

(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
10. Februar 2022 (10.02.2022)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2022/029006 A1

- (51) Internationale Patentklassifikation:
H02K 15/04 (2006.01) *B33Y 10/00* (2015.01)
H02K 3/04 (2006.01) *B33Y 80/00* (2015.01)
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2021/071291
- (22) Internationales Anmeldedatum:
29. Juli 2021 (29.07.2021)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:
10 2020 120 802.2
06. August 2020 (06.08.2020) DE
- (71) Anmelder: TECHNISCHE UNIVERSITÄT BERG-
AKADEMIE FREIBERG [DE/DE]; Akademiestraße 6,
09599 Freiberg (DE).
- (72) Erfinder: HELM, Axel; Döbelner Straße 27, 01129 Dres-
den (DE).
- (74) Anwalt: PFRANG, Tilman; Meissner Bolte Patentanwälte
Rechtsanwälte Partnerschaft mbB, Postfach 860624, 81633
München (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, DE, DJ, DK, DM,
DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,
HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, 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,

(54) Title: METHOD FOR ADDITIVELY MANUFACTURING A THREE-DIMENSIONAL COMPONENT HAVING AT LEAST ONE WINDING

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUR ADDITIVEN FERTIGUNG EINES DREIDIMENSIONALEN BAUTEILES MIT MINDESTENS EINER WICKLUNG

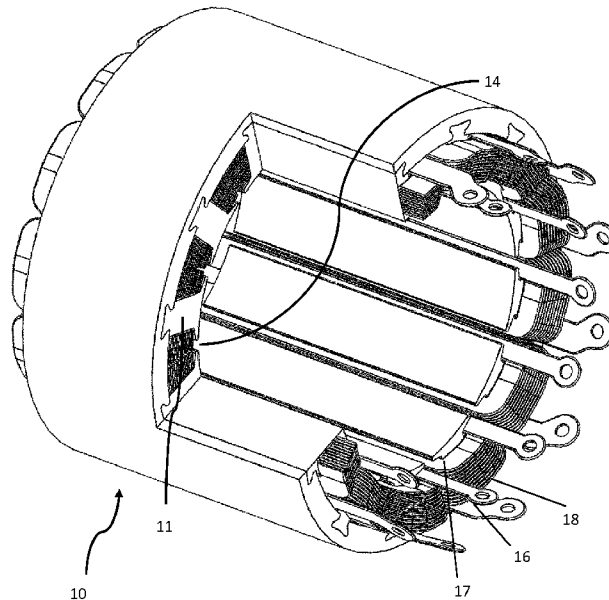


Fig. 1

(57) Abstract: The invention relates to a method for additively manufacturing a three-dimensional component having at least one winding, in particular a coil (17) for an electric motor, by layer-by-layer application of a construction material and locally selective solidification of the construction material by irradiation with at least one beam impinging on the construction material, wherein the irradiation is configured in such a manner that a thickness of the winding at least in sections is less than or equal to 1.0 mm, preferably is less than or equal to 0.5 mm, and/or wherein at most ten, preferably at most five, furthermore preferably at most two irradiation paths lie next to one another, or there is precisely one irradiation path, at least in sections in a thickness direction.



WO 2022/029006 A1

NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU,
RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM,
TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, 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, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur additiven Fertigung eines dreidimensionalen Bauteiles mit mindestens einer Wicklung, insbesondere einer Spule (17) für einen Elektromotor, durch schichtweises Aufbringen eines Aufbaumaterials und örtlich selektives Verfestigen des Aufbaumaterials durch eine Bestrahlung mit mindestens einem auf das Aufbaumaterial auftreffenden Strahl, wobei die Bestrahlung so konfiguriert wird, dass eine Dicke der Wicklung zumindest abschnittsweise kleiner oder gleich 1,0 mm, vorzugsweise kleiner oder gleich 0,5 mm ist und/oder wobei in einer Dickenrichtung zumindest abschnittsweise höchstens zehn, vorzugsweise höchstens fünf, weiter vorzugsweise höchstens zwei oder genau eine, Bestrahlungsbahn/-en nebeneinander liegt/-en.

Verfahren zur additiven Fertigung eines dreidimensionalen Bauteiles mit
mindestens einer Wicklung

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur additiven Fertigung eines dreidimensionalen Bauteiles mit mindestens einer Wicklung, insbesondere mit mindestens einer Spule für eine elektrische Maschine, insbesondere einen Elektromotor oder Generator, sowie ein entsprechendes Bauteil mit mindestens einer Wicklung, insbesondere mit mindestens einer Spule für eine elektrische Maschine, insbesondere einen Elektromotor oder Generator.

Verfahren und entsprechende Vorrichtungen zur additiven Fertigung dreidimensionaler Bauteile durch schichtweises Aufbringen und örtlich selektives Verfestigen eines Aufbaumaterials sind aus dem Stand der Technik grundsätzlich bekannt. Zum schichtweisen Aufbringen ist üblicherweise mindestens eine entsprechende Beschichtungseinheit vorgesehen. Für das örtlich selektive Verfestigen wird üblicherweise mindestens eine entsprechende Bestrahlungseinheit (z. B. umfassend mindestens einen Laser und/oder eine Elektronenstrahleinrichtung, insbesondere Elektronenstrahlkanone, und/oder Lichtbogeneinrichtung) bereitgestellt.

Weiterhin ist es aus dem Stand der Technik, nämlich DE 10 2014 20 305 A1 sowie US 2019/0260252 A1, bekannt, Fertigungsverfahren bzw. entsprechende Vorrichtungen zur additiven Fertigung auch zur Herstellung von Spulen für

Elektromotoren zu verwenden. In der US 2019/0260252 A1 geht es insbesondere um das Anbringen einer Isolation. Die DE 10 2014 201 305 A1 beschreibt die Herstellung einer Spule mit Kühlkanälen.

Die aus dem Stand der Technik bekannte Herstellung von solchen Spulen oder allgemein Bauteilen mit mindestens einer Wicklung wird als verbesserungswürdig angesehen.

Es ist Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren zur additiven Fertigung mindestens eines Bauteils mit mindestens einer Wicklung (bzw. mit mindestens einer Spule) sowie eine entsprechende Herstellvorrichtung vorzuschlagen, wobei der Herstellungsaufwand möglichst reduziert sein soll, insbesondere bei gleichzeitiger Realisierung einer platzsparenden Konstruktion.

Diese Aufgabe wird insbesondere durch den Gegenstand gemäß Anspruch 1 gelöst.

Insbesondere wird die Aufgabe gelöst durch ein Verfahren zur additiven Fertigung eines dreidimensionalen Bauteiles mit mindestens einer Wicklung, insbesondere mit mindestens einer Spule für eine elektrische Maschine, insbesondere einen Elektromotor oder Generator, durch schichtweises Aufbringen eines Aufbaumaterials und örtlich selektives Verfestigen des Aufbaumaterials durch eine Bestrahlung mit mindestens einem auf das Aufbaumaterial auftreffenden Strahl.

Ein allgemeiner Erfindungsgedanke zeichnet sich also dadurch aus, ein Verfahren zur additiven Fertigung durch schichtweises Aufbringen eines Aufbaumaterials und örtlich selektives Verfestigen des Aufbaumaterials durch eine Bestrahlung mit mindestens einem auf das Aufbaumaterial auftreffenden Strahl, zur Herstellung eines dreidimensionalen Bauteils mit mindestens einer Wicklung, insbesondere mit mindestens einer Spule für eine elektrische Maschine, insbesondere einen Elektromotor oder Generator, zu verwenden.

Gemäß einem ersten besonders bevorzugten Aspekt der Erfindung wird eine axiale Länge der Wicklung, insbesondere Spule (17), aus einem entspannten Ausgangszustand um mindestens 30 %, vorzugsweise mindestens 100 %, gestreckt (oder die Wicklung/Spule ist zumindest so beschaffen, dass dies

möglich ist), insbesondere ohne sich (bei 20°C) plastisch zu verformen, und/oder um mindestens 30 % gestaucht, insbesondere ohne sich (bei 20°C) plastisch zu verformen (oder die Wicklung/Spule ist zumindest so beschaffen, dass dies möglich ist).

Gemäß dem ersten (besonders bevorzugten) Aspekt der Erfindung (der alternativ oder zusätzlich zum nachfolgenden zweiten Aspekt vorgesehen sein kann) kann die mindestens eine Wicklung (insbesondere Spule) aus einem entspannten Ausgangszustand (bei 20 °C) um mindestens 30%, vorzugsweise mindestens 100%, noch weiter vorzugsweise mindestens 300%, ggf. mindestens 500% gestreckt werden, insbesondere ohne sich plastisch zu verformen, und/oder um mindestens 30%, ggf. mindestens 50% gestaucht werden (insbesondere ohne sich plastisch zu verformen).

Gemäß einem weiteren besonders bevorzugten Aspekt der Erfindung wird die Bestrahlung so konfiguriert, dass eine Dicke der Wicklung zumindest abschnittsweise kleiner oder gleich 5,0 mm, vorzugsweise kleiner oder gleich 1,0 mm, weiter vorzugsweise kleiner oder gleich 0,5 mm ist und/oder wobei in einer Dickenrichtung (ggf. einer jeweiligen Beschichtungsebene) zumindest abschnittsweise höchstens 50, vorzugsweise höchstens 10, weiter vorzugsweise höchstens 5, weiter vorzugsweise höchstens 2 oder genau eine, Bestrahlungsbahn/-en (unmittelbar) nebeneinander liegt/-en.

Ein zentraler Gedanke des zweiten (besonders bevorzugten) Aspektes liegt also darin, mittels des additiven Fertigungsverfahrens eine vergleichsweise geringe Dicke (Leiterdicke bzw. Materialstärke) der Wicklung zu realisieren, vorzugsweise von $\leq 1,0$ mm und/oder höchstens 20, ggf. höchstens 15 oder höchstens 10, nebeneinander liegenden Bestrahlungsbahnen.

Gemäß dem zweiten Aspekt geht es insbesondere darum, eine Materialstärke (Dicke) der Wicklung bzw. Spule möglichst klein auszubilden, was auf synergistische Art und Weise mittels des hier vorgeschlagenen additiven Herstellungsverfahrens gelingt. Dadurch kann auf einfache Art und Weise eine entsprechende Wicklung hergestellt werden. Insbesondere ist es möglich, auf einfache Art und Weise eine vergleichsweise elastische Wicklung (Spule) bereitzustellen, die entsprechend gestreckt und/oder gestaucht werden kann,

beispielsweise um eine Isolierung anzubringen und/oder eine Oberfläche der Wicklung (Spule) zu polieren.

Unter einem Bauteil mit mindestens einer Wicklung kann ein (ggf. einstückiges, insbesondere monolithisches) Bauteil verstanden werden, das eine Wicklung umfasst oder durch eine solche Wicklung gebildet wird (also ggf. keine weiteren Strukturen, außer die Wicklung, aufweist). Bei der Wicklung kann es sich insbesondere um eine Spule für eine elektrische Maschine, insbesondere einen Elektromotor oder Generator, handeln.

Unter einer Wicklung ist insbesondere eine um eine (tatsächliche bzw. physische oder geometrische) Achse verlaufende Aufwicklung eines Materials im festen Aggregatzustand zu verstehen. Die Wicklung kann ein- oder mehrlagig sein. Vorzugsweise ist die Wicklung (bzw. Spule) zum Aufbringen auf einen Stator eines Elektromotors konfiguriert (bzw. dort angeordnet). Die Wicklung (bzw. die Spule) soll vorzugsweise mindestens einen 360°-Umlauf (= Einzel-Wicklung) aufweisen, vorzugsweise mindestens 2 oder mindestens 5 oder mindestens 10 derartige 360°-Umläufe (bzw. aneinandergereihte Einzel-Wicklungen).

Eine Erstreckung der Wicklung in axialer Richtung soll insbesondere auch als Länge der Wicklung verstanden werden. Die axiale Richtung ist hier vorzugsweise durch die (geometrische) Wicklungsachse (bzw. Spulenachse) definiert, um die die Wicklung herumgewickelt (bzw. aufgesteckt) ist. Diese Achse verläuft vorzugsweise gerade, kann ggf. jedoch auch gekrümmt sein. Bei einer gekrümmten Achse soll als Länge insbesondere ein Abstand (entlang der Wickelachse) zwischen zwei Endpunkten der Wicklung verstanden werden, die auf der Achse liegen (wobei in dieser Betrachtungsweise zu den Punkten der Wicklung auch diejenigen Punkte gehören sollen, die im Inneren der Wicklung, diese insbesondere als Einhüllende betrachtend, liegen).

Die (jeweilige) Ausdehnung der Wicklung (Spule) in zueinander senkrechten Richtungen, die beide senkrecht zur (jeweiligen) Längsrichtung sind, wird nachfolgend auch mit Breite und Höhe bezeichnet.

Unter einer Dicke der Wicklung ist insbesondere deren Materialstärke in Längsrichtung zu verstehen. Diese kann konstant sein (beispielsweise bei einer

plattenartigen Konfiguration der Wicklung bzw. Spule) oder variieren. Wenn die Dicke variiert, soll vorzugsweise gelten, dass die oben angegebene Bedingung (Dicke $\leq 5,0$ mm vorzugsweise $\leq 1,0$ mm, weiter vorzugsweise $\leq 0,5$ mm, ggf. $\leq 0,2$ mm) für mindestens 20%, vorzugsweise mindestens 50%, noch weiter vorzugsweise mindestens 90%, ggf. für die gesamte Materiallänge der Wicklung (bzw. Spule) gilt.

Unter einer Materiallänge ist insbesondere eine Länge des Materials der Wicklung (bzw. Spule) zu verstehen, also eine Länge der Wicklung in einem (gedachten) Zustand, in dem diese auf eine Linie gebracht (bzw. gestreckt ist) ist.

Insbesondere kann die Wicklung (Spule) in einem Querschnitt senkrecht zur (lokalen) Erstreckung des Wicklungsmaterials variieren (beispielsweise bei einer kreisförmigen Geometrie des Materials). Dann soll die obige Bedingung vorzugsweise für den gesamten Querschnitt gelten (also insbesondere auch an der Stelle, an der die Dicke maximal wird).

Unter einer Dickenrichtung ist die Richtung der Erstreckung der Dicke zu verstehen. In dieser Richtung sollen alternativ oder zusätzlich höchstens 50, vorzugsweise höchstens 10, weiter vorzugsweise höchstens 5, weiter vorzugsweise höchstens 2 oder genau eine Bestrahlungsbahn unmittelbar nebeneinander liegen.

Die Dicke bzw. Dickenrichtung erstreckt sich vorzugsweise (während der additiven Herstellung) in einer (jeweiligen) Beschichtungsebene (zumindest abschnittsweise), oder senkrecht dazu oder in eine noch andere Richtung.

Die Wicklungsachse erstreckt sich ausführungsgemäß parallel zu einer Bauebene (Oberfläche einer Bauplattform) (zumindest abschnittsweise), oder senkrecht dazu oder in eine noch andere Richtung.

Unter einer Streckung bzw. Stauchung der Spule soll insbesondere eine entsprechende Vergrößerung (Streckung) sowie Verkürzung (Stauchung) von deren Länge verstanden werden.

Vorzugsweise soll die Wicklung (insbesondere Spule) also erheblich gestreckt (und/oder gestaucht) werden können und nach dieser Streckung (bzw. Stauchung) wieder (elastisch) in ihren Ausgangszustand zurückgehen.

Durch eine derartige Ausbildung kann die Wicklung (Spule) auf einfache Art und Weise weiter verarbeitet bzw. ausgestattet werden (insbesondere durch eine Polierung und/oder Reinigung und/oder Einbringung einer elektrischen Isolierung). Beispielsweise kann die Spule zunächst gestreckt werden, daraufhin eine Isolierung eingebracht werden (insbesondere wie weiter unten im Detail erläutert) und danach (unter Ausnutzung einer elastischen Rückstellkraft) wieder in ihren Ausgangszustand zurückgebracht werden (oder in einen Zwischenzustand, beispielsweise wenn die Isolierung verhindert, dass sich die Spule bzw. Wicklung vollständig zurückzieht).

Im Ergebnis wird die Herstellung und Nachbearbeitung (Post-Processing) derartiger Wicklungen bzw. Spulen vereinfacht.

Generell (unabhängig von der Frage, ob eine plastische Verformung stattfindet) wird in einer bevorzugten Ausgestaltung des Verfahrens gemäß dem zweiten Aspekt die Wicklung (Spule) um vorzugsweise mindestens 30%, weiter vorzugsweise mindestens 100%, noch weiter vorzugsweise mindestens 500% gestreckt und/oder um mindestens 30%, ggf. mindestens 50%, gestaucht. Dies ist generell vorteilhaft, um die Spule weiter zu bearbeiten bzw. anpassen (und/oder mit weiteren Materialien, wie beispielsweise einem Isoliermaterial) ausstatten zu können.

Die bevorzugte Flexibilität der Wicklung (Spule) bietet insbesondere Vorteile für die Nachbearbeitung, wie beim Reinigen (beispielsweise mit Druckluft und/oder Ultraschall), durch Polieren (beispielsweise mittels Sandstrahlen) und/oder Isolieren (beispielsweise durch Vergussmassen, Isolierharze und/oder Feststoffisolatoren).

Insbesondere können Isolierungen vergleichsweise einfach eingebracht werden, da die Zugänglichkeit durch die (elastische) Verformbarkeit gewährleistet wird. Beispielsweise können sogenannte Prepregs (vorisolierte Folien) einfach eingebracht werden. Auch eine vollständige Benetzung mit Vergussmassen oder

Isolierharzen kann einfacher gewährleistet werden, wenn die Wicklung (Spule) in einem Ausgangszustand (insbesondere gestreckten Zustand) getränkt oder lackiert wird und nach dem Isoliervorgang auf die (finale) Länge gebracht (gedrückt) wird.

Vorzugsweise ist bei der Fertigung ein Spalt (Abstand) zwischen benachbarten Wicklungsabschnitten (Einzel-Wicklungen) (zumindest abschnittsweise) kleiner oder gleich 1 mm, vorzugsweise kleiner oder gleich 0,2 mm, ggf. kleiner oder gleich 0,1 mm. Der Spalt kann (zumindest abschnittsweise) größer als 0,05 mm, ggf. größer 0,08 mm sein. Der Spalt (Abstand) zwischen benachbarten Wicklungsabschnitten (Einzel-Wicklungen) kann alternativ oder zusätzlich höchstens gleich einer Dicke mindestens eines der beiden benachbarten Wicklungsabschnitte sein, vorzugsweise höchstens dem 0,5-fachen der Dicke mindestens einem der beiden benachbarten Wicklungsabschnitte entsprechen.

Durch derartige Maßnahmen kann ein Bauraum einer Anlage zur additiven Herstellung der Wicklung (Spule), insbesondere einer SLM-Anlage (DMLS) vergleichsweise effizient ausgenutzt werden. Insbesondere können Einzellinien (also vorzugsweise singuläre Bestrahlungsbahnen, die vorzugsweise nicht unmittelbare an eine weitere Bestrahlungsbahn, ohne Abstand dazwischen, angrenzen) vergleichsweise nahe aneinander liegend hergestellt werden. Insbesondere bei einer Linienbelichtung (vgl. Fig. 5) können hier vergleichsweise kleine Spalte (von beispielsweise kleiner oder gleich 0,1 mm) erzielt werden (aufgrund von guten Oberflächeneigenschaften).

Generell kann eine Wandstärke einer (jeweiligen) Wicklung bzw. Spule durch eine gezielte Parametrisierung der Bestrahlungseinrichtung eingestellt werden. Beispielsweise kann eine reduzierte Dicke (Wandstärke bzw. Materialstärke) durch eine erhöhte Geschwindigkeit (bei gleicher Leistung und Schichtdicke) erzielt werden, da der Energieeintrag pro Fläche mit steigender Geschwindigkeit geringer wird. Dadurch kann ein schmaleres Schmelzbad resultieren, das in einem dünneren Bauteil resultiert.

In Ausführungsformen kann eine (jeweilige) Bestrahlungsbahn (zumindest abschnittsweise) senkrecht zur Dickenrichtung verlaufen (und/oder parallel zu einer (insbesondere lokalen) Erstreckung des Materials der Wicklung bzw. Spule).

Alternativ oder zusätzlich kann eine (jeweilige) Bestrahlungsbahn von einem Ende des Bauteils im Bereich einer (der) jeweiligen Bestrahlungsbahn zum anderen Ende des Bauteils im Bereich der jeweiligen Bestrahlungsbahn (zumindest im Wesentlichen) ohne Unterbrechungen verlaufen. Eine Programmierung von solchen Einzelvektoren (bzw. von derartig durchgehenden Bestrahlungsbahnen) hat insbesondere den Vorteil, dass der Prozess vergleichsweise wenig fehleranfällig ist und dadurch weniger Fehlstellen im Material entstehen, die wiederum beispielsweise eine Leitfähigkeit verschlechtern können. In üblichen Bestrahlungsverfahren können durch eine Triangulation, die nach einer (virtuellen) Konstruktion der Flächengeometrien durch die Erstellung einer entsprechenden Datei entstehen kann, bei der Überführung in die tatsächliche Bestrahlung zu einer Unterbrechung der Bestrahlungsbahn bzw. der Vektoren führen. Diese Unterbrechungen führen dann beim tatsächlichen Durchführen des additiven Herstellungsverfahrens zu Haltezeiten der Bestrahlungseinrichtung (delays) führen, die wiederum zu Poren im Material führen können. Durch eine Einstellung bzw. Programmierung durchgängiger Vektoren kann diese Problematik behoben und somit jeder Leiter (pro Schicht) beispielsweise nur durch einen einzelnen Vektor hergestellt werden. Dadurch kann auch eine erhebliche Reduzierung der Fertigungszeit erzielt werden.

In weiteren Ausführungsformen können in Dickenrichtung mehrere (beispielsweise mindestens 2 oder mindestens 4 und/oder höchstens 100 oder höchstens 20) Bestrahlungsbahnen (unmittelbar) aneinander (nebeneinander) liegen, die vorzugsweise gegenläufig (antiparallel) zu einer jeweils benachbarten Bestrahlungsbahn durchfahren werden. Insbesondere können einzelne Vektoren entlang der Bauteil-Geometrie aneinander gelegt werden, um beispielsweise größere Wandstärken (Dicken) als durch eine einzelne Bestrahlungslinie (Einzelvektor) herstellbar sind, realisieren zu können. Daraus kann eine Oberflächenbeschaffenheit verbessert (insbesondere eine Oberflächenrauheit reduziert) werden und/oder eine Bauzeit verkürzt werden. Unter „entlang der Geometrie“ ist insbesondere zu verstehen, dass die einzelnen Vektoren parallel zur (lokalen) Erstreckung des Wicklungsmaterials bzw. Spulenmaterials ausgerichtet sind (also vorzugsweise nicht in einem Winkel dazu). Durch eine derartige Ausrichtung können Sprungpunkte reduziert werden, was die Fertigungszeit erheblich, beispielsweise um $2/3$, reduzieren kann (wenn die Sprungpunkte z. B. von 12 auf 4 reduziert werden).

Eine Einstellung der Wandstärke (Dicke) kann wie folgt durchgeführt werden: Wie bereits oben erläutert kann bei der Fertigung von Wicklungen bzw. (Einzel-) Spulen durch (mehrfache) Bestrahlung eine Wandstärke durch einen Bestrahlungsparameter eingestellt werden. Die Summe der Wandstärke kann dann die Gesamtwandstärke ergeben. Alternativ kann eine bestimmte Wandstärke gezielt dadurch erreicht werden, dass ein Hatch-Abstand (Abstand zwischen den Bestrahlungslinien) so gewählt wird, dass eine Gesamtsumme der Bestrahlungen die nötige (gewünschte) Wandstärke ergibt. Auch ist es möglich, die Summe von Bestrahlungsabschnitten konstant zu halten und nur einen Abstand zwischen den Bestrahlungsvektoren zu verändern, um das gewünschte Maß zu erreichen. Vorteilhafterweise wird dabei der Hatch-Abstand verkleinert, da Vergrößerungen tendenziell zu (mehr) Porosität führen.

Eine Baubarkeit von Wicklungen bzw. Spulen kann zumindest bei bestimmten Aspekt-Verhältnissen (ab beispielsweise Dicke zu Höhe = 1:8) erschwert sein. Beispielsweise kann bei bestimmten Spulen ein Verhältnis von 1:166 (eine Dicke bzw. Materialstärke ist beispielsweise 0,3 mm; eine Höhe ist beispielsweise 50 mm) vorliegen. Eine aufgrund des Schmelzprozesses bei der additiven Herstellung entstehende Spannung kann sich bei solchen dünnen Querschnitten negativ auf das Bauteil auswirken und es kann zu Verzügen kommen. Diese Verzüge können so weit gehen, dass die Bauteile unbrauchbar werden. Dem soll vorzugsweise entgegengewirkt werden.

Vorzugsweise werden die Einzel-Wicklungen der (Gesamt-)Wicklung bzw. Spule so nah wie möglich aneinander gerückt, beispielsweise bis auf 0,1 mm oder weniger (beispielsweise lediglich 0,05 mm). Dabei ist insbesondere darauf zu achten, dass einzelne Wicklungsabschnitte nicht miteinander verschmelzen (soweit dies nicht gewünscht ist). Weiterhin können Wände (Stützwände) zwischen einzelnen Wicklungsabschnitten (bzw. zwei aneinandergrenzenden Einzel-Wicklungen) integriert werden, die in einem ähnlichen Abstand positioniert werden können (z. B. eine Wand pro mindestens 3 und/oder höchstens 20 Einzel-Wicklungen). Vorzugsweise werden die Wände nach der Fertigung entfernt.

Derartige Maßnahmen können zu einer Verzugsminimierung führen. Folgende Mechanismen spielen dabei eine Rolle: Aufgrund von vergleichsweise nahe beieinander liegenden Bauteilen kann eine durch den Herstellungsprozess

entstehende Wärme gleichmäßig abgeleitet werden. Durch eine vergleichsweise hohe (maximale) Packung auf einer Bauplattform können Abkühlzeiten beeinflusst werden und dadurch eine Verzögerung wiederkehrender Aufschmelzungen auf einem Bauteil. Es kann eine Stützfunktion realisiert sein, sowohl zwischen den Bauteilen als auch zwischen Stützwänden und Bauteilen. Generell wird vorgeschlagen, die Einzel-Wicklungen der (Gesamt-Wicklung bzw. Spule) so zu bauen, dass diese senkrecht zur Bauplattform (bzw. Bauebene) positioniert werden.

Vorzugsweise verläuft die Dickenrichtung parallel zu der (jeweiligen) Beschichtungsebene und/oder Bauplattform-Oberfläche. Alternativ kann die Dickenrichtung senkrecht zu der jeweiligen Beschichtungsebene und/oder Bauplattform-Oberfläche verlaufen.

In Ausführungsformen weist die Wicklung eine zumindest im Wesentlichen konstante Dicke auf. Alternativ oder zusätzlich kann die Wicklung (Spule) plattenartig konfiguriert sein. Unter einer plattenartigen Konfigurierung ist insbesondere zu verstehen, dass ein jeweiliger Wicklungsabschnitt die Form einer Platte hat.

In Ausführungsformen kann ein Querschnitt der Wicklung (Spule) variieren. Alternativ oder zusätzlich kann mindestens ein Wickelkopf eine oberflächenvergrößernde Struktur zur Kühlung aufweisen. Alternativ oder zusätzlich kann mindestens ein Wickelkopf in radialer Richtung gegenüber den übrigen Bereichen der Wicklung verkürzt sein.

Beispielsweise innerhalb eines Elektromotors kann aufgrund eines Widerstandes des Leiters (der durch die Wicklung bzw. Spule ausgebildet wird) Wärme entstehen. Die Leitfähigkeit üblicher (metallischer) Leiter, wie insbesondere Kupfer oder einer Kupferlegierung, nimmt mit steigender Wärme ab. Dies hat zur Folge, dass eine effiziente Kühlung für Elektromotoren vergleichsweise bedeutsam ist. Da der (jeweilige) Wickelkopf bei einer Anwendung in einem Elektromotor, beispielsweise im Vergleich zu einem Material (z. B. Kupfer), das sich in der Stator-Nut befindet (Aktivteil), besser zugänglich ist, ist dort eine Kühlung vergleichsweise effizient. Eine vergleichsweise einfache Möglichkeit ist es nun, ausführungsgemäß, eine Fläche von Wickelkopfenden zu vergrößern, um somit

eine effizientere Kühlwirkung eines Fluids (Gas, vorzugsweise Luft, oder Flüssigkeit, vorzugsweise Wasser) zu erreichen. Eine Oberflächenvergrößerung (im Bereich des Wickelkopfes) kann vorzugsweise durch eine Vielzahl von (beispielsweise radial ausgerichteten) Vorsprüngen (beispielsweise in Form von Stegen und/oder Noppen und/oder Stiften und/oder (nach außenstehenden) Fasern) erreicht werden. Noch andere geometrische Ausprägungen sind möglich. In Kombination mit einer möglichen Fluidkühlung können hierbei vorzugsweise bereits Fixierungen zur mechanischen Befestigung mindestens einer Leitung der Fluidkühlung bei der Herstellung vorgesehen werden. Besonders vorteilhaft kann gleichzeitig eine große Kühlfläche mit einer vergleichsweise kurzen Wickelkopfgeometrie erzielt werden. Auch hier spielt der (nötige) Bauraum eine Rolle.

Weiterhin wird ausführungsgemäß eine Wickelkopfverkürzung vorgeschlagen. Eine radiale Erstreckung des Spulenmaterials kann im Bereich des Wickelkopfes beispielsweise (im jeweiligen Mittel) weniger als 0,9-mal, vorzugsweise weniger als 0,7-mal, ggf. weniger als 0,5 mal so groß sein wie eine radiale Erstreckung des Spulenmaterials außerhalb des Bereichs des Wickelkopfes. Beispielsweise kann ein Querschnitt durch die jeweilige Wicklung (bzw. Spule) im Bereich des Wickelkopfes eine andere (z. B. kompaktere) Form aufweisen oder (in einer Seitenansicht) abgebogen bzw. abgewinkelt verlaufen. In Ausführungsformen kann eine Querschnittsfläche durch die Wicklung (Spule) im Bereich des Wickelkopfes mindestens 0,5-mal, vorzugsweise mindestens 0,8-mal und/oder höchstens 1,5-mal, vorzugsweise 1,2-mal so groß sein wie eine Querschnittsfläche in den übrigen Bereichen. Alternativ oder zusätzlich kann eine radiale Erstreckung im Bereich des Wickelkopfes maximal 0,8-mal, vorzugsweise maximal 0,5-mal so groß sein wie eine radiale Erstreckung in den übrigen Bereichen der Wicklung (Spule).

In Ausführungsformen kann ein Querschnitt der Wicklung (Spule) im Bereich des Wickelkopfes beispielsweise rechteckförmig oder dreieckig sein. Bei einer dreieckigen Ausgestaltung ist besonders bevorzugt, wenn jeweils benachbarte Wicklungsabschnitte (Spulenabschnitte) im Querschnitt jeweilige Dreiecke ausbilden, die alternierend ausgerichtet sind (so dass eine Spitze des einen Dreiecks in die genau andere Richtung weist, wie die Spitze der jeweils benachbarten Dreiecke).

Die Wicklung (Spule) kann abschnittsweise mindestens eine Einbuchtung (ggf. genau eine Einbuchtung auf einer Seite, insbesondere bei rechteckförmiger Konfiguration) aufweisen und/oder mindestens abschnittsweise (insbesondere im Bereich eines Wickelkopfes) wellen- oder zickzackförmig verlaufen.

Eine Segmentierung von Statoren ist üblich, um eine Montage von Wicklungen (bzw. Spulen, insbesondere aus Kupfer) zu vereinfachen. Ein entsprechender Zahnfuß kann das Aufstecken derartiger Spulen erschweren.

Um dennoch eine vergleichsweise einfache Montage realisieren zu können, wird ausführungsgemäß eine entsprechende geometrische Ausprägung (insbesondere in Kombination mit einer prozessbedingten Flexibilität) vorgeschlagen. Durch eine (z. B. einseitig oder beidseitig vorgesehene) Einbuchtung (die vorzugsweise entsprechende Verformungsöhren ausbildet) kann eine Montage einer (geschlossenen) Spule auf einem segmentierten Stator mit Zahnfuß vereinfacht werden. Es ist vorzugsweise keine mechanische Verformung durch eine Wickelmaschine nötig, was einen Zugewinn an Bauraum ermöglicht, da insbesondere keine Kunststoffelemente auf dem Stator-Zahn benötigt werden. Beispielsweise kann die jeweilige Wicklung (mit einer Ausbuchtung bzw. Verformungsöhren) auf einem Statorsegment einseitig aufgesteckt werden. Um nun auch eine zweite Seite über den Zahnfuß zu bewegen, kann die Ausbuchtung (bzw. die die Ausbuchtung begrenzenden Verformungsöhren) für eine elastische Verformung über den Zahnfuß genutzt werden.

Auch andere Geometrien können einen solchen Effekt haben, beispielsweise eine Wellenform oder eine Zickzackform, die für eine Spreizung der gesamten Spulengeometrie genutzt werden kann.

Die Wicklung kann eine mehreckige, insbesondere viereckige Konfiguration aufweisen. Darunter ist insbesondere zu verstehen, dass mehrere Einzel-Wicklungen oder jede Einzel-Wicklung eine mehreckige, insbesondere viereckige, Konfiguration aufweist (also ein Vieleck bzw. insbesondere Viereck ausbildet in einer Draufsicht entlang der Längsrichtung der Gesamtwicklung). Besonders bevorzugt wird eine derartige viereckige Konfiguration mit einem viereckigen Querschnitt (wie oben erläutert) kombiniert.

Die Wicklung (Spule) kann mindestens abschnittsweise keine Steigung aufweisen. Vorzugsweise weist die Wicklung (Spule) in zumindest einem 360°-Umlauf (insbesondere bezogen auf zumindest eine Einzel-Wicklung) nur über einen Winkelbereich von kleiner oder gleich 180°, vorzugsweise kleiner oder gleich 120°, ggf. kleiner oder gleich 90° eine Steigung auf. Alternativ oder zusätzlich kann bei einer viereckigen Konfiguration der Wicklung nur an zwei oder nur an einer Viereckseite eine Steigung vorliegen. Unter einer Steigung der Wicklung (Spule) ist zu verstehen, dass diese in Längsrichtung vorrückt. Wenn keine Steigung vorliegt ist es also vorzugsweise so, dass die Wicklung (in Bezug auf die Längsrichtung) nicht weiter voranschreitet. In einer Ansicht senkrecht auf die Längsrichtung ist eine Steigung dadurch erkennbar, dass der Winkel gegenüber der Längsrichtung kleiner als 90° ist, beispielsweise kleiner als 88° oder kleiner als 85° oder kleiner als 80° und/oder größer als 45°. Durch derartige Maßnahmen (bzw. Sprungpunkte im Verlauf) kann eine vergleichsweise platzsparende Bauweise erzielt werden.

Optional weist die Wicklung (Spule) zumindest abschnittsweise nicht-aufgeschmolzene Bereiche auf, die vorzugsweise durch Sinterprozesse und/oder benachbarte aufgeschmolzene Bereiche im Materialverbund zusammenhalten. Dadurch kann insbesondere eine Wirbelstromreduzierung (vorzugsweise durch einen ähnlichen Effekt wie bei Stator-Blechpaketen) erreicht werden. Dabei ist eine laminare Struktur denkbar (also insbesondere derart, dass sich Schichten von aufgeschmolzenem Material mit Schichten vom nicht-aufgeschmolzenem Material abwechseln, insbesondere bei einem rechteckförmigen Querschnitt bzw. einer plattenartigen Ausgestaltung der Wicklung bzw. Spule). Beispielsweise kann ein Linienabstand vergleichsweise so groß gewählt werden, dass zwischen den Belichtungslinien ein nicht-verschmolzener Bereich entsteht. Dieser kann aufgrund von Sinterprozessen mechanisch verfestigt werden.

Bei einem dreieckförmigen Querschnitt durch das Wicklungsmaterial (bzw. Spulenmaterial) kann ebenfalls eine laminare Struktur vorliegen oder eine Struktur mit winklig (ggf. zufällig zueinander) angeordneten nicht-verschmolzenen Bereichen.

Generell kann die Wicklung (Spule) mittels verschiedener Bestrahlungsmodi hergestellt werden.

Beispielsweise kann eine (bezogen auf die Materialstärke, insbesondere in Längsrichtung der Spule vergleichsweise dünne) Wicklung durch Bestrahlung mit (nur) einer Bestrahlungsbahnbreite hergestellt werden. Ein Abstand einer Einzel-Wicklung der (Gesamt-)Wicklung zu einer jeweiligen benachbarten Einzel-Wicklung kann so eingestellt sein, dass dazwischen unverfestigtes Aufbaumaterial (nach der Bestrahlung) verbleibt. Im Anschluss an die Verfestigung durch die Bestrahlung kann unverfestigtes Pulver entfernt werden, so dass Einzel-Wicklungen mit der Dicke (Materialstärke) einer Bestrahlungsbahn übrigbleiben.

Bei einem alternativen Bestrahlungsmodus kann eine (poröse) Wicklung durch Bestrahlung mit einer Bestrahlungsbahnbreite erzeugt werden. Ein Abstand zur jeweils nächsten Bestrahlungsbahn kann so gewählt werden, dass die beiden (benachbarten) verfestigten Bestrahlungsbahnen durch eine poröse Schicht (Sinterschicht bzw. Schicht mit Ansinterungen) verbunden sind. Hierbei ist das Aufbaumaterial zwischen den beiden (benachbarten) Bestrahlungsbahnen ggf. nicht vollständig aufgeschmolzen, sondern nur teilweise aufgeschmolzen (bzw. angeschmolzen). Eine Einzel-Wicklung umfasst dann zwei (parallele) Bestrahlungsbahnen und einen diese Bestrahlungsbahnen porös verbindenden Zwischenraum (sowie ggf. weitere parallele Bestrahlungsbahnen mit entsprechenden Zwischenräumen). Der poröse Teil kann zur Wirbelstromreduzierung genutzt werden.

In einem weiteren Bestrahlungsmodus kann eine vergleichsweise breite Wicklung durch Bestrahlung mit mehreren Bestrahlungsbahnbreiten (insbesondere ohne einen Zwischenraum, wie im vorhergehenden Absatz erläutert) erzeugt werden.

In Abwandlungen können vergleichsweise dicke Einzel-Wicklungen auch poröse Wicklungsbereiche enthalten. Beispielsweise kann eine Einzel-Wicklung aus zwei oder mehr, z. B. vier, (parallelen) Bestrahlungsbahnen, die unmittelbar aneinander liegen, einer porösen Zwischenschicht und zwei oder mehr, z. B. vier, weiteren (parallelen) Bestrahlungsbahnen aufgebaut sein.

Generell kann eine Wicklung (als Aneinanderreihung von Einzel-Wicklungen) mehrere parallele Leiter bzw. Leiterbahnen umfassen (bei der Herstellung gebildet durch Bestrahlungsbahnen). Wird ein Abstand zwischen den parallelen Leiterbahnen (hergestellt durch entsprechende Bestrahlungsbahnen)

vergleichsweise groß eingestellt, kann beim Herstellen der Wicklung ein Bereich zwischen den Leiterbahnen entstehen, in dem das Aufbaumaterial nicht (komplett) stoffschlüssig aufgeschmolzen wird, so dass Freiräume entstehen zwischen den parallelen Leiterbahnen, die zu einer Wirbelstromreduzierung führen können.

Vorzugsweise wird die Wicklung, insbesondere Spule (für eine elektrische Maschine, insbesondere einen Elektromotor oder Generator) poliert und/oder gereinigt. Dies erfolgt vorzugsweise mittels Sandstrahlen.

Gemäß einem dritten (besonders bevorzugten, grundsätzlich unabhängigen) Aspekt der Erfindung wird ein Verfahren zur Herstellung eines dreidimensionalen Bauteiles mit mindestens einer Wicklung, insbesondere einer Spule für eine elektrische Maschine, insbesondere einen Elektromotor oder Generator, vorgeschlagen, umfassend einen Verfahrensschritt einer additiven Fertigung, insbesondere gemäß einem der vorhergehenden Aspekte, eines dreidimensionalen Bauteiles mit mindestens einer Wicklung, insbesondere einer Spule für eine elektrische Maschine, insbesondere einen Elektromotor oder Generator, durch schichtweises Aufbringen eines Aufbaumaterials und örtlich selektives Verfestigen des Aufbaumaterials durch eine Bestrahlung mit mindestens einem auf das Aufbaumaterial auftreffenden Strahl, und mindestens einen Verfahrensschritt einer Oberflächenbehandlung und/oder -bedeckung (einer Wicklungs- bzw. Spulenoberfläche), wobei eine Streckung einer axialen Länge der Wicklung, insbesondere Spule, durchgeführt wird und eine Oberflächenbehandlung und/oder -bedeckung der Wicklung, insbesondere Spule, im gestreckten Zustand durchgeführt wird, und/oder eine Stauchung einer axialen Länge der Wicklung der Spule erfolgt, wobei vor der Stauchung eine Oberflächenbehandlung und/oder -bedeckung der Wicklung, insbesondere Spule, im gestreckten Zustand durchgeführt wird.

In Ausführungsformen umfasst der Oberflächenbehandlungsschritt ein Polieren, vorzugsweise umfassend ein Sandstrahlen.

Alternativ oder zusätzlich kann der Oberflächenbehandlungsschritt ein Reinigen, vorzugsweise mit einem flüssigen und/oder gasförmigen Reinigungsmittel, umfassen.

Die Oberflächenbedeckung umfasst vorzugsweise die Anordnung einer (elektrischen) Isolierung zumindest teilweise auf der Oberfläche des Spulenmaterials, insbesondere zwischen einander benachbarten Einzelwicklungen.

Insbesondere um die Zugänglichkeit für Oberflächenbearbeitungsverfahren zu gewährleisten, ist eine Streckung der Wicklung (Spule) vorteilhaft. Somit kann auch durch vergleichsweise grobe Medien (beispielsweise beim Sandstrahlen) an jeder Stelle des Bauteils ein Polieren durchgeführt werden. Abschattungen können dabei vorteilhafterweise umgangen werden. Die Wicklung (Spule) kann vor dem Polieren gespreizt werden (und/oder nach dem Polieren zusammengedrückt werden und/oder sich aufgrund einer elastischen Rückstellkraft eigenständig zusammenziehen).

Alternativ oder zusätzlich zu einem Polieren kann ein Reinigungsschritt (beispielsweise mittels eines Fluids, insbesondere Gas oder Flüssigkeit) durchgeführt werden. Auch dazu wird die Spule vorzugsweise gestreckt und/oder nach dem Reinigen gestaucht (bzw. zusammengedrückt) bzw. kann sich nach dem Strecken aufgrund einer elastischen Rückstellkraft eigenständig zusammenziehen.

Besonders bevorzugt wird die Wicklung (Spule) vor der Anordnung einer Isolierung oder eines (z. B. flüssigen) Ausgangsmaterials für die Isolierung gestreckt (bzw. gespreizt). Alternativ oder zusätzlich kann nach der Anordnung der Isolierung oder eines (ggf. flüssigen) Ausgangsmaterials für die Isolierung die Spule zusammengedrückt werden und/oder sich aufgrund einer (elastischen) Rückstellkraft eigenständig zusammenziehen.

Die Anordnung der Isolierung kann umfassen:

- eine Bereitstellung eines festen Ausgangsmaterials, das zumindest teilweise aufgeschmolzen wird oder gelöst wird bzw. in Lösung gebracht wird (und wieder erstarrt und dadurch eine Verbindung mit der Wicklung eingeht und ggf. benachbarte Wicklungsabschnitte zusammenhält) und/oder

- eine Bereitstellung eines flüssigen oder pastösen Ausgangsmaterials (das beim Erstarren eine Verbindung mit der Wicklung eingeht und ggf. benachbarte Wicklungsabschnitte zusammenhält) und/oder
- eine Bereitstellung eines festen Isoliermaterials, das zwischen benachbarte Wicklungsabschnitte gelegt wird (wobei vorzugsweise kein vorangehendes Aufschmelzen erfolgt und/oder kein vorangehendes Auflösen erfolgt) und/oder
- eine Bereitstellung einer durch ein additives Herstellungsverfahren hergestellten (insbesondere als vorzugsweise innen hohle Isolier-Wicklung ausgebildeten) Isolierung und/oder
- eine Bereitstellung einer vorzugsweise innen hohlen Isolier-Wicklung (die vorzugsweise beispielsweise durch schraubenartiges Eindrehen mit der Wicklung verbunden wird).

Insbesondere bei einer dünnen Materialstärke (bzw. dünnen Wandstärke) gemäß dem zweiten Aspekt und/oder einer vergleichsweise hohen Flexibilität (gemäß dem ersten Aspekt) kann sich eine erhebliche Verbesserung der Zugänglichkeit von Einzel-Wicklungen und damit der Isolierfähigkeit ergeben. Eine Streckung (Spreizung), ist mit nur geringem Aufwand (Werkzeugaufwand) möglich.

Unterschiedliche Isoliersysteme sowohl in der Flüssig- als auch in der Festphase können genutzt werden. Die Verwendung von bekannten und bereits eingesetzten Isolierungen (beispielsweise Drahtlack, Epoxidharz und/oder Polyamid), aber auch andere Isolierungen, sind dadurch ermöglicht.

Um eine vollständige Benetzung in vergleichsweise geringen Zwischenräumen, insbesondere von kleiner 0,1 mm realisieren zu können, ist es möglich, die Wicklung (Spule) gestreckt in ein Bad einzubringen und diese nach der (kompletten) Benetzung dann beispielsweise mit Hilfe eines Werkzeuges auf ein Endmaß zusammenzudrücken.

Eine weitere Möglichkeit stellen Festkörperisolierungen dar. Zwischen benachbarten Einzel-Wicklungen (Lagen der Gesamtwicklung) kann eine Isolierschicht (Isolierfolie), z. B. aus Mylar®, angeordnet sein, das für eine (vollflächige) Isolierung sorgen kann. Diese Art der Isolierung wird insbesondere erst aufgrund einer speziellen (wandartigen, siehe oben) Geometrie möglich.

Eine andere (ähnliche) Möglichkeit stellen sogenannte Prepregs dar. Dabei handelt es sich um vorimprägnierte Schichten (Folien), die einen Kunststoff (z. B. Harz, insbesondere Epoxidharz) umfassen und beispielsweise beidseitig mit einer Nomex[®]-Folie beschichtet sind. Eine solche Vorimprägnierung kann beispielsweise durch ein Verpressen, insbesondere in Kombination mit einer Wärmebehandlung (in einem Ofen) mit der Wicklungsgeometrie (Leitergeometrie) verschmelzen und dabei für eine adhäsive Bindung sorgen. Dies kann auch als eine Primärisolierung bezeichnet werden, da es sich das Harz dann (direkt) auf dem Wicklungsmaterial (Leiter) befindet und sich auch (insbesondere) bei Oberflächenrauheiten (vollflächig) anschmiegt. Eingebrachte Festkörper, wie beispielsweise eine Mylar[®]-Folie, können hingegen als Sekundärisolierung bezeichnet werden.

Eine weitere Möglichkeit der Festkörperisolierung stellen wiederum additiv hergestellte Festkörper dar. Diese können aus gewickelten (spulenartigen) Geometrien bestehen. Eine Montage kann damit beispielsweise durch ein schraubenartiges Eindrehen ermöglicht sein. Als Fertigungsprozesse kommen beispielsweise Stereolithographie in Frage, bei der auch insbesondere thermisch stabile Werkstoffe verarbeitet werden können.

Um einen Abstand der (Einzel-)Wicklungen zur Isolierung herzustellen, können Abstandshalter (z. B. Abstandbleche) zwischen den Einzel-Wicklungen angeordnet werden, um eine Isolierdicke (bei Verguss) vorzugeben. Die gestreckte (gespreizte) Spule kann dann getränkt werden und auf Maß gepresst werden, wobei Abstandshalter den minimalen Abstand vorgeben.

Ein Abstand (bei Anordnen des Isoliermaterials bzw. einer Vorstufe des Isoliermaterials) kann auch durch ein Granulat im Isoliermaterial erfolgen. Eine gestreckte (gespreizte) Spule kann dann getränkt und auf Maß gepresst werden, wobei das Granulat den minimalen Abstand vorgibt.

Gemäß einem vierten (unabhängigen) Aspekt der Erfindung (der vorzugsweise mit einem ersten und/oder zweiten und/oder dritten Aspekt der Erfindung kombiniert wird) wird ein Verfahren zum Anordnen einer Spule auf einem Statorsegment eines Elektromotors vorgeschlagen, umfassend ein Verfahren zur additiven Fertigung eines dreidimensionalen Bauteiles mit mindestens einer Wicklung, insbesondere einer Spule für einen Elektromotor, durch schichtweises Aufbringen

eines Aufbaumaterials und örtlich selektives Verfestigen des Aufbaumaterials durch eine Bestrahlung mit mindestens einem auf das Aufbaumaterial auftreffenden Strahl, wobei zumindest ein elastischer Abschnitt der Spule in radialer Richtung nach außen verlagert wird, die Spule dann (oder zumindest abschnittsweise zeitgleich mit dem Vorgang der Verlagerung nach außen) über einen Vorsprung des Stators, insbesondere einen Zahnfuß, hinweg verbracht wird, wobei der nach außen verlagerte Abschnitt sich darauf aufgrund seiner Elastizität wieder in radialer Richtung nach innen verlagert.

Erfindungsgemäß wird weiterhin ein dreidimensionales Bauteil mit mindestens einer Wicklung, insbesondere einer Spule für eine elektrische Maschine, insbesondere einen Elektromotor oder Generator, vorgeschlagen, das nach dem ersten und/oder zweiten und/oder dritten und/oder vierten Aspekt der Erfindung (und evtl. weiterbildenden Merkmalen) hergestellt ist.

Erfindungsgemäß wird weiterhin insbesondere eine Spule auf einem Statorsegment vorgeschlagen, hergestellt nach dem obigen Verfahren.

Erfindungsgemäß wird weiterhin eine elektrische Maschine, insbesondere ein Elektromotor oder Generator, umfassend ein dreidimensionales Bauteil und/oder mindestens eine Spule auf einem Statorsegment, hergestellt nach dem obigen Verfahren vorgeschlagen.

Erfindungsgemäß wird weiterhin die Verwendung eines Verfahrens zur additiven Fertigung eines dreidimensionalen Bauteils mit mindestens einer Wicklung, insbesondere eine Spule für eine elektrische Maschine, insbesondere einen Elektromotor oder Generator, durch schichtweises Aufbringen eines Aufbaumaterials und örtlich selektives Verfestigen des Aufbaumaterials durch eine Bestrahlung mit mindestens einem auf das Aufbaumaterial auftreffenden Strahl, vorgeschlagen (wobei das Verfahren vorzugsweise weitere Merkmale gemäß dem ersten und/oder zweiten und/oder dritten und/oder vierten Aspekt der Erfindung sowie optional entsprechende weiterbildende Merkmale aufweist).

Die Erfindung umfasst vorzugsweise die additive Herstellung von Spulen (Zahnspulen) für Elektromotoren, sowie insbesondere deren (Serien-)Fertigung, Montage und Kompaktierung am Wickelkopf. Konventionell gefertigte Spulen

unterliegen unterschiedlichen Restriktionen aufgrund des Einsatzes von Drähten oder drahtartigen Querschnitten. Verluste durch (schlecht) gefüllte Stator-Nuten, Skin-Effekt und Wirbelströme sind aktuelle Probleme, die durch die Herstellung mittels eines additiven Verfahrens reduziert oder eliminiert werden können.

Durch die additive Herstellung von (Zahn-)Spulen im Vergleich zu konventioneller Wickeltechnik können verschiedene Vorteile erzielt werden. Übliche Wickelmaschinen für konventionelle Wicklungen sind vergleichsweise kostenintensiv und müssen im Prinzip für jeden neuen Motortypen neu konzipiert werden. Additive Herstellungsanlagen können hingegen ohne zusätzliche Werkzeugkosten jede Wicklung herstellen. Für die Herstellung konventioneller Wicklungen sind Umformprozesse (Biegen, Ziehen, Stauchen) nötig, die sich unterschiedlich auf das finale Ergebnis (Wicklung auf Blechpaket) auswirken. Umformzonen können aufgrund von partiellen Materialveränderungen eine schlechtere Leitfähigkeit aufweisen. Beim eigentlichen Wickelprozess können große mechanische Kräfte auftreten, da ein Rückfedern das Überwinden des elastischen Verformungsbereichs erfordert. Ein solcher Prozess kann oft über Monate hinweg validiert und optimiert werden. Dies verlängert die Entwicklungszeit um Größenordnungen und ist bei additiv hergestellten (Zahn-) Spulen nicht notwendig.

Die Herstellung erster Muster, Prototypen und Serien kann beschleunigt werden. Eine nötige Umformarbeit erfordert stabile Isolierkörper bzw. Grundkörper, die bei konventioneller Wickeltechnik als Grundlage der Wicklung verbaut werden. Bei der Fertigung von Spulen durch additive Herstellung können diese reduziert oder eingespart werden und dadurch wiederum mehr Material (insbesondere Kupfer bzw. Kupferlegierung) in der Stator-Nut integriert werden. Durch die Verarbeitung von Drähten oder drahtartigen Querschnitten als Leiter in elektrischen Maschinen (Motoren, Generatoren) kommt es zu keiner optimalen Ausfüllung der Stator-Nut. Durch die additive Herstellung können Füllfaktoren von über 70% ermöglicht werden, da hierbei der Leiterquerschnitt ideal an die Nut angepasst werden kann. Mit konventionellen Fertigungsmethoden können Stator-Wicklungen nicht in jeder beliebigen Geometrie herstellbar sein. Wandungen von oftmals weniger als 1 mm Wandstärke lassen sich beispielsweise nicht im 90°-Winkel umformen, ohne zu reißen oder auszuknicken. Diese dünnen blechartigen Leiterquerschnitte sind aber vorteilhaft, da aufgrund von dünnen Wandungen Leistungsverluste durch Skin-

Effekt und Wirbelströme reduziert werden können. Zudem kommt es aufgrund der vorgegebenen Biegeradien bei der Verarbeitung konventioneller Drähte zum Bauraumverlust am Wickelkopf. Durch additive Herstellung von Spulen ist die Ausprägung des Wickelkopfes nicht an Restriktionen konventioneller Fertigung gebunden und kann damit sehr platzsparend konstruiert und gefertigt werden. Zudem ermöglicht es die erfindungsgemäße Vorgehensweise insbesondere, dass bei Elektromotoren die Nutzung anderer Isoliersysteme als bisher zum Einsatz kommt. Da Umformprozesse hier nicht mehr nötig sind, können wesentlich einfachere Vergussmassen für eine Isolierung eingesetzt werden, die sich durch hohe Durchschlagbeständigkeiten auszeichnen. Eine mechanische (höhere) Festigkeit kann durch die nun nicht mehr benötigte hohe Flexibilität des Isolators erzielt werden.

Eine Möglichkeit der (Serien-)Fertigung ist das sogenannte Stacking, bei dem möglichst viele Teile vergleichsweise eng aneinander und/oder übereinander gepackt werden, um die Bauplattform ideal auszunutzen. Um die Bauteile (einfach) voneinander trennen zu können, ist es möglich, eine Gradierung zwischen den einzelnen Lagen der Bauteile vorzunehmen. Damit ist es möglich, einen Bereich, der nicht zum Bauteil gehört, mit einem vergleichsweise porösen Parameter herzustellen, was zur Folge hat, dass sich die einzelnen Spulen einfach auseinanderbrechen lassen.

Weiterhin sei darauf hingewiesen, dass die Wicklung (Spule) bereits in einem gespreizten Zustand gedruckt werden kann, um Nachbearbeitungsvorgänge (insbesondere in Sachen Zugänglichkeit) zu vereinfachen.

Anschlüsse können Verbindungen in unterschiedlichen Ausbildungen vorgesehen werden (beispielsweise Crimp- und/oder Steckverbindungen).

Das Aufbaumaterial kann vorzugsweise zu mindestens 30 Gew.-%, insbesondere zu mindestens 90 Gew.-% umfassen: Ein Metall oder mehrere Metalle, vorzugsweise Kupfer oder eine Kupferlegierung; und/oder Aluminium oder eine Aluminiumlegierung; und/oder Eisen oder eine Eisenlegierung. Jedes der genannten Metalle kann mindestens 10 Gew.-% oder mindestens 50 Gew.-% oder mindestens 90 Gew.-% des Aufbaumaterials ausbilden.

Generell kommen verschiedene additive Fertigungsverfahren im Rahmen der vorliegenden Erfindung in Frage.

In einem pulverbett-basierenden Fertigungsverfahren kann in einer Ebene Pulver aufgetragen werden, wobei Strukturen innerhalb der Ebene bestrahlt werden. Durch die Bestrahlung kann eine Aufschmelzung des Pulvers mit anschließender Abkühlung erfolgen. Die Bestrahlung kann mittels Laser, Elektronenstrahl und/oder Lichtbogen erfolgen.

Alternativ kann in einem Pulverzufuhrsystem nur in dem Bereich, der verfestigt werden soll, Pulver für die benötigte Schichtdicke aufgebracht werden und durch eine Bestrahlung (mittels Laser, Elektrodenstrahl und/oder Lichtbogen) verfestigt werden.

Bei einem Drahtzufuhrsystem kann anstelle eines pulverförmigen Materials ein Aufbaumaterial in Drahtform bereitgestellt werden. Der Draht kann mittels Bestrahlung (Laser, Elektronenstrahl und/oder Lichtbogen) aufgeschmolzen und abgekühlt werden.

Besonders bevorzugt wird ein pulverbettbasierendes Fertigungsverfahren eingesetzt.

Weitere Ausführungsformen der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen.

Nachfolgend wird die Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen beschrieben, die anhand der Abbildungen näher erläutert werden. Hierbei zeigen:

- Fig. 1 eine schematische Schrägansicht eines Stators eines erfindungsgemäßen Elektromotors;
- Fig. 2 eine erfindungsgemäße Spule in einer (schematischen) Seitenansicht;
- Fig. 3 die Spule gemäß Fig. 2 in einem gestreckten Zustand;

- Fig. 4 eine hochschematische Draufsicht auf einen Spulenabschnitt;
- Fig. 5 den Spulenabschnitt gemäß Fig. 4 mit abweichenden Bestrahlungsvektoren;
- Fig. 6 einen schematischen Ausschnitt einer erfindungsgemäßen Spule in einem Zustand beim Anordnen einer Isolierung;
- Fig. 7 einen Ausschnitt aus Fig. 6 in vergrößerter Darstellung;
- Fig. 8 eine schematische Darstellung eines Wicklungsabschnitts;
- Fig. 9 den Wicklungsabschnitt gemäß Fig. 8 im gestreckten Zustand;
- Fig. 10 einen Ausschnitt einer erfindungsgemäßen Spule (im Bereich des Wickelkopfes);
- Fig. 11 eine alternative Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Spule (im Bereich des Wickelkopfes);
- Fig. 12 eine alternative Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Spule (im Bereich des Wickelkopfes);
- Fig. 13 eine schematische Darstellung einer erfindungsgemäßen Spule im Bereich des Wickelkopfes;
- Fig. 14 eine Darstellung analog Fig. 13 in einer abweichenden Ausführungsform (im Bereich des Wickelkopfes);
- Fig. 15 eine Draufsicht auf eine erfindungsgemäße Spule;
- Fig. 16 einen segmentierten Stator in einer Schrägdarstellung (mit Zahnfuß);
- Fig. 17 eine schematische Ansicht eines Wickelkopfendes in Draufsicht;

- Fig. 18 das Wickelkopfe gemäß Fig. 17 im gestreckten Zustand;
- Fig. 19 das Wickelkopfe gemäß Fig. 17 im noch weiter gestreckten Zustand;
- Fig. 20 eine schematische Seitendarstellung einer Wicklung einer Spule auf einem Stator;
- Fig. 21 eine schematische Darstellung analog Fig. 20 in einer abweichenden Ausführungsform der Spule;
- Fig. 22 die Spule gemäß Fig. 21 in einer abweichenden Ansicht;
- Fig. 23 eine Querschnittsansicht durch eine Spule von der Seite;
- Fig. 24 eine Querschnittsansicht durch die Spule analog Fig. 23 in einer abweichenden Ausführungsform;
- Fig. 25 eine Darstellung analog Fig. 23 gemäß einer abweichenden Ausführungsform der Spule;
- Fig. 26 eine schematische Darstellung einer Spule mit Abstandshaltern; und
- Fig. 27 eine schematische Darstellung einer Spule mit Granulat zwischen Einzel-Wicklungen.

In der nachfolgenden Beschreibung werden für gleiche und gleich wirkende Teile dieselben Bezugsziffern verwendet.

Fig. 1 zeigt in einer schematischen Darstellung einen mit dem erfindungsgemäßen Verfahren hergestellten Elektromotor bzw. eines entsprechenden Stators (mit teilweise freigegebenem Einblick in das Innere).

Der Elektromotor weist vorzugsweise einen Stator 10 mit Stator-Zähnen 11, und Stator-Nuten 14, auf. Weiterhin sind Spulen 17 mit jeweiligen Wickelköpfen 18 und Anschlüssen 16 erkennbar.

Fig. 2 zeigt eine erfindungsgemäße Spule 17 in einem Ausgangszustand. Fig. 3 zeigt die Spule 17 gemäß Fig. 2 in einem gestreckten Zustand (in einer schematischen Seitenansicht).

Besonders bevorzugt wird nach der Streckung der Spule 17 (gemäß Fig. 3) eine Isolierung eingebracht. Daraufhin kann die Spule dann wieder zusammengedrückt werden bzw. sich zusammenziehen.

Fig. 4 zeigt hochschematisch eine Draufsicht (in Dickenrichtung) auf eine Spule 17. Bei der vorliegenden Rechteckform definiert die längere Seite die Richtung der Erstreckung des Spulenmaterials (in diesem Abschnitt). In Fig. 4 sind weiterhin Bestrahlungsvektoren dargestellt, die gemäß einem üblichen Hatching-Verfahren antiparallel angeordnet sind. Wie man erkennt, liegt eine hohe Anzahl von Sprungpunkten vor.

Fig. 5 zeigt einen analogen Ausschnitt (zu Fig. 4). Hier sind jedoch die Bestrahlungsvektoren gleichgerichtet mit der Erstreckung des Materials der Spule. Dadurch können Sprungpunkte reduziert werden, wodurch die Bauzeit verkürzt werden kann. Zudem wird die Oberfläche verbessert, insbesondere glatter.

Fig. 6 erläutert ein vorteilhaftes Verfahren zum Anordnen einer Isolierung. Hier können an Einzel-Wicklungen Abstandshalter 24 vorgesehen sein, die wiederum über eine Fixierung 19 gegeneinander beabstandet sind. Nach Anordnung eines Isoliermaterials (z. B. durch Verguss) können diese Abstandshalter 24 entfernt werden.

Fig. 8 zeigt schematisch einen Wicklungsabschnitt.

Fig. 9 zeigt den Wicklungsabschnitt gemäß Fig. 8 im gestreckten Zustand.

In Fig. 8 und 9 ist ein Greifer 20 gezeigt (siehe Fig. 8), mittels dem die Spule, vorzugsweise über eine oder mehrere Spannlasche/n 12, gestreckt werden kann. Nach Anordnung des Isoliermaterials kann die (aktive) Streckung beendet werden und/oder eine (aktive) Stauchung durchgeführt werden. Die Spannlasche/n 12 kann (können) bei der additiven Herstellung mit gefertigt werden und ggf. nach dem Arbeitsgang entfernt werden.

Fig. 10 bis 12 zeigen verschiedene Möglichkeiten einer Oberflächenvergrößerung im Bereich des Wickelkopfes 18. In der Querschnittsdarstellung gemäß Fig. 10 sind Vorsprünge 21 erkennbar (hier beispielsweise, was nicht zwingend ist, je drei hintereinander in Längsrichtung der Spule). Die Vorsprünge 21 gemäß Fig. 10 verlaufen gerade (radial) und können beispielsweise als Stege oder Stifte ausgebildet sein. Fig. 11 zeigt eine Ausführungsform grundsätzlich wie Fig. 10, wobei hier jedoch die Vorsprünge 21 (zur weiteren Oberflächenvergrößerung) gebogen (mehrfach gebogen) verlaufen. Eine weitere Lösung ist in Fig. 12 gezeigt. Hier sind die Vorsprünge 21 einfach gebogen ausgebildet (und biegen sich zueinander hin, was jedoch nicht zwingend ist).

Fig. 13 zeigt einen Ausschnitt einer erfindungsgemäßen Spule 17 mit einer Struktur zur (radialen) Verkürzung der Spule im Bereich des Wickelkopfs 18.

Die Spulenabschnitte im Bereich des Wickelkopfs 18 sind hier (in einer Seitenansicht) abgeknickt (teilweise in die eine, teilweise in die andere Richtung, denkbar wäre auch, dass sämtliche Abschnitte in dieselbe Richtung abgeknickt sind). Dadurch kann die Spule in radialer Erstreckung (im Bereich des Wickelkopfs) verkürzt werden (von einer radialen Erstreckung h_2 ohne Knick auf eine radiale Erstreckung h_1 , ohne zwingend eine Leiterquerschnittsfläche zu reduzieren).

Fig. 14 zeigt eine Lösung mit einem dreieckförmigen Querschnitt der Spule 17 im Bereich des Wickelkopfes 18. Auch dadurch kann die Spule in radialer Erstreckung (im Bereich des Wickelkopfs) verkürzt werden (von einer radialen Erstreckung h_2 ohne Geometrieänderung auf eine radiale Erstreckung h_1 , ohne zwingend eine Leiterquerschnittsfläche zu reduzieren). Konkret (was jedoch nicht zwingend ist) sind die Dreiecke derart alternierend angeordnet, dass jeweils eine Spitze des einen Dreiecks in die andere Richtung weist als die Spitze des jeweiligen benachbarten Dreiecks.

Fig. 15 zeigt eine (schematische) Draufsicht einer erfindungsgemäßen Spule 17 mit einer Ausbuchtung 22, die durch Verformungsöhren 23 begrenzt wird.

Fig. 16 zeigt einen segmentierten Stator mit Zahnfuß.

Die Spule 17 gemäß Fig. 15 wird nun vorzugsweise auf dem Stator-Segment gemäß Fig. 16 einseitig aufgesteckt (also an einer Seite des Zahnfußes über diesen hinweg bewegt). Um nun auch die zweite (gegenüberliegende) Seite über den Zahnfuß zu bewegen, werden die Verformungsöhren für eine elastische Verformung über den Zahnfuß genutzt.

Fig. 17 zeigt eine alternative Geometrie für ein solches Verfahren, das hier einen wellenförmigen Wickelkopf aufweist. Die Wellenform kann gemäß Fig. 18 (durch eine entsprechende Kraft F) gestreckt werden und (gemäß Fig. 19) noch weiter gestreckt werden.

Fig. 20 zeigt eine konventionelle Spulenwicklung in Form einer Helix.

Fig. 21 zeigt eine alternative Ausführungsform für eine Spulenwicklung. Hier sind (in der Ansicht gemäß Fig. 21) die Einzel-Wicklungen der Spule 17 senkrecht zu der axialen Erstreckung der Spule orientiert. Dies wird (vgl. Fig. 22) durch entsprechenden Ausgleich (in Form von Sprungpunkten) an einer von vier Seiten der Wicklung erreicht.

Bei der Betrachtung des Verlaufs einer Einzel-Wicklung bestehen unterschiedliche Möglichkeiten die Wicklung (Spule) zu konstruieren. Am einfachsten ist eine kontinuierliche Helix. Vorteilhaft ist jedoch ein Verlauf der Spule mit entsprechenden nachfolgend als „Sprungpunkte“ bezeichneten Abschnitten, an denen der Anstieg (bzw. die nötige Steigung zur Ausbildung der Spule) stattfindet, also wo der Übergang zur nächsten Wicklung bzw. zum nächsten Umlauf stattfindet. Legt man diesen nun beispielsweise auf nur eine (oder zwei) von vier Seiten einer Wicklung, ist festzustellen, dass es möglich ist, eine weitere Wicklung zu integrieren, da die Schrägung einer kontinuierlich und umlaufend ansteigenden Helix am Anfang und Ende der Spule stattfindet und damit Bauraum verlorenght.

Fig. 23 zeigt eine laminare Struktur des Spulenmaterials. Das Spulenmaterial ist hier rechteckförmig im Querschnitt. Die laminare Struktur besteht aus (vollständig) verschmolzenen Abschnitten und durch Striche skizzierten Unterbrechungen bzw. insbesondere poröse Abschnitte 13 zwischen den

vollständig geschmolzenen Abschnitten, bei denen das Spulenmaterial nur teilweise (oder gar nicht) aufgeschmolzen ist.

Fig. 24 zeigt eine analoge Struktur, jedoch mit dreieckförmigem Querschnitt des Leitermaterials. Auch hier sind jedoch die einzelnen verschmolzenen und nicht-verschmolzenen Bereiche laminar angeordnet.

Fig. 25 zeigt eine chaotische Anordnung von verschmolzenen und nicht-verschmolzenen Bereichen.

Derartige Maßnahmen reduzieren Wirbelstromverluste.

Fig. 26 zeigt eine Spule mit (hier schematisch: drei) Einzel-Wicklungen, die durch Abstandshalter 26, vorzugsweise in Form von Abstandsblechen, voneinander getrennt sind. Die Abstandshalter 26 (Abstandsbleche) geben eine Isolierdicke beim Verguss vor.

Fig. 27 zeigt (hier in der schematischen Darstellung: zwei) Einzel-Wicklungen mit dazwischen vorhandenem Granulat 25. Die durch das Granulat gespreizte Spule kann getränkt werden und auf Maß gepresst werden, wobei das Granulat den minimalen Abstand vorgeben kann.

An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass alle oben beschriebenen Teile für sich alleine gesehen und in jeder Kombination, insbesondere die in den Zeichnungen dargestellten Details, als erfindungswesentlich beansprucht werden. Abänderungen hiervon sind dem Fachmann geläufig.

Bezugszeichenliste

F	Kraft	
h1,h2	Erstreckung	
10	Stator	
11	Stator-Zahn	
12	Spannlasche13	poröser Abschnitt
14	Stator-Nut	
16	Anschluss	

- 17 Spule
- 18 Wickelkopf
- 19 Fixierung
- 20 Greifer
- 21 Vorsprung
- 22 Ausbuchtung
- 23 Verformungssohr
- 24 Abstandshalter
- 25 Granulat
- 26 Abstandshalter

Ansprüche

1. Verfahren zur additiven Fertigung eines dreidimensionalen Bauteiles mit mindestens einer Wicklung, insbesondere einer Spule (17) für eine elektrische Maschine, insbesondere einen Elektromotor oder Generator, durch schichtweises Aufbringen eines Aufbaumaterials und örtlich selektives Verfestigen des Aufbaumaterials durch eine Bestrahlung mit mindestens einem auf das Aufbaumaterial auftreffenden Strahl, wobei eine axiale Länge der Wicklung, insbesondere Spule (17), aus einem entspannten Ausgangszustand um mindestens 30 %, vorzugsweise mindestens 100 %, gestreckt wird oder zumindest werden kann, insbesondere ohne sich plastisch zu verformen, und/oder um mindestens 30 % gestaucht wird oder zumindest werden kann, insbesondere ohne sich plastisch zu verformen.
2. Verfahren, insbesondere nach Anspruch 1, zur additiven Fertigung eines dreidimensionalen Bauteiles mit mindestens einer Wicklung, insbesondere einer Spule (17) für eine elektrische Maschine, insbesondere einen Elektromotor oder Generator, durch schichtweises Aufbringen eines Aufbaumaterials und örtlich selektives Verfestigen des Aufbaumaterials durch eine Bestrahlung mit mindestens einem auf das Aufbaumaterial auftreffenden Strahl, wobei die Bestrahlung so konfiguriert wird, dass eine Dicke der Wicklung

zumindest abschnittsweise kleiner oder gleich 1,0 mm, vorzugsweise kleiner oder gleich 0,5 mm ist und/oder wobei in einer Dickenrichtung zumindest abschnittsweise höchstens zehn, vorzugsweise höchstens fünf, weiter vorzugsweise höchstens zwei oder genau eine, Bestrahlungsbahn/-en nebeneinander liegt/-en.

3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei ein Spalt zwischen benachbarten Wicklungsabschnitten kleiner oder gleich 1 mm, vorzugsweise kleiner oder gleich 0,2 mm ist und/oder höchstens gleich einer Dicke mindestens eines der beiden benachbarten Wicklungsabschnitte ist, vorzugsweise höchstens dem 0,5-fachen der Dicke mindestens eines der beiden benachbarten Wicklungsabschnitte entspricht.
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei eine jeweilige Bestrahlungsbahn senkrecht zur Dickenrichtung verläuft und/oder von einem Ende des Bauteiles im Bereich einer/der jeweiligen Bestrahlungsbahn zum anderen Ende des Bauteiles im Bereich der jeweiligen Bestrahlungsbahn zumindest im Wesentlichen ohne Unterbrechungen verläuft.
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei in Dickenrichtung mehrere Bestrahlungsbahnen aneinander liegen, die vorzugsweise gegenläufig durchfahren werden.
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Dickenrichtung parallel zu der jeweiligen Beschichtungsebene und/oder Bauplattform-Oberfläche verläuft oder wobei die Dickenrichtung senkrecht zu der jeweiligen Beschichtungsebene und/oder Bauplattform-Oberfläche verläuft.
7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Wicklung zumindest abschnittsweise eine zumindest im Wesentlichen konstante Dicke aufweist und/oder plattenartig konfiguriert ist.
8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei ein Querschnitt der Wicklung variiert und/oder vorzugsweise mindestens ein Wickelkopf (18) eine oberflächenvergrößernde Struktur zur Kühlung aufweist und/oder

mindestens ein Wickelkopf (18) in radialer Richtung gegenüber den übrigen Bereichen der Wicklung verkürzt ist.

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Wicklung mindestens eine Einbuchtung aufweist und/oder mindestens abschnittsweise, insbesondere im Bereich eines Wicklungskopfes (18), wellen- oder zickzackförmig verläuft.
10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Wicklung eine mehreckige, insbesondere viereckige, Konfiguration aufweist.
11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Wicklung mindestens abschnittsweise keine Steigung aufweist, vorzugsweise in zumindest einem 360°-Umlauf nur über einen Winkelbereich von kleiner oder gleich 180°, weiter vorzugsweise kleiner oder gleich 120°, eine Steigung aufweist und/oder bei einer viereckigen Konfiguration der Wicklung nur an zwei oder nur an einer Viereckseite eine Steigung aufweist.
12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Wicklung (Spule) zumindest abschnittsweise nicht-aufgeschmolzene Bereiche aufweist, die vorzugsweise durch Sinterprozesse und/oder benachbarte aufgeschmolzene Bereiche im Materialverbund zusammenhalten.
13. Verfahren zur Herstellung eines dreidimensionalen Bauteiles mit mindestens einer Wicklung, insbesondere einer Spule (17) für eine elektrische Maschine, insbesondere einen Elektromotor oder Generator, umfassend einen Verfahrensschritt einer additiven Fertigung, insbesondere gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, eines dreidimensionalen Bauteiles mit mindestens einer Wicklung, insbesondere einer Spule (17) für eine elektrische Maschine, insbesondere einen Elektromotor oder Generator, durch schichtweises Aufbringen eines Aufbaumaterials und örtlich selektives Verfestigen des Aufbaumaterials durch eine Bestrahlung mit mindestens einem auf das Aufbaumaterial auftreffenden Strahl, und mindestens einen Verfahrensschritt einer Oberflächenbehandlung und/oder -bedeckung, wobei eine Streckung einer axialen Länge der Wicklung, insbesondere Spule (17), durchgeführt wird und eine Oberflächenbehandlung und/oder -bedeckung der

Wicklung, insbesondere Spule, im gestreckten Zustand durchgeführt wird, und/oder eine Stauchung einer axialen Länge der Wicklung der Spule erfolgt, wobei vor der Stauchung eine Oberflächenbehandlung und/oder -bedeckung der Wicklung, insbesondere Spule, im gestreckten Zustand durchgeführt wird.

14. Verfahren Anspruch 13, wobei der Oberflächenbehandlungsschritt ein Polieren, vorzugsweise umfassend ein Sandstrahlen, umfasst.
15. Verfahren nach Anspruch 13 oder 14, wobei der Oberflächenbehandlungsschritt ein Reinigen, vorzugsweise mit einem flüssigen und/oder gasförmigen Reinigungsmittel, umfasst
16. Verfahren zur Herstellung einer isolierten Wicklung, insbesondere einer isolierten Spule (17) für eine elektrische Maschine, insbesondere einen Elektromotor oder Generator, umfassend das Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche 13 bis 15, wobei die Oberflächenbedeckung die Anordnung einer Isolierung umfasst.
17. Verfahren nach Anspruch 16, wobei die Wicklung vor der Anordnung der Isolierung oder eines, z. B. flüssigen, Ausgangsmaterials für die Isolierung gestreckt wird und/oder nach der Anordnung der Isolierung oder eines, ggf. flüssigen, Ausgangsmaterials für die Isolierung zusammengedrückt wird und/oder sich aufgrund einer elastischen Rückstellkraft eigenständig zusammenzieht.
18. Verfahren nach einem der Ansprüche 15 oder 16, wobei die Anordnung der Isolierung umfasst:
 - eine Bereitstellung eines festen Ausgangsmaterials, das zumindest teilweise aufgeschmolzen wird oder gelöst wird und/oder
 - eine Bereitstellung eines flüssigen oder pastösen Ausgangsmaterials und/oder
 - eine Bereitstellung eines festen Isoliermaterials, das zwischen benachbarte Wicklungsabschnitte gelegt wird und/oder
 - eine Bereitstellung einer durch ein additives Herstellungsverfahren hergestellten Isolierung und/oder
 - eine Bereitstellung einer vorzugsweise innen hohlen Isolier-Wicklung.

19. Verfahren zum Anordnen einer Spule (17) auf einem Statorsegment eines Elektromotors, umfassend das Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei zumindest ein elastischer Abschnitt der Spule (17) in radialer Richtung nach außen verlagert wird, die Spule (17) dann über einen Vorsprung des Stators, insbesondere einen Zahnfuß, hinweg verbracht wird, wobei der nach außen verlagerte Abschnitt sich darauf aufgrund seiner Elastizität wieder in radialer Richtung nach innen verlagert.
20. Dreidimensionalen Bauteiles mit mindestens einer Wicklung, insbesondere Spule (17) für eine elektrische Maschine, insbesondere einen Elektromotor oder Generator, hergestellt nach einem der Ansprüche 1 bis 18.
21. Spule (17) auf Statorsegment hergestellt nach Anspruch 19.
22. Elektrische Maschine, insbesondere Elektromotor oder Generator, umfassend ein dreidimensionales Bauteil nach Anspruch 20 und/oder mindestens eine Spule (17) auf einem Statorsegment nach Anspruch 21.

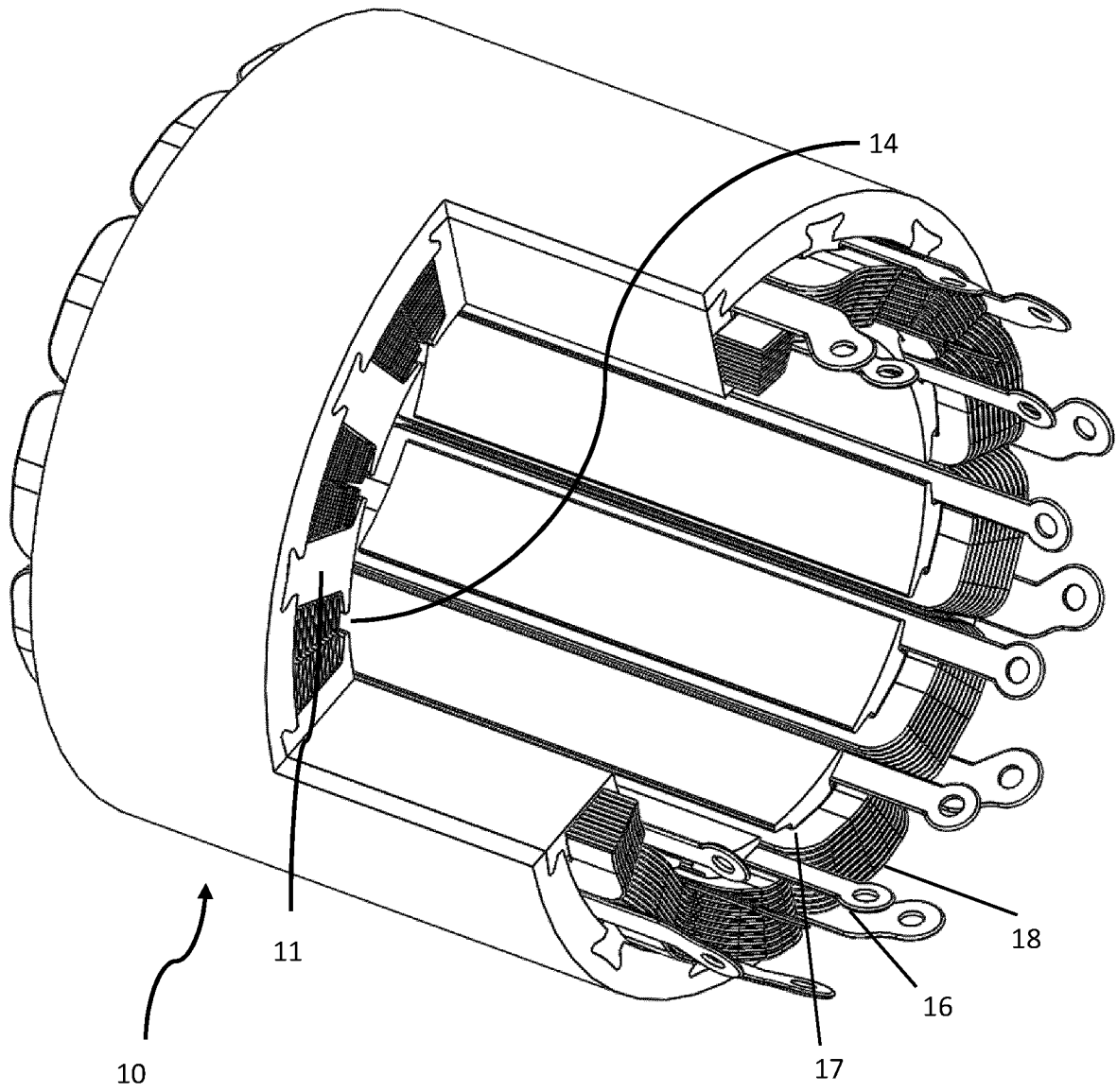


Fig. 1

2/11

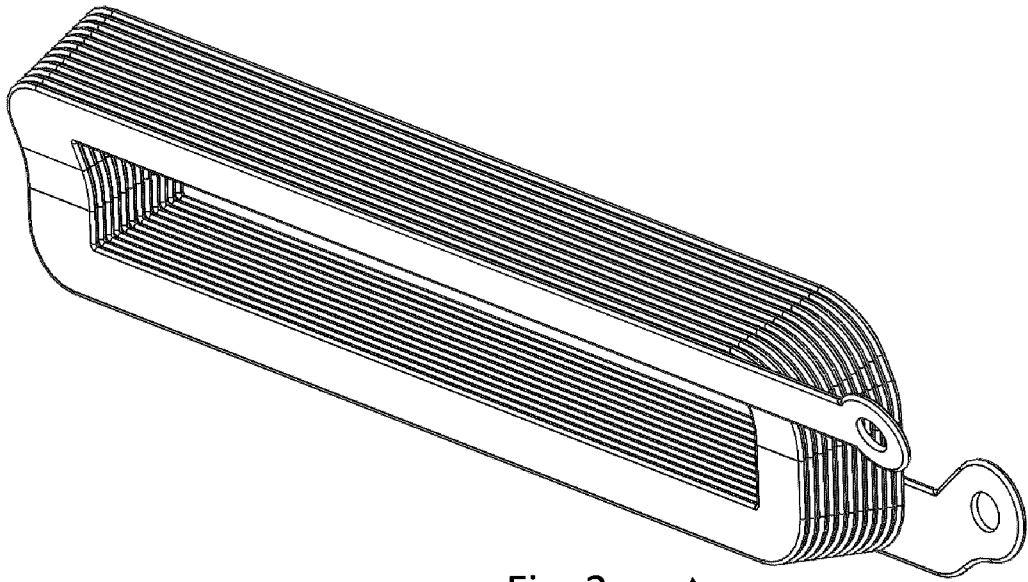
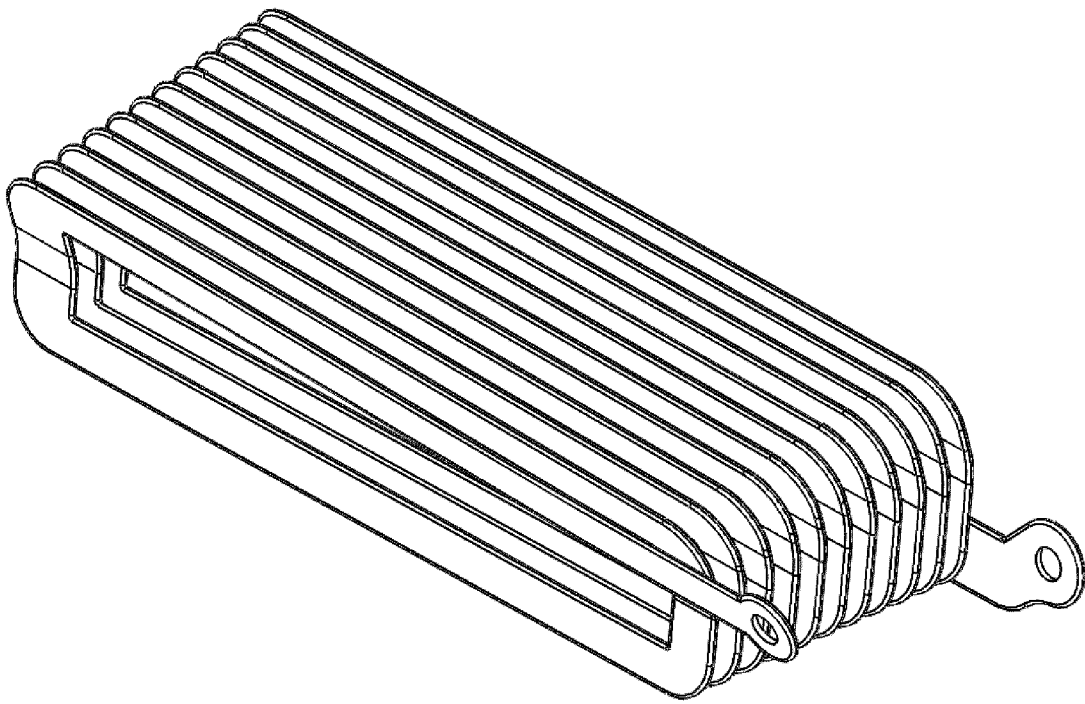


Fig. 2



17



17

Fig. 3



Fig. 4

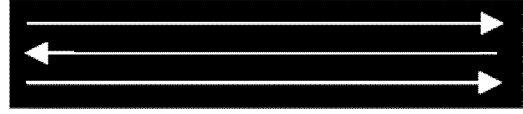


Fig. 5

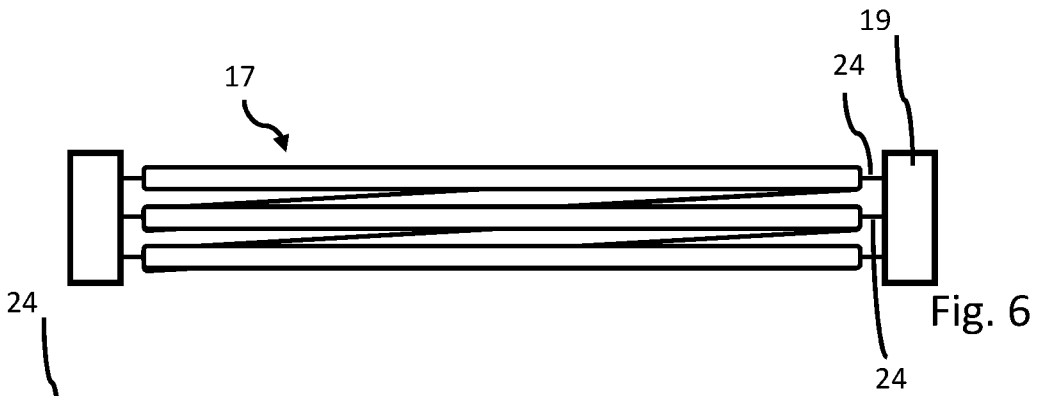
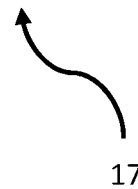


Fig. 6

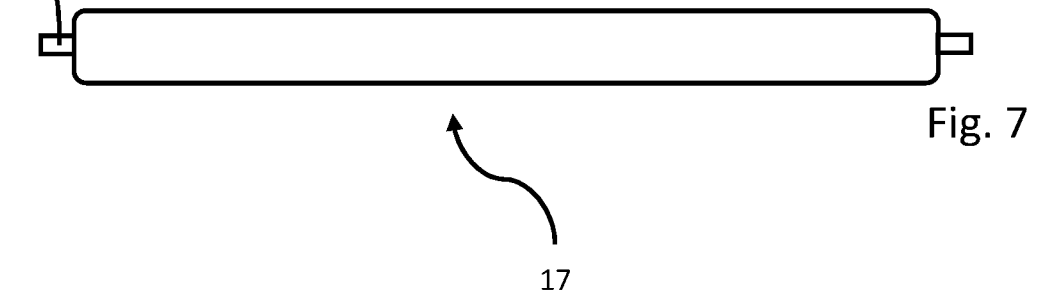
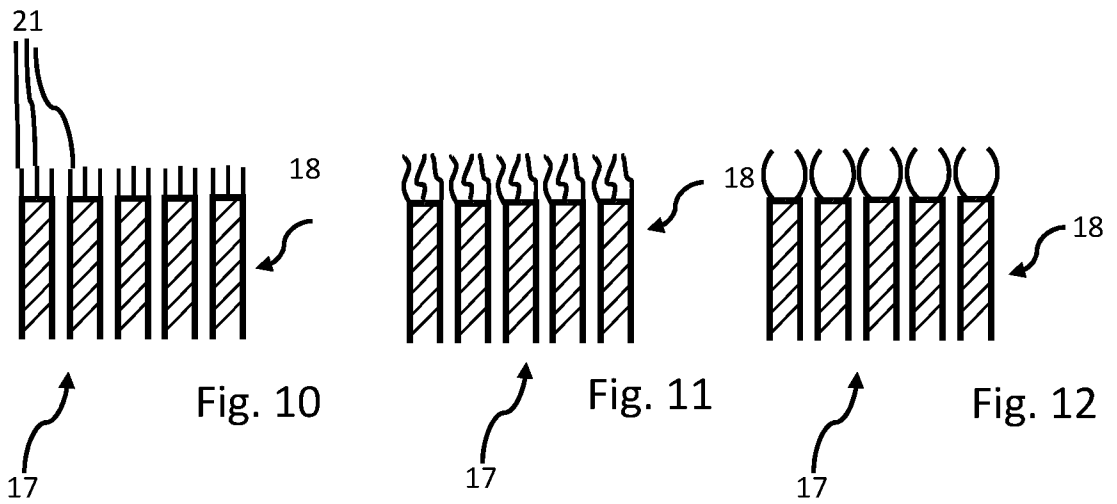
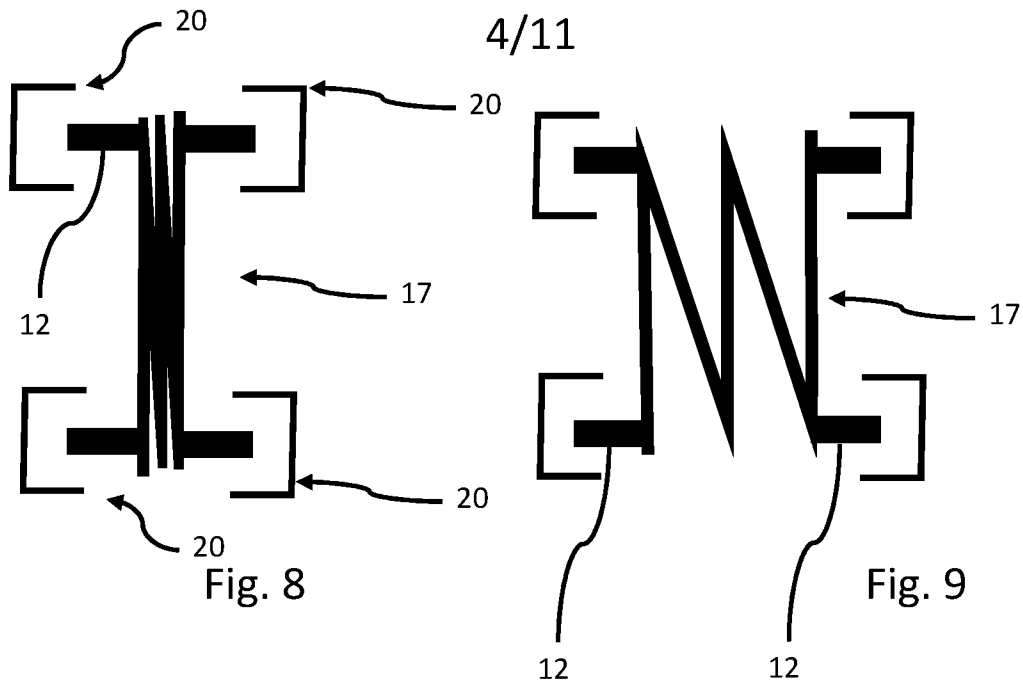
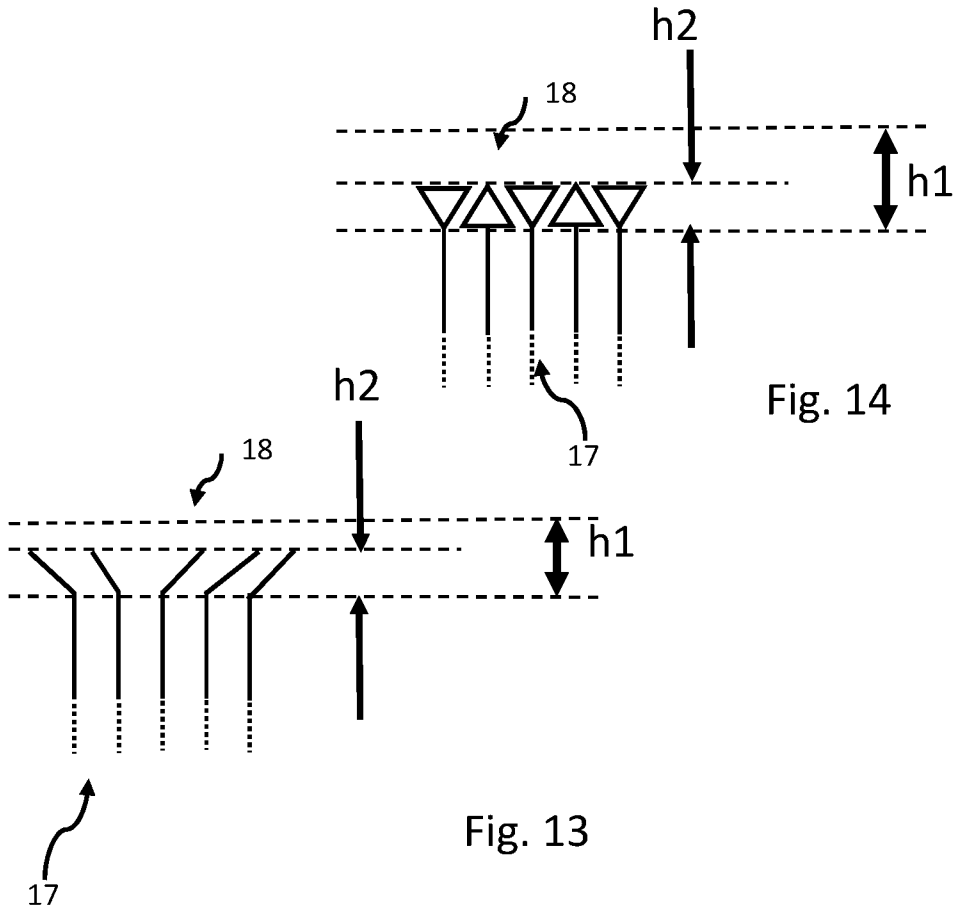


Fig. 7







6/11

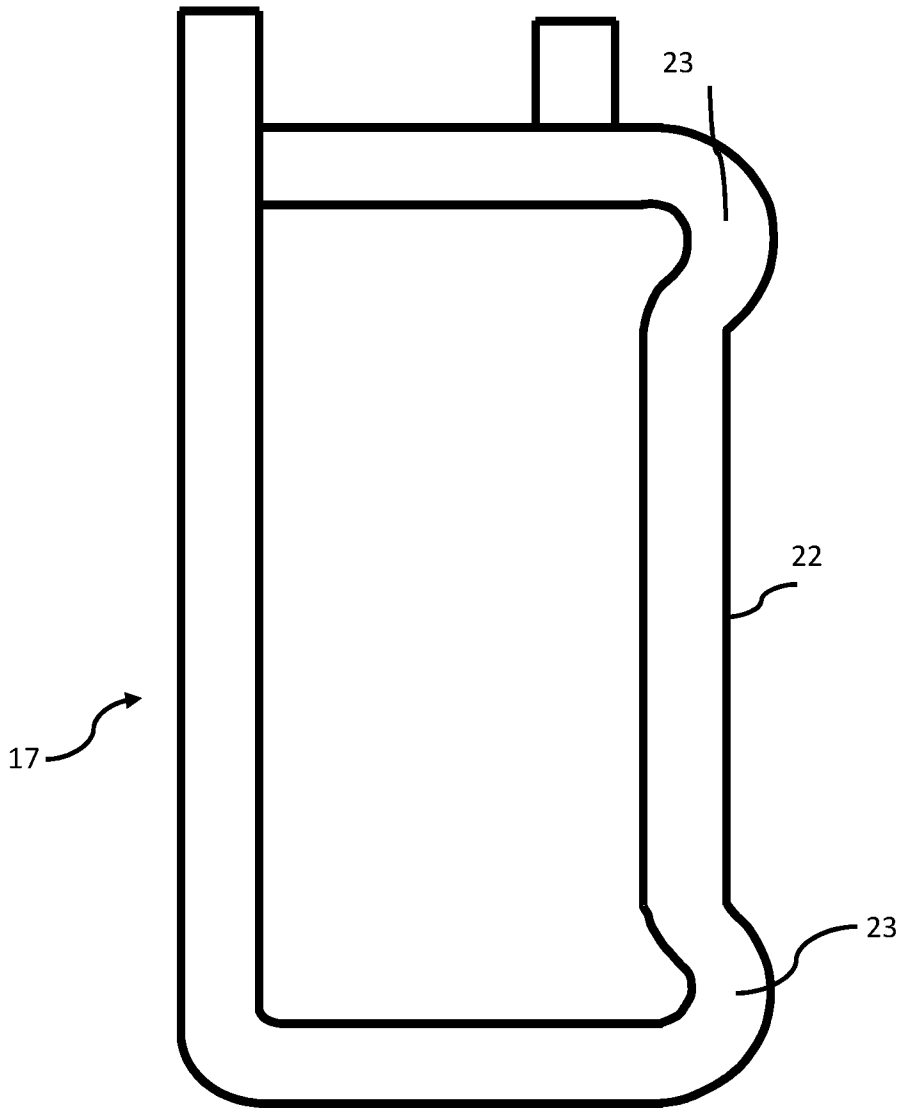


Fig. 15

7/11

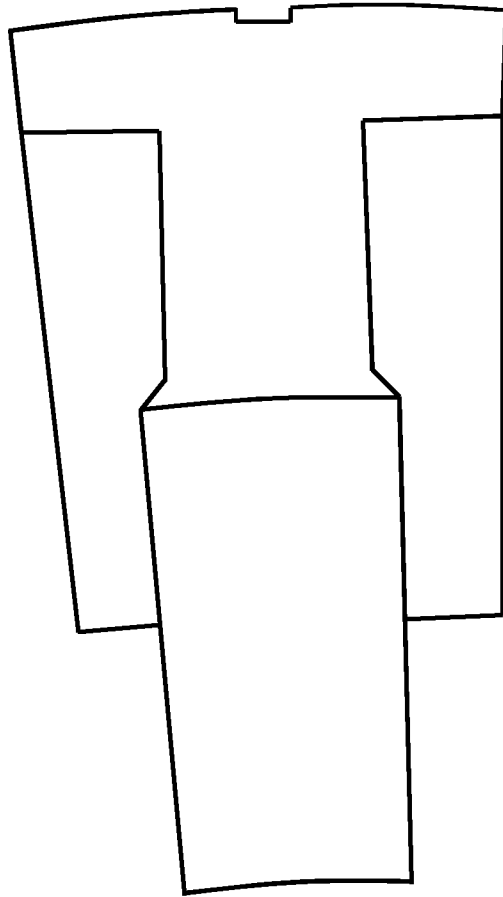
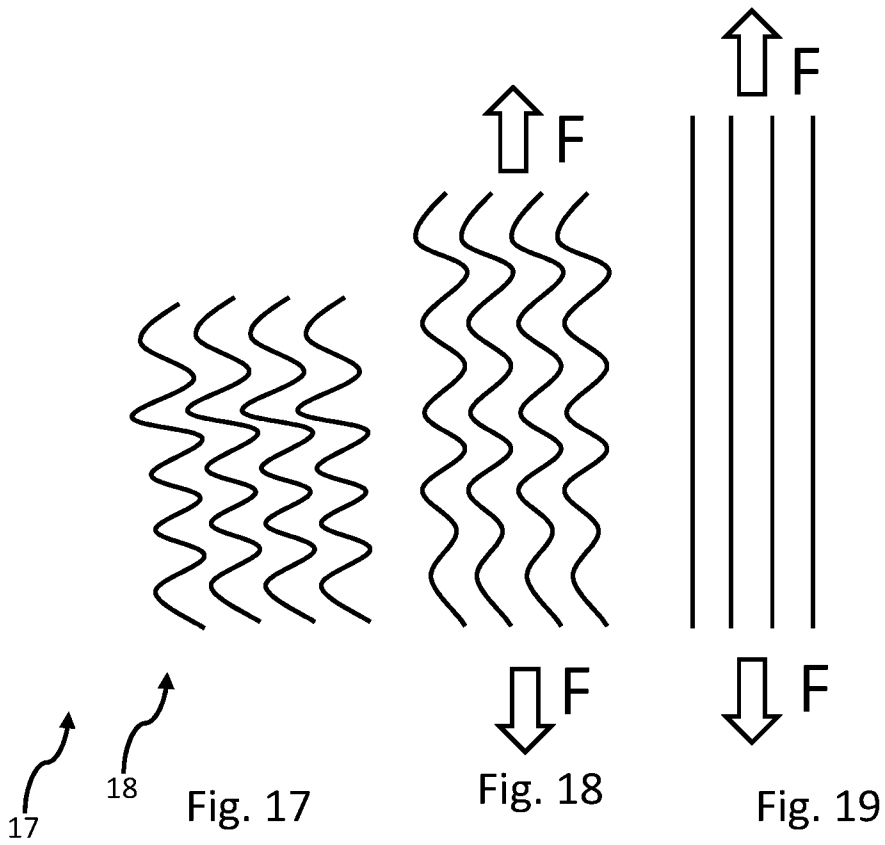


Fig. 16



9/11

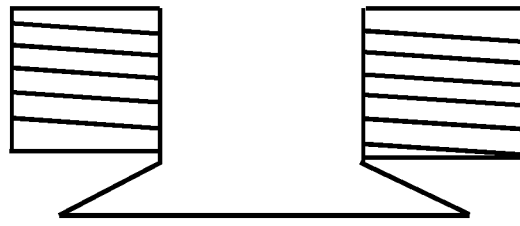


Fig. 20



17

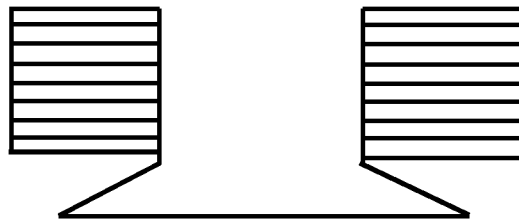


Fig. 21



17

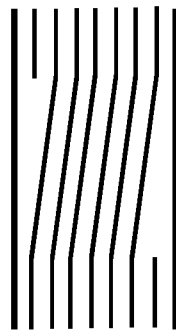


Fig. 22



17

10/11

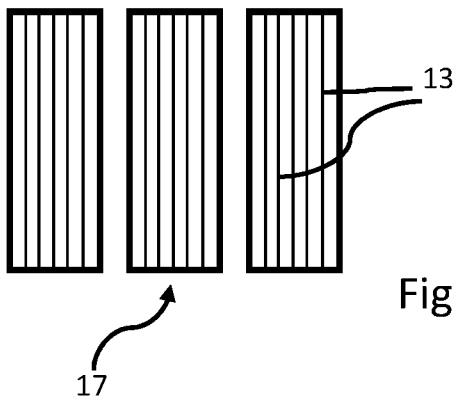


Fig. 23

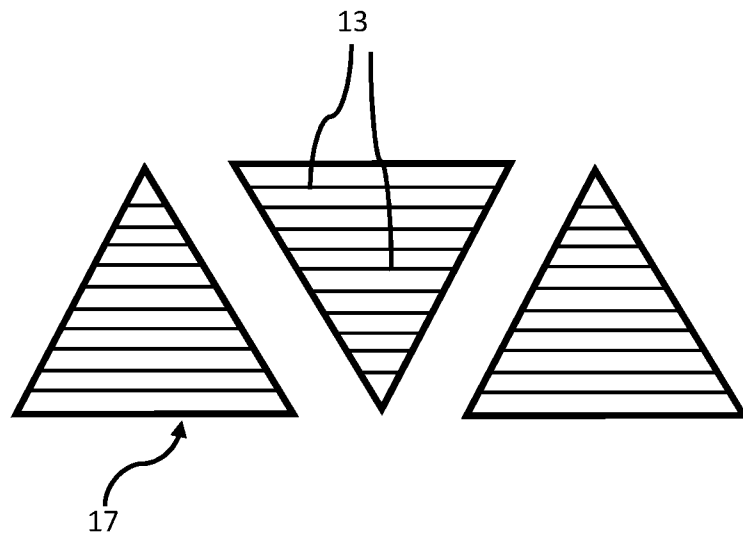


Fig. 24

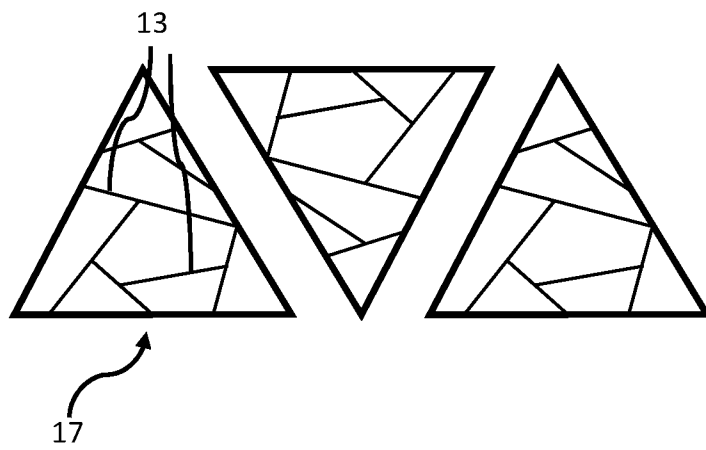
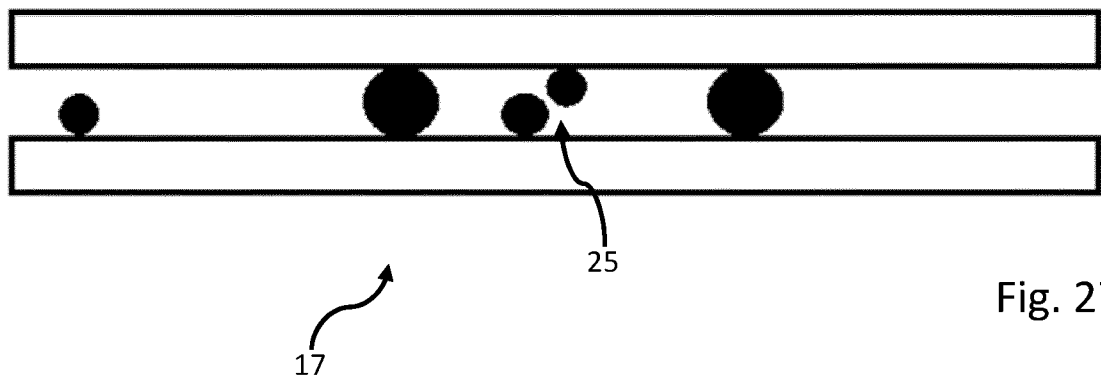
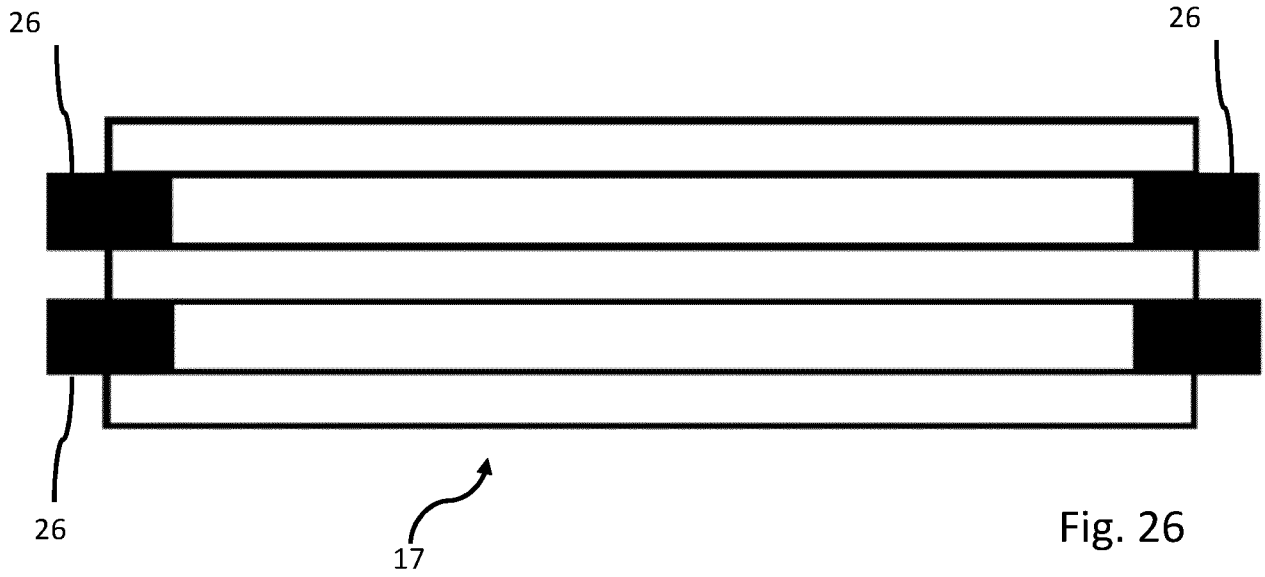


Fig. 25



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2021/071291

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER		
H02K 15/04 (2006.01)i; H02K 3/04 (2006.01)i; B33Y 10/00 (2015.01)i; B33Y 80/00 (2015.01)i		
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) B33Y; H02K		
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	SIMPSON NICK ET AL. "Additive Manufacturing of Shaped Profile Windings for Minimal AC Loss in Electrical Machines" <i>IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRY APPLICATIONS, IEEE SERVICE CENTER, PISCATAWAY, NJ, US</i> , Vol. 56, No. 3, 21 February 2020 (2020-02-21), pages 2510-2519, [retrieved on 2020-04-24] DOI: 10.1109/TIA.2020.2975763 ISSN: 0093-9994, XP011785429	1-3,6-11,13-18,20
Y	page 2514, right-hand column, last paragraph page 2515, left-hand column, "A. Surface Etching Process" page 2515, right-hand column, "B. Electrical Insulation Process" figures 13,15	4,5,12,19,21,22
X	SIMPSON NICK ET AL. "Additive manufacturing of shaped profile windings for minimal AC loss in gapped inductors" <i>2017 IEEE INTERNATIONAL ELECTRIC MACHINES AND DRIVES CONFERENCE (IEMDC), IEEE</i> , 21 May 2017 (2017-05-21), pages 1-7 DOI: 10.1109/IEMDC.2017.8002337 XP033137410 page 4, right-hand column, "V. Prototype Inductor Manufacture" figures 12,13	1,2,7,10,11,13,16-18,20
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
<p>* Special categories of cited documents:</p> <p>"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date</p> <p>"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)</p> <p>"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p> <p>"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</p> <p>"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</p> <p>"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</p> <p>"&" document member of the same patent family</p>		
Date of the actual completion of the international search 02 November 2021		Date of mailing of the international search report 10 November 2021
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 Arpaci, Mutlu Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2021/071291

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	WO 2017137391 A1 (TRUMPF LASER- UND SYSTEMTECHNIK GMBH [DE]) 17 August 2017 (2017-08-17) figures 1-11b	4,5
Y	DE 102013010229 A1 (DAIMLER AG [DE]) 27 March 2014 (2014-03-27) paragraph [0006]	12
Y	EP 2118990 A1 (TOYOTA MOTOR CO LTD [JP]) 18 November 2009 (2009-11-18) paragraph [0036] figures 1-7	19,21,22
A	WO 2019016061 A1 (TRUMPF LASER & SYSTEMTECHNIK GMBH [DE]) 24 January 2019 (2019-01-24) abstract	1-22
A	WO 2019137972 A1 (FRAUNHOFER GES FORSCHUNG [DE]) 18 July 2019 (2019-07-18) figures 1-8	1-22

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/EP2021/071291

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
WO	2017137391	A1	17 August 2017	EP 3414044 A1	19 December 2018
				WO 2017137391 A1	17 August 2017
DE	102013010229	A1	27 March 2014	NONE	
EP	2118990	A1	18 November 2009	CN 101657953 A	24 February 2010
				EP 2118990 A1	18 November 2009
				JP 4715776 B2	06 July 2011
				JP 2008220093 A	18 September 2008
				KR 20090115952 A	10 November 2009
				US 2010066198 A1	18 March 2010
				WO 2008108317 A1	12 September 2008
WO	2019016061	A1	24 January 2019	CN 111132780 A	08 May 2020
				DE 102017212565 A1	24 January 2019
				EP 3655183 A1	27 May 2020
				WO 2019016061 A1	24 January 2019
WO	2019137972	A1	18 July 2019	CN 111566905 A	21 August 2020
				DE 102018200505 A1	18 July 2019
				EP 3738194 A1	18 November 2020
				JP 2021510458 A	22 April 2021
				KR 20200105928 A	09 September 2020
				US 2020365319 A1	19 November 2020
				WO 2019137972 A1	18 July 2019

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES INV. H02K15/04 H02K3/04 B33Y10/00 B33Y80/00 ADD.		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
B. RECHERCHIERTE GEBIETE Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole) B33Y H02K		
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	SIMPSON NICK ET AL: "Additive Manufacturing of Shaped Profile Windings for Minimal AC Loss in Electrical Machines", IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRY APPLICATIONS, IEEE SERVICE CENTER, PISCATAWAY, NJ, US, Bd. 56, Nr. 3, 21. Februar 2020 (2020-02-21), Seiten 2510-2519, XP011785429, ISSN: 0093-9994, DOI: 10.1109/TIA.2020.2975763 [gefunden am 2020-04-24]	1-3, 6-11, 13-18,20
Y	Seite 2514, rechte Spalte, letzter Absatz Seite 2515, linke Spalte, "A. Surface Etching Process" Seite 2515, rechte Spalte, "B. Electrical Insulation Process" Abbildungen 13,15 -/--	4,5,12, 19,21,22
<input checked="" type="checkbox"/> Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen <input checked="" type="checkbox"/> 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		Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
2. November 2021		10/11/2021
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 Arpaci, Mutlu

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	<p>-----</p> <p>SIMPSON NICK ET AL: "Additive manufacturing of shaped profile windings for minimal AC loss in gapped inductors", 2017 IEEE INTERNATIONAL ELECTRIC MACHINES AND DRIVES CONFERENCE (IEMDC), IEEE, 21. Mai 2017 (2017-05-21), Seiten 1-7, XP033137410, DOI: 10.1109/IEMDC.2017.8002337 [gefunden am 2017-08-03] Seite 4, rechte Spalte, "V. Prototype Inductor Manufacture" Abbildungen 12,13</p>	1,2,7, 10,11, 13, 16-18,20
Y	<p>-----</p> <p>WO 2017/137391 A1 (TRUMPF LASER- UND SYSTEMTECHNIK GMBH [DE]) 17. August 2017 (2017-08-17) Abbildungen 1-11b</p>	4,5
Y	<p>-----</p> <p>DE 10 2013 010229 A1 (DAIMLER AG [DE]) 27. März 2014 (2014-03-27) Absatz [0006]</p>	12
Y	<p>-----</p> <p>EP 2 118 990 A1 (TOYOTA MOTOR CO LTD [JP]) 18. November 2009 (2009-11-18) Absatz [0036] Abbildungen 1-7</p>	19,21,22
A	<p>-----</p> <p>WO 2019/016061 A1 (TRUMPF LASER & SYSTEMTECHNIK GMBH [DE]) 24. Januar 2019 (2019-01-24) Zusammenfassung</p>	1-22
A	<p>-----</p> <p>WO 2019/137972 A1 (FRAUNHOFER GES FORSCHUNG [DE]) 18. Juli 2019 (2019-07-18) Abbildungen 1-8</p> <p>-----</p>	1-22

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2021/071291

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
WO 2017137391 A1	17-08-2017	EP 3414044 A1 WO 2017137391 A1	19-12-2018 17-08-2017

DE 102013010229 A1	27-03-2014	KEINE	

EP 2118990 A1	18-11-2009	CN 101657953 A EP 2118990 A1 JP 4715776 B2 JP 2008220093 A KR 20090115952 A US 2010066198 A1 WO 2008108317 A1	24-02-2010 18-11-2009 06-07-2011 18-09-2008 10-11-2009 18-03-2010 12-09-2008

WO 2019016061 A1	24-01-2019	CN 111132780 A DE 102017212565 A1 EP 3655183 A1 WO 2019016061 A1	08-05-2020 24-01-2019 27-05-2020 24-01-2019

WO 2019137972 A1	18-07-2019	CN 111566905 A DE 102018200505 A1 EP 3738194 A1 JP 2021510458 A KR 20200105928 A US 2020365319 A1 WO 2019137972 A1	21-08-2020 18-07-2019 18-11-2020 22-04-2021 09-09-2020 19-11-2020 18-07-2019
