinsichtlich einer beispielsweise für einen als ein Anwendungsziel bereits
30 genannten Rotor essentiellen Festigkeit.

Das Pulver besteht bevorzugt aus Partikeln mit einer Partikelgröße zwischen $d_{10} = 10 \mu\text{m}$ und $d_{90} = 150 \mu\text{m}$, bevorzugt zwischen $d_{10} = 10 \mu\text{m}$ und $d_{90} = 60 \mu\text{m}$ oder zwischen $d_{10} = 30 \mu\text{m}$ und $d_{90} = 150 \mu\text{m}$.

Bevorzugt wird das Substrat vor dem Aufbringen der ersten Funktionsstruktur auf eine Aufbringtemperatur vorgewärmt, die zumindest während des Aufbringens einer ersten Lage der ersten Funktionsstruktur, bevorzugt während des Aufbringens der gesamten ersten Funktionsstruktur, nicht mehr unterschritten wird. Mit anderen Worten: Das Substrat wird auf einer Temperatur gehalten, das zumindest der Aufbringtemperatur entspricht.

Die Aufbringtemperatur liegt bevorzugt zwischen 400 und 900° Celsius, besonders bevorzugt zwischen 500 und 800° Celsius.

Durch das Vorwärmen des Substrats wird, insbesondere durch Unterstützung von Diffusionsprozessen und die Reduzierung der beim Auftragen vorherrschenden Temperaturgradienten, eine Rissarmut und Spannungsarmut der durch das Auftragen fertiggestellten ersten Funktionsstruktur gefördert. Die erste Funktionsstruktur ist bevorzugt als Flachstruktur mit einer Dicke zwischen 0,10 mm und 2,0 mm, besonders bevorzugt zwischen 0,10 mm und 1,00 mm aufgebracht, der Begriff der Flachstruktur bezieht sich darauf, dass die erste Funktionsstruktur die Form eines ausgestanzten, nicht umgeformten, Blechs hat, aber aufgrund der anderen Herstellungsart mittels additiver Fertigung nicht als Blech bezeichnet wird.

Eine Ausführungsvariante des Verfahrens sieht vor, dass die erste Funktionsstruktur und eine Anzahl von weiteren Funktionsstrukturen lagenweise sequentiell auf dem Substrat aufgebracht werden. Darunter ist zu verstehen, dass zunächst nacheinander die jeweils erste Lage aller Funktionsstrukturen der ersten Funktionsstruktur und der Anzahl von weiteren Funktionsstrukturen aufgebracht wird, danach sequentiell die jeweils zweite Lage aller Funktionsstrukturen aufgebracht wird und diese Vorgehensweise so oft wiederholt wird, bis sequentiell die jeweils letzte Lage jeder der allen Funktionsstrukturen aufgebracht worden ist. Es kann vorgesehen sein, dass die erste Funktionsstruktur und die Anzahl von weiteren Funktionsstrukturen identische Abmessungen aufweisen und

parallel verschoben auf dem Substrat aufgetragen werden. Die auf dem Substrat angeordneten Funktionsstrukturen dienen als Halbzeuge für die elektrische Maschine und weisen bereits ihre endgültige Geometrie auf, sodass keine Weiterverarbeitung oder Nachbehandlung mehr erforderlich ist. Im Vergleich zur konventionellen Fertigung (das heißt: insbesondere durch Stanzen und nachfolgendes Glühen) erfolgt kein hoher Materialverschnitt von Elektroblechen. Außerdem wird die Entstehung von sich nachteilig auf die Ummagnetisierungsverluste des Halbzeugs/Halbfabrikats auswirkenden inneren Spannung durch Entfall nachfolgender Bearbeitungsschritte, wie zum Beispiel des Stanzens, vermieden. Dadurch werden die Herstellungskosten reduziert, da beispielsweise auf die nach DIN EN 10341 erforderliche Stanzteilglühung potentiell verzichtet werden kann, was unmittelbar geringere Fertigungskosten zur Folge hat.

Die Funktionsstrukturen können senkrecht zu einer Substratoberfläche orientiert sein, es ist aber auch denkbar, dass sie in einer leichten Schräglage, beispielsweise zwischen 0 Grad und 10 Grad zur Orthogonalebene des Substrats verkippt, auf dem Substrat befestigt sind.

Bevorzugt sind die Funktionsstrukturen im Bereich ihres Übergangs zum Substrat mit einer Sollbruchstelle versehen, so dass jede einzelne der Funktionsstrukturen oder die Gesamtheit der Funktionsstrukturen leicht von dem Substrat entfernt werden kann, beispielsweise mittels Funkenerodierens, mittels mechanischer Bearbeitung oder mittels manueller Entnahme.

Gemäß einer Ausführungsvariante sind die erste Funktionsstruktur und die Anzahl von weiteren Funktionsstrukturen alle jeweils in Form eines Statorblechs oder alle jeweils in Form eines Rotorblechs ausgebildet.

Jede der Funktionsstrukturen weist bevorzugt zu jeder unmittelbar benachbarten Funktionsstruktur einen Abstand auf, der zwischen 0,003 mm und 2,00 mm liegt. Bevorzugt sind alle Funktionsstrukturen äquidistant auf dem Substrat angeordnet und

weisen dabei Abstände zwischen 0,003 mm und 2,00 mm zu den jeweils benachbarten Funktionsstrukturen auf.

In dem Fall, dass die Funktionsstrukturen als Statorblech oder als Rotorblech geformt sind, sind bevorzugt bereits auf dem Substrat die Funktionsstrukturen mit einer gemeinsamen Rotationsachse orientiert, die senkrecht zu einer Ebene der jeweiligen Funktionsstrukturen, bevorzugt zusätzlich auch zu der Substratebene orientiert ist.

Die Erfindung sieht weiterhin ein Verfahren zur Herstellung einer Funktionseinheit für eine elektrische Maschine vor. Die Herstellung der Funktionseinheit für eine elektrische Maschine erfolgt in den folgenden Schritten:

Zunächst wird mit einem Verfahren der eingangs genannten Weise oder eine seiner Weiterbildungen ein Halbzeug hergestellt. Das Halbzeug weist ein Substrat und wenigstens eine, bevorzugt mehrere, auf dem Substrat angeordnete Funktionsstruktur/-en auf.

Danach wird in alle zwischen benachbarten Funktionsstrukturen vorhandenen Abstandsräume ein Isolierwerkstoff zur zumindest abschnittsweisen elektrischen Isolation der Funktionsstrukturen zueinander eingebracht. Nach dem Einbringen des Isolierwerkstoffs wird das aus Funktionsstrukturen und dem Isolierwerkstoff bestehende Funktionsstrukturpaket von dem Substrat getrennt, wodurch die Funktionseinheit erhalten wird.

Bei dem elektrisch isolierenden Isolierwerkstoff kann es sich beispielsweise um einen elektrisch isolierenden Kunststoff handeln. Als elektrisch isolierender Kunststoff kann beispielsweise ein Kunststoff auf Polyvinylbutyralbasis, ein Polyamid, ein Polyester oder ein Kunststoff auf Epoxidharzbasis vorgesehen sein. Der Kunststoff wird bevorzugt mittels eines Spritzverfahrens und/oder mittels einer Tauchbeschichtung in die vorhandenen Abstandsräume eingebracht.

Insbesondere kann vorgesehen sein, dass nach dem Aufbringen des Ausgangsmaterials ohne eine zusätzliche Wärmebehandlung die

Schritte D bis F durchgeführt werden, sodass eine funktionsbereite Funktionseinheit, insbesondere ein Stator oder ein Rotor, bereitgestellt wird, ohne dass nach dem Aufbau der einzelnen Funktionsstrukturen eine Wärmebehandlung durchgeführt wird.

Dadurch, dass die additiv hergestellten, vorzugsweise vertikal aufgebauten, Halbzeuge eine raue Oberfläche aufweisen, wird eine feste Verbindung zwischen Metall und Kunststoff in vorteilhafter Weise begünstigt.

Beispiele:

Die beschriebene Vorgehensweise wurde mit verschiedenen Machbarkeitsstudien verifiziert.

Beispiel 1:

Die erste Machbarkeitsstudie wurde durchgeführt zur Verifizierung geeigneter magnetischer Eigenschaften bei dünnen Plättchen, die mit einem erfindungsgemäßen Verfahren mittels Laserauftragsschweißens (laser metal deposition) hergestellt ist.

Folgende Schritte wurden durchgeführt:

1. Bereitstellen zweier Grundpulver:

Pulver 1: Mn 1,2 Gew.-%, Si 0,5 Gew.-%, Rest Eisen und unvermeidbare Verunreinigungen;

Pulver 2: Mn 1,2 Gew.-%, Si 48,76 Gew.-%, Rest Eisen und unvermeidbare Verunreinigungen.

2. Vermischen der Pulver zu drei Pulvern als drei verschiedene Ausgangsmaterialien:

Ausgangsmaterial 1: Gew.-%-Anteilsverhältnisse Fe:Si = 96:4;

Ausgangsmaterial 2: Gew.-%-Anteilsverhältnisse Fe:Si = 94:6;

Ausgangsmaterial 3: Gew.-%-Anteilsverhältnisse Fe:Si = 92:8.

Es wurden mittels Laserauftragsschweißens (laser metal deposition) für jede der Ausgangsmaterialien 1 und 2 Plättchen

der Abmessungen $60 \times 60 \times 0,35 \text{ mm}^3$ sowie für Ausgangsmaterial 3 Plättchen der Abmessungen $60 \times 60 \times 0,55 \text{ mm}^3$ hergestellt.

Eine Pulverzuführung zu dem Substrat erfolgte mit Argon in einer Inertgasglocke im offenen System.

5 Die experimentellen Randbedingungen waren wie folgt gewählt:

- für Ausgangsmaterial 1: Laserleistung 910 W,

Vorschubgeschwindigkeit 600 mm/min; Pulvermassenstrom 3,8 g/min;

Spurversatz = 1 mm; Höhenversatz = 0,6 mm; Vorwärmtemperatur = Raumtemperatur;

10 für Ausgangsmaterial 2: Laserleistung 910 W,

Vorschubgeschwindigkeit 600 mm/min; Pulvermassenstrom 3,8 g/min;

Spurversatz = 1 mm; Höhenversatz = 0,62 mm; Vorwärmtemperatur = 300 °C;

für Ausgangsmaterial 3: Laserleistung 950 W,

15 Vorschubgeschwindigkeit 600 mm/min; Pulvermassenstrom 3,5 g/min;

Spurversatz = 1 mm; Höhenversatz = 0,625 mm; Vorwärmtemperatur = 400 °C.

Die Proben werden mit steigendem Siliziumanteil nachfolgend als LMD4, LMD6 und LMD8 bezeichnet.

20 Es konnten folgende mechanische Kennwerte ermittelt werden:

LMD4: Härte HV 0,5 = 200, LMD6: Härte HV 0,5 = 300, LMD8:

Härte HV 0,5 = 400 und Zugfestigkeit $R_m = 500 \text{ MPa}$.

Es wurden Ummagnetisierungsversuche durchgeführt, die in einem nachfolgenden Abschnitt dargelegt sind.

25

Beispiel 2:

Mit selektivem Laserschmelzen (selective laser melting) wurde ein Testkörper $60 \times 60 \times 0,28 \text{ mm}^3$ hergestellt, wobei folgende Pulvereigenschaften des als Ausgangsmaterial

30 hergestellten Pulvers vorlagen:

<i>Eigenschaft</i>	<i>Wert</i>	<i>Chemische Analyse</i>	
Durchflussrate gemäß DIN EN	18,70 s/(50 g)	Si	6,7 Gew.-%
		Mn	0,05 Gew.-%
		Cr	0,03 Gew.-%

ISO 4490:2014-11:		C Al N P Fe und unvermeidbare Verunreinigungen	0,01 Gew.-% <0,01 Gew.-% 0,006 Gew.-% 0,005 Gew.-% Rest
Teilchengröße- verteilung gemessen mit Malvern 2000	d10 = 24,4 µm d50 = 35,8 µm d90 = 51,7 µm		

Als experimentelle Bedingungen wurden gewählt:

Vorwärmtemperatur = 300 °C, Laserleistung schwankend zwischen 120 W und 170 W; Vorschubgeschwindigkeit = 450 - 700 5 mm/s.

Die hergestellte Probe wird nachfolgend als SLM bezeichnet.

Ummagnetisierungsversuche:

Mit den hergestellten Proben wurden

10 Ummagnetisierungsversuche nach DIN IEC 60404-3:2010-05 durchgeführt. Es wurden Ummagnetisierungsversuche bei 50 Hz, 400 Hz und bei 1000 Hz Ummagnetisierungsfrequenz durchgeführt. Die Ummagnetisierung erfolgte in beiden Fällen bei einer magnetischen Flussdichte von 1 T.

15 Als Referenzproben wurden konventionell hergestellte, 0,30 mm dicke Plättchen aus den Elektroblechen aus den Legierungen Vergleichsnormgüte NO30-16 vor einer Wärmebehandlung und nach einem Glühen für 40 Sekunden in einem Ofen H2/Ar-Atmosphäre bei 1060 °C sowie M400-50 A ohne Wärmebehandlung genutzt.

20 Folgende Ergebnisse wurden erhalten

	Ummagnetisierungs- verluste in W/kg bei 50 Hz, gemessen bei 1 T	Ummagnetisierungs- verluste in W/kg bei 1000 Hz gemessen bei 1 T
LMD4 ohne Wärmebehandlung	4,3	164
LMD6 ohne Wärmebehandlung	4,5	165
LMD8 ohne Wärmebehandlung	2,0	142
SLM ohne Wärmebehandlung	3,5	126
NO30-16 vor Wärmebehandlung	12	293,9
NO30-16 nach Wärmebehandlung	1,1	79,8
M400-50 A	< 2,5	150 - 200

Im Ergebnis zeigt sich, dass die mit additiven Herstellungsverfahren hergestellten Plättchen Ummagnetisierungsverluste gezeigt haben, die ohne vorherige

5 Glühbehandlung teils niedrigere, zumindest aber vergleichbar niedrige Ummagnetisierungsverluste wie die Referenzproben ohne zusätzliche Wärmebehandlung aufweisen. Gleichzeitig liegen die Ummagnetisierungsverluste zumindest in der Größenordnung der Ummagnetisierungsverluste des wärmebehandelten Referenzblechs.

10 Auch zeigt sich, dass ein erhöhter Si-Gehalt zu niedrigeren Ummagnetisierungsverlusten führt. Es konnte somit nachgewiesen werden, dass mittels additiver Fertigungsverfahren Funktionsstrukturen für elektrische Maschinen herstellbar sind, die vergleichbar gute Eigenschaften aufweisen wie

15 Funktionsstrukturen, die mit bekannten Verfahren aus Elektroblechen hergestellt sind.

Ein beispielhaftes Ausführungsbeispiel für das Verfahren zur Herstellung einer Funktionseinheit für eine elektrische Maschine ist in Figs. 1a) - 1f) illustriert. Weitere Einzelheiten, Merkmale und Vorteile des Gegenstands der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung im Zusammenhang mit den Zeichnungen.

Es versteht sich, dass die vorstehend genannten wie auch nachfolgend erläuterten Merkmale nicht nur in der jeweils angegebenen Kombination, sondern auch in anderen Kombinationen oder in Alleinstellung verwendbar sind.

In einem ersten Schritt, dargestellt in Fig. 1a), wird ein Substrat 1 bereitgestellt. In einer Auftragsanlage 2 wird ein als Pulver bereitgestelltes Ausgangsmaterial 3 eingefüllt und aus dieser heraus wird eine erste Lage 4 des Ausgangsmaterials 3 auf dem Substrat 1 aufgebracht. Das Aufbringen der ersten Lage 4 erfolgt in dem gezeigten Beispiel, wie in Fig. 1b) dargestellt, mittels Auftragsschweißens, auch als laser metal deposition bezeichnet. Lagenweise wird eine erste Funktionsstruktur 5 auf dem Substrat aufgetragen. Die erste Funktionsstruktur 5 ist in fertiggestelltem Zustand in Fig. 1c) dargestellt, wobei es sich in der gezeigten beispielhaften Darstellung bei der ersten Funktionsstruktur 5 um einen als Flachstruktur ausgebildeten Bestandteil eines Rotors für eine elektrische Maschine handelt. Der Begriff der Flachstruktur bezieht sich darauf, dass die Funktionsstruktur 5 in seiner Form einem aus einem Blech gestanzten Teil entspricht, jedoch sich in der Art seiner Herstellung von einem solchen ausgestanzten Teil unterscheidet, da die Herstellung der Funktionsstruktur 5 mittels eines additiven Fertigungsverfahrens durchgeführt wurde.

Wie in Fig. 1d) dargestellt, werden mehrere Funktionsstrukturen 5a, 5b, 5c, 5d, 5e lagenweise sequentiell auf dem Substrat aufgetragen, wobei die Form und die Herstellung derjenigen der ersten Funktionsstruktur entsprechen. Mit dem lagenweise sequentiellen Auftragen ist gemeint, dass die jeweils

n-te Lage jeder der Funktionsstrukturen aufgebracht wird und anschließend die n+1-ste Lage jeder der Funktionsstrukturen aufgebracht wird. Die Funktionsstrukturen 5, 5a, 5b, 5c, 5d, 5e sind äquidistant auf dem Substrat 1 angeordnet. Das Substrat mit der Gesamtheit der Funktionsstrukturen 5, 5a, 5b, 5c, 5d, 5e stellt das Halbzeug 6 da, welches mit einem Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Verfahrens hergestellt wurde. Eine Weiterverarbeitung des Halbzeugs zu einem Rotor kann vorgesehen sein. Für eine manuelle Entfernung des Halbzeugs weist jede Funktionsstruktur eine Sollbruchstelle 7, 8 auf, welche unabhängig von der Ausgestaltung der Funktionsstruktur ist, beispielsweise eine Ausnehmung 7 in einem Kontaktbereich zwischen Funktionsstruktur 5 und Substrat 1 (siehe Fig 1e): Aufsicht in Richtung einer Rotationssymmetrieachse der Funktionsstruktur 5) und/oder eine Verjüngung 8 in einem Kontaktbereich zwischen Funktionsstruktur 5 und Substrat 1 (siehe Fig 1f): Aufsicht in Richtung einer auf einer Ebene der Funktionsstruktur 5 liegenden Gerade) aufweisen kann.

In Fig. 2a) ist die Herstellung einer ersten Lage 4 einer ersten Funktionsstruktur mittels eines als pulverbettbasiertem selektiven Laserschmelzen ausgebildeten additiven Fertigungsverfahrens gezeigt, wobei die dargestellten Bezugszeichen die bereits in der Beschreibung zu Fig. 1 erläuterten Bedeutungen aufweisen. Das Generieren der ersten Lage erfolgt nach Aufbringen des Pulvers 3 mittels lokalen Aufschmelzens durch einen Laserstrahl 9, der mit einem Umlenkspiegel 10 zu der aufzuschmelzenden Stelle hin umgerichtet wird. In Fig. 2b) ist das lagenweise sequentielle Aufbringen einer Anzahl mehrerer Funktionsstrukturen am Beispiel einer ersten Lage gezeigt, wobei auf das Aufbringen der ersten Lage aller Funktionsstrukturen das sequentielle Aufbringen der zweiten Lage aller Funktionsstrukturen erfolgt, bis die letzte Lage aller Funktionsstrukturen aufgebracht ist. In Fig 2b) befindet sich der Aufbringprozess gerade beim Aufbringen der

ersten Lage 4e der sechsten Funktionsstruktur, nachdem zuvor bereits die ersten Lagen 4, 4a, 4b, 4c und 4d der ersten fünf Funktionsstrukturen hergestellt worden sind.

Patentansprüche

5

1. Verfahren zur Herstellung eines Halbzeugs für die Herstellung einer Funktionseinheit für eine elektrische Maschine, wobei die folgenden Schritte durchgeführt werden:

A) Bereitstellen eines Substrats (1),

10 B) Bereitstellen eines Pulvers (3) als Ausgangsmaterial (3),

C) lagenweises Aufbringen des Ausgangsmaterials (3) auf dem Substrat (1) mit einem pulverbettbasierten additiven Fertigungsverfahren oder mit einem pulverdüsenbasierten

15 additiven Fertigungsverfahren bis zum abgeschlossenen Aufbau wenigstens einer ersten Funktionsstruktur (5) der Funktionseinheit,

wobei

das als Ausgangsmaterial bereitgestellte Pulver (3)

20 besteht aus (jeweils in Gew.-Prozent)

Si: 2,0 - 15,0;

Rest Fe, optionale Bestandteile und unvermeidbare Verunreinigungen.

25 2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das als Ausgangsmaterial bereitgestellte Pulver besteht aus (jeweils in Gew.-Prozent)

Si: 2,0 - 15,0;

weniger als 18,8 optionale Bestandteile,

30 Rest Fe und unvermeidbare Verunreinigungen.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder nach Anspruch 2, wobei das als Ausgangsmaterial bereitgestellte Pulver besteht aus (jeweils in Gew.-Prozent)

Si: 2,0 - 15,0;
C: weniger als 0,1, bevorzugt weniger als 0,1 und
wenigstens 0,003;
Mn: bis zu 2,0;
5 S: weniger als 0,01;
Al: bis zu 15,0;
N: weniger als 0,01;
Cu: weniger als 0,3;
Cr: weniger als 0,5;
10 Mo: weniger als 0,1;
B: weniger als 0,1;
Nb: weniger als 0,01;
V: weniger als 0,1;
Ti: weniger als 0,01;
15 Sn: weniger als 0,1;
Ni: weniger als 0,1;
P: weniger als 0,1;
Co: weniger als 0,01;
Zn: weniger als 0,01;
20 As: weniger als 0,03;
Ca: weniger als 0,012;
Sn: weniger als 0,16;
Ta: weniger als 0,01;
W: weniger als 0,02;
25 Rest Fe und unvermeidbare Verunreinigungen.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
wobei das Pulver aus Partikeln besteht mit einer Partikelgröße
zwischen $d_{10} = 10 \mu\text{m}$ und $d_{90} = 150 \mu\text{m}$, bevorzugt zwischen d_{10}
30 $= 10 \mu\text{m}$ und $d_{90} = 60 \mu\text{m}$ oder zwischen $d_{10} = 30 \mu\text{m}$ und $d_{90} =$
150 μm .

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Substrat (1) zumindest zeitweise während des Schritts C), bevorzugt zumindest während des Aufbringens einer ersten Lage (4) der ersten Funktionsstruktur (5), besonders
5 bevorzugt bis zum abgeschlossenen Aufbau der wenigstens ersten oder aller Funktionsstrukturen, auf einer Temperatur gehalten wird, die zumindest einer Aufbringtemperatur entspricht.

6. Verfahren nach Anspruch 5, wobei die Aufbringtemperatur
10 zwischen 400 und 900 Grad Celsius, bevorzugt zwischen 500 und 600 Grad Celsius, beträgt.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die erste Funktionsstruktur (5) als Flachstruktur mit
15 einer Dicke zwischen 0,10 mm und 2,00 mm, bevorzugt zwischen 0,10 mm und 1,00 mm, aufgebracht wird.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die erste Funktionsstruktur (5) an der unmittelbar an
20 das Substrat (1) angrenzenden Lage mit einer Sollbruchstelle (7, 8) aufgebracht wird zur Ermöglichung eines manuellen Abbrechens der ersten Funktionsstruktur (5) von der Sollbruchstelle oder eines mittels mechanischen Trennverfahrens erfolgenden Abbrechens der ersten
25 Funktionsstruktur (5) von der Sollbruchstelle.

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die erste Funktionsstruktur (5) und eine Anzahl von weiteren Funktionsstrukturen (5a, 5b, 5c, 5d, 5e) lagenweise
30 sequentiell auf dem Substrat (1) aufgebracht werden.

10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die erste Funktionsstruktur (5) und die Anzahl von

weiteren Funktionsstrukturen (5a, 5b, 5c, 5d, 5e) identische Abmessungen aufweisen und parallelverschoben auf dem Substrat (1) aufgetragen werden.

5 11. Verfahren nach Anspruch 10, wobei die erste Funktionsstruktur (5) und die Anzahl von weiteren Funktionsstrukturen (5a, 5b, 5c, 5d, 5e) alle jeweils eine Statorflachstruktur sind oder alle jeweils eine Rotorflachstruktur sind, wobei jede der Funktionsstrukturen
10 (5, 5a, 5b, 5c, 5d, 5e) zu jeder unmittelbar benachbarten Funktionsstruktur einen Abstand zwischen 0,003 mm und 2,00 mm aufweist, bevorzugt jede der Funktionsstrukturen (5, 5a, 5b, 5c, 5d, 5e) zu jeder unmittelbar benachbarten Funktionsstruktur denselben Abstand zwischen 0,003 mm und 2,00
15 mm.

12. Verfahren zur Herstellung einer Funktionseinheit für eine elektrische Maschine, wobei

 D) mit einem Verfahren nach einem der vorhergehenden
20 Ansprüche ein Halbzeug (6) mit wenigstens zwei Funktionsstrukturen (5, 5a, 5b, 5c, 5d, 5e) hergestellt wird, die mit einem selben Substrat (1) verbunden sind,

 E) in alle zwischen benachbarten Funktionsstrukturen (5, 5a, 5b, 5c, 5d, 5e) vorhandenen Zwischenräume ein
25 Isolierwerkstoff zur zumindest abschnittsweisen elektrischen Isolation eingebracht wird,

 F) nach Einbringen des Isolierwerkstoffs das aus den Funktionsstrukturen (5, 5a, 5b, 5c, 5d, 5e) und dem Isolierwerkstoff bestehende Funktionsstrukturpaket von dem
30 Substrat (1) getrennt wird und dadurch die Funktionseinheit erhalten wird.

13. Verfahren nach Anspruch 12, wobei während Schritt E)
ein elektrisch isolierender Kunststoff, bevorzugt ein
Kunststoff auf Polyvinylbutyralbasis, ein Polyamid, ein
Polyester oder ein Kunststoff auf Epoxidharzbasis, mittels
5 Spritzens und/oder mittels Tauchbeschichtung aufgetragen wird.

14. Verfahren nach Anspruch 12 oder nach Anspruch 13,
wobei nach dem Aufbringen des Ausgangsmaterials ohne
zusätzliche Wärmebehandlung die Schritte D) bis F)
10 durchgeführt werden zum Bereitstellen einer funktionsbereiten
Funktionseinheit.

15. Halbzeug für die Herstellung einer Funktionseinheit
für eine elektrische Maschine, erhältlich nach einem der
15 Ansprüche 1 bis 11.

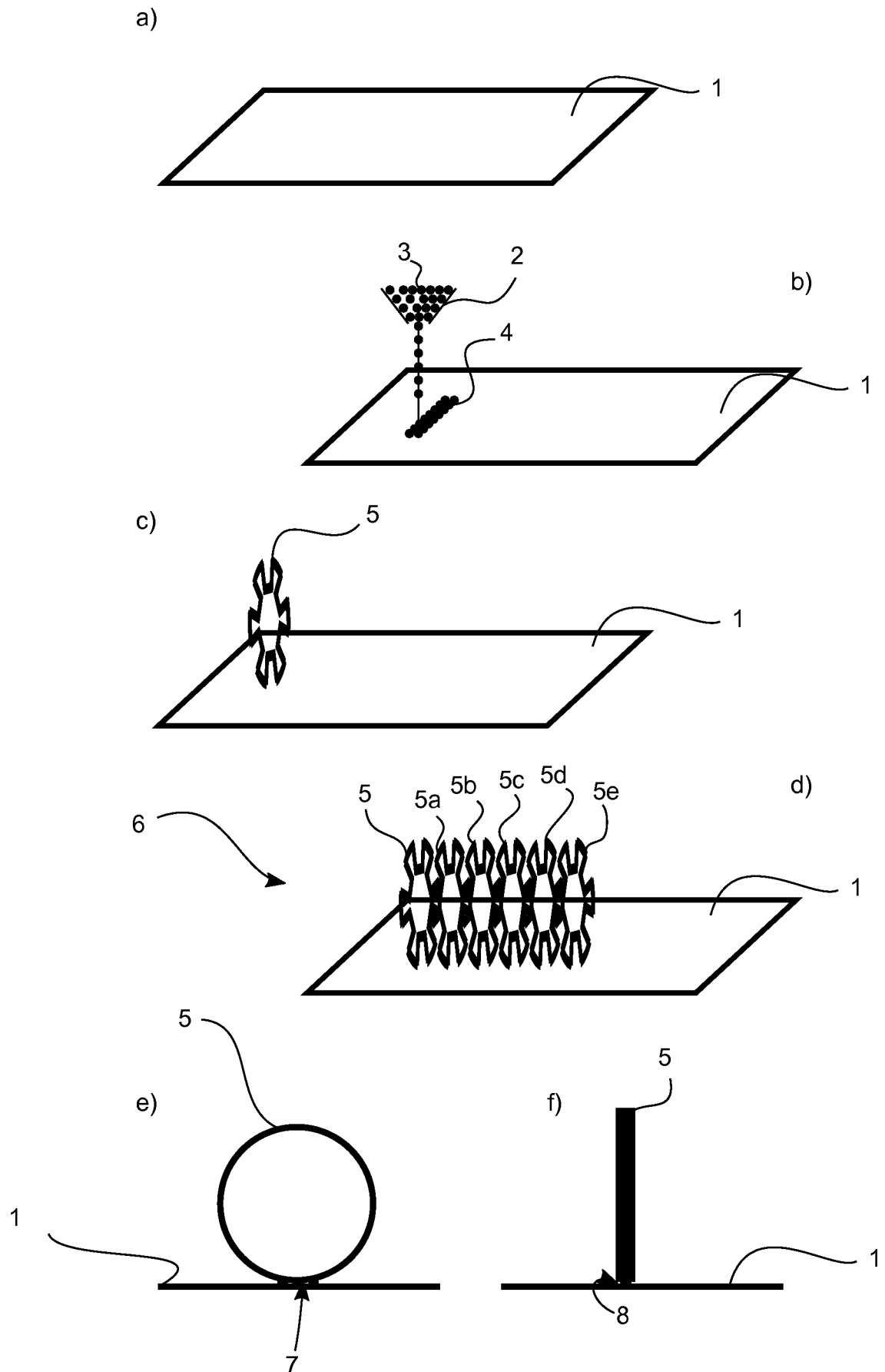


Fig. 1

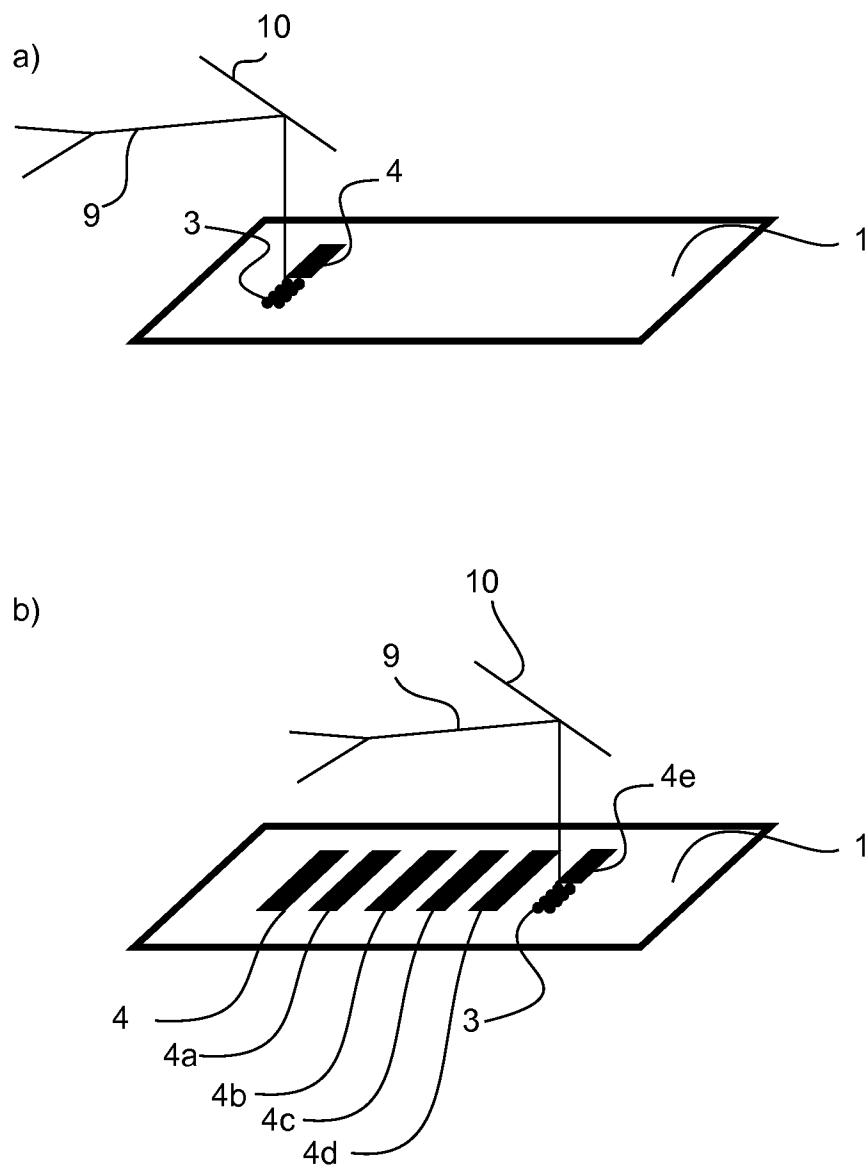


Fig. 2

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2019/077462

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**H02K 15/02**(2006.01)i; **H02K 1/02**(2006.01)n; **H01F 41/02**(2006.01)n

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)

H02K; H01F; B33Y

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 practicable, 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	DE 102016119650 A1 (HOCHSCHULE AALEN [DE]) 19 April 2018 (2018-04-19)	1-4,7-15
Y	paragraphs [0016], [0025], [0026], [0053], [0069] - [0071]; claim 7; figures 1, 2	5,6
A	EP 3115132 A1 (GEN ELECTRIC [US]) 11 January 2017 (2017-01-11) paragraph [0008]	1
Y	US 2005133116 A1 (NISHIJIMA YOSHIKI [JP] ET AL) 23 June 2005 (2005-06-23) paragraphs [0048], [0054], [0055]	5,6
A	KR 20160092439 A (UNIV CHOSUN IACF [KR]) 04 August 2016 (2016-08-04) paragraphs [0058], [0059]	1

☐ 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 application or patent 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

29 November 2019

Date of mailing of the international search report

06 December 2019

Name and mailing address of the ISA/EP

European Patent Office
p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk
Netherlands

Telephone No. (+31-70)340-2040

Facsimile No. (+31-70)340-3016

Authorized officer

Van de Maele, Wim

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/EP2019/077462

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
DE	102016119650	A1	19 April 2018	NONE			
EP	3115132	A1	11 January 2017	CN	106334797	A	18 January 2017
				EP	3115132	A1	11 January 2017
				JP	2017039995	A	23 February 2017
				US	2017008084	A1	12 January 2017
US	2005133116	A1	23 June 2005	DE	102004055694	A1	07 July 2005
				JP	4010296	B2	21 November 2007
				JP	2005154791	A	16 June 2005
				US	2005133116	A1	23 June 2005
KR	20160092439	A	04 August 2016	NONE			

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

INV. H02K15/02

ADD. H02K1/02 H01F41/02

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

H02K H01F B33Y

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

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	DE 10 2016 119650 A1 (HOCHSCHULE AALEN [DE]) 19. April 2018 (2018-04-19)	1-4,7-15
Y	Absätze [0016], [0025], [0026], [0053], [0069] - [0071]; Anspruch 7; Abbildungen 1, 2	5,6
A	----- EP 3 115 132 A1 (GEN ELECTRIC [US]) 11. Januar 2017 (2017-01-11) Absatz [0008]	1
Y	----- US 2005/133116 A1 (NISHIJIMA YOSHIAKI [JP] ET AL) 23. Juni 2005 (2005-06-23) Absätze [0048], [0054], [0055]	5,6
A	----- KR 2016 0092439 A (UNIV CHOSUN IACF [KR]) 4. August 2016 (2016-08-04) Absätze [0058], [0059]	1



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" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. 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 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

29. November 2019

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

06/12/2019

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde

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

Bevollmächtigter Bediensteter

Van de Maele, Wim

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2019/077462

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 102016119650 A1	19-04-2018	KEINE	
EP 3115132 A1	11-01-2017	CN 106334797 A	18-01-2017
		EP 3115132 A1	11-01-2017
		JP 2017039995 A	23-02-2017
		US 2017008084 A1	12-01-2017
US 2005133116 A1	23-06-2005	DE 102004055694 A1	07-07-2005
		JP 4010296 B2	21-11-2007
		JP 2005154791 A	16-06-2005
		US 2005133116 A1	23-06-2005
KR 20160092439 A	04-08-2016	KEINE	