

(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
26. März 2020 (26.03.2020)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2020/058400 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

B21J 5/00 (2006.01) B22C 9/22 (2006.01)
B22C 7/02 (2006.01) B22D 17/20 (2006.01)
B22D 25/02 (2006.01) B22D 23/06 (2006.01)
H02K 15/04 (2006.01) B22D 13/08 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2019/075165

(22) Internationales Anmeldedatum:
19. September 2019 (19.09.2019)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2018 215 972.6
19. September 2018 (19.09.2018) DE

(71) Anmelder: **FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZUR
FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG
E.V.** [DE/DE]; Hansastraße 27c, 80686 München (DE).

(72) **Erfinder: WÖSTMANN, Franz-Josef**; c/o Fraunhofer Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung, Wiener Straße 12, 28359 Bremen (DE). **HEUSER, Michael**; c/o Fraunhofer Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung, Wiener Straße 12, 28359 Bremen (DE). **BUSSE, Matthias**; c/o Fraunhofer Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung, Wiener Straße 12, 28359 Bremen (DE). **STUMM, Lukas**; c/o Fraunhofer Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung, Wiener Straße 12, 28359 Bremen (DE).

(74) **Anwalt: PFENNING, MEINIG & PARTNER MBB**; Joachimsthaler Straße 10-12, 10719 Berlin (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, JO, JP, KE, KG, KH, KN,

(54) **Title:** METHOD AND TOOL FOR PRODUCING A COIL AND COIL PRODUCED THEREWITH

(54) **Bezeichnung:** VERFAHREN UND WERKZEUG ZUM HERSTELLEN EINER SPULE UND DAMIT HERGESTELLTE SPULE

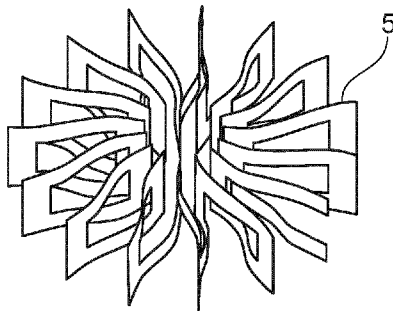


Fig. 3

(57) **Abstract:** The invention relates to a method for producing a coil, in which method a semifinished product (5) in the form of an elongate conductor is formed in a cavity of a casting tool by casting and the coil is formed by the semifinished product (5) being shaped after the semifinished product (5) has been demolded. The form of the semifinished product (5) can be derived from the shape of the finished coil by stretching along a longitudinal axis of the coil and/or by curving this longitudinal axis. During the shaping, the semifinished product (5) is bent and compressed in such a way that, during the shaping, windings of the coil which are already present in the semifinished product (5) are brought closer to one another at least in some regions and are brought into an arrangement along the longitudinal axis of the finished coil. During the shaping, the conductor is twisted or bent by not more than a right angle in the course of each individual winding. The invention further relates to a coil thus produced and to a casting tool that can be used to carry out the described method.

(57) **Zusammenfassung:** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Herstellen einer Spule, bei dem durch Gießen ein Halbzeug (5) in Gestalt eines länglichen Leiters in einer Kavität eines Gießwerkzeugs gebildet wird und die Spule nach einem Entformen des Halbzeugs (5) durch Umformen dieses Halbzeugs (5) gebildet wird, wobei die Gestalt des Halbzeugs (5) ableitbar ist aus einer Form der fertigen Spule durch Strecken entlang einer Längsachse der Spule und/oder durch Krümmen dieser Längsachse und wobei das Halbzeug (5) beim Umformen so umgebogen und gestaucht wird, dass bereits in dem Halbzeug (5) vorliegende Windungen der Spule beim Umformen zumindest bereichsweise einander angenähert und in eine Anordnung entlang der Längsachse der fertigen Spule gebracht werden, wobei der Leiter beim Umformen in einem Verlauf jeder einzelnen der Windungen um nicht mehr als einen rechten Winkel verdreht oder umgebogen wird. Die Erfindung betrifft ferner eine so hergestellte Spule und ein Gießwerkzeug, das zur Durchführung des beschriebenen Verfahrens verwendet werden kann.



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, 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)

Verfahren und Werkzeug zum Herstellen einer Spule und damit hergestellte Spule

5 Bei elektrischen Maschinen kommen gewickelte Spulen zum Einsatz. Die so hergestellten Spulen füllen den zur Verfügung stehenden Bauraum nur anteilig aus. Daraus resultiert eine geringere Leistungs- bzw. Drehmomentdichte der elektrischen Maschinen bezogen auf das Gewicht oder den Bauraum.

10 Gegossene Al- und Cu-Spulen können diesen Nachteil ausgleichen, jedoch sind bisher keine serientauglichen Verfahren zur Herstellung von gegossenen Al- und Cu-Spulen oder gegossenen Spulen aus Al- und Cu-Legierungen in Dauerformen mit ausreichenden Standzeiten bekannt.

15 Zur Steigerung der Leistungsdichte oder der Drehmomentdichte elektrischer Maschinen werden bisher aufwändige, oftmals manuell hergestellte Spulen gewickelt, um den Füllgrad noch geringfügig gegenüber Serienverfahren zu verbessern. Über der Höhe der Wicklungen wird dabei Draht mit gleichem

Querschnitt verwendet. Dabei verschlechtern bei konventionellen elektrischen Maschinen die von innen nach außen aufeinanderliegenden Windungen der Spule die Wärmeabfuhr und führen zu stärkerer Erwärmung der Spulen und damit zu einer notwendigen Begrenzung der maximalen Stromdichte bezogen auf den Querschnitt der Wicklung.

Gegossene Al- und Cu-Spulen oder gegossene Spulen aus Al und Cu-Legierungen sind an sich bekannt, werden jedoch bisher nicht in Dauerformen, sondern in verlorenen Form wie z.B. im Feinguss oder in einem Lost-Foam-Verfahren oder durch den Einsatz von Salzkernen, die die Kontur vorgeben und den direkten Kontakt der Schmelze mit dem Werkzeug verhindern, hergestellt.

Für die Herstellung verschiedenster Geometrien wird nach dem Stand der Technik eine konturgebende Form eingesetzt. Bei komplexen Geometrien werden ergänzend zu der Form, die über eine oder mehrere Teilungen für eine einfache Gussteilentnahme verfügt, Kerne eingelegt oder Schieber verwendet.

Bei der Herstellung von Kupferbauteilen ergeben sich dabei durch die hohe Gießtemperatur, oberhalb von 1100°C, erhöhte Anforderungen an Werkzeug und Kern. Die thermische Beanspruchung und insbesondere der Temperaturschock während der Formfüllung sorgen für eine schnelle Alterung und Schädigung konventioneller Materialien. Diese Alterung äußert sich durch Auswaschungen und Risse im Werkzeug bzw. Kern. Diese Risse zeichnen sich wiederum durch erhabene Grate auf der Oberfläche der abgegossenen Bauteile ab. Als Folgedavon wird die Werkzeugstandzeit sehr kurz, die Bauteilqualität stark beeinträchtigt und erhebliche Nacharbeit notwendig. Insgesamt sind mit konventionellen Werkzeugstählen kaum wirtschaftliche Resultate zu erzielen.

Bisherige Werkzeugkonzepte führten stets zu geometrisch komplexen Dauerformen oder zum zusätzlichen Einsatz von beweglichen permanenten oder nicht permanenten, als verlorenen, Schiebern oder Kernen. Diese Formen konnten lediglich im Laborbetrieb eingesetzt werden, weil ein großer Aufwand für Wartung der Formen erforderlich war und zusätzlich hohe Ausschussquoten vorlagen.

Aus der Druckschrift EP 2 819 276 A2 ist eine geometrisch abgewandelte Modellgeometrie bekannt, die eine einfach geformte zweigeteilte Dauerform, beispielsweise für einen Druckgießprozess, ermöglicht. Dies wird dadurch erreicht, dass die Windungen jeweils um 180° verdreht und somit die geometrische Komplexität der Spule erheblich reduziert wird. Hier ist jedoch nach der gießtechnischen Herstellung höchst komplexer umformender Prozessschritt erforderlich, um zur Spulengeometrie im Einbauzustand zu gelangen. Die geometrische Vereinfachung wird somit durch einen weiteren nachgelagerten aufwändigen Prozessschritt teuer erkauft.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, die beschriebenen Schwierigkeiten und Nachteile zu überwinden und ein serientaugliches Verfahren vorzuschlagen, mit dem sich Spulen gewünschten Geometrie, die einen Bauraum möglichst gut ausnutzen sollen, mit möglichst geringem Aufwand herstellen lassen. Der Erfindung liegt ferner die Aufgabe zugrunde, eine einfach und mit geringem Aufwand herstellbare Spule anzubieten, die mit vergleichsweise geringem Bauraum auskommt, und ein geeignetes Werkzeug zur Herstellung einer solchen Spule bzw. zur Durchführung eines entsprechenden Herstellungsverfahrens vorzuschlagen.

Diese Aufgabe wird gelöst durch ein Verfahren gemäß Anspruch 1, eine Spule gemäß Anspruch 14 und ein Gießwerkzeug gemäß Anspruch 15. Vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterentwicklungen der Erfindung ergeben sich mit den Merkmalen der Unteransprüche.

Bei dem vorgeschlagenen Verfahren zum Herstellen einer Spule wird zunächst ein Halbzeug in Gestalt eines länglichen Leiters durch Gießen in einer Kavität eines Gießwerkzeugs gebildet und die Spule anschließend nach einem Entformen des Halbzeugs durch Umformen dieses Halbzeugs gebildet. Erfindungsgemäß ist die Kavität des Gießwerkzeugs dabei so geformt, dass die Gestalt des Halbzeugs ableitbar ist aus einer Form der fertigen Spule durch Strecken entlang einer Längsachse der Spule und/oder durch Krümmen dieser Längsachse. Beim Umformen zur Bildung der Spule wird das Halbzeug dementsprechend so umgebogen und gestaucht, dass bereits in dem Halbzeug vorliegende Windungen der Spule beim Umformen zumindest bereichsweise

einander angenähert und in eine Anordnung entlang der Längsachse der fertigen Spule gebracht werden, wobei der Leiter beim Umformen in einem Verlauf jeder einzelnen der Windungen um nicht mehr als einen rechten Winkel verdreht oder umgebogen wird.

5

Vorteile dieses Verfahrens ergeben sich dabei einerseits durch die vorzugsweise hinterschnittsfreie Gestalt des gegossenen Halbzeugs, die einen einfachen Aufbau des Gießwerkzeugs ohne verlorene Werkzeugteile ermöglicht und das Entformen einfach macht und andererseits durch die verhältnismäßig unkomplizierte Umformung, durch die dieses Halbzeug in die Form der fertigen Spule überführt wird.

10

Das Halbzeug kann dabei in Form einer Rosette gebildet werden, so dass die Windungen vor dem Umformen um ein Zentrum herum aufgefächert angeordnet sind. Dabei kann die der Gestalt des Halbzeugs entsprechende Kavität des Gießwerkzeugs beim Gießen des Halbzeugs vom Zentrum aus gefüllt werden, so dass ein Anguss oder mehrere Angüsse mittig in der Rosette gebildet wird werden. Dadurch ergeben sich vorteilhaft kurze Fließwege für das das Halbzeug bzw. den Leiter der Spule bildende Material. Insbesondere kann die Kavität des Gießwerkzeugs beim Bilden des Halbzeugs von unten zentral gefüllt werden.

15

20

Die Kavität kann bei besonders einfachen Ausführungen durch nur zwei Werkzeughälften des Gießwerkzeugs gebildet werden. Das Halbzeug kann durch Trennen der Werkzeughälften in eine Richtung, in der das Halbzeug hinterschnittsfrei ist, vorzugsweise in Richtung einer Achse der Rosette, entformt werden. Dabei sind typischerweise keine zusätzlichen Formkerne, Schieber oder verlorene Formteile notwendig. In jedem Fall kann es sich bei dem Gießwerkzeug um eine wiederholt verwendbare Dauerform handeln, weshalb das Verfahren wirtschaftlich realisiert werden kann und serientauglich ist.

25

30

Das zum Gießen des Halbzeugs und zum Bilden des Leiters verwendete Material wird typischerweise ein Metall guter Leitfähigkeit sein. Insbesondere kann das Halbzeug aus Aluminium oder Kupfer oder einer Aluminium oder Kupfer enthaltenden Legierung gebildet werden.

35

Zum Bilden der Spule wird das Halbzeug typischerweise plastisch umgeformt, vorzugsweise ohne Aufschmelzen des das Halbzeug bildenden Materials.

5 Die Windungen können zum Umformen des Halbzeugs über einen Führungsstab oder Dorn geschoben werden, an dessen Ende eine Schulter angeordnet sein kann, die als Stopp für eine erste Windung dienen kann. Hinter der so entstehenden Spule kann ein weiteres Werkzeugteil auf den Führungsstab bzw. Dorn geschoben werden, mit dessen Hilfe die Windungen zusammenge-
10 drückt werden können.

Typischerweise wird der Leiter mit einem flachen Querschnitt gebildet, der in Richtung der Längsachse der Spule einen kleineren Durchmesser und in einer Richtung senkrecht zur Längsachse der Spule einen größeren Durchmesser
15 hat. Damit lässt sich ein besonders platzsparender Aufbau der Spule erreichen.

Dementsprechend vorteilhaft ist eine durch ein Verfahren beschriebener Art hergestellte Spule. Solche Spulen eignen sich zur Verwendung in elektrischen
20 Maschinen, insbesondere Elektromotoren. Die Vorteile der so hergestellten Spule kommen besonders bei Anwendungen zum Tragen, in denen es auf eine platz- und gewichtssparende Ausführung ankommt, beispielsweise in Elektromotoren in Luftfahrzeugen, wo entsprechend ausgestattete Elektromotoren z.B. als Antrieb für Ruder, Klappen oder Fahrwerksteile verwendet werden
25 können.

Ein zur Durchführung des beschriebenen Verfahrens und zur Herstellung einer entsprechenden Spule bzw. eines entsprechenden Halbzeugs geeignetes Gießwerkzeug kann zwei Werkzeughälften umfassen, die eine in eine
30 Entformungsrichtung hinterschnittfreie Kavität umschließen, wobei die Kavität eine Folge von Windungen bildet, die in Form einer Rosette um ein Zentrum herum aufgefächert angeordnet sind, wobei die Entformungsrichtung einer Richtung einer Achse der Rosette entspricht. Vorzugsweise ist dieses Gießwerkzeug zum Füllen der Kavität vom Zentrum aus eingerichtet.

35

Ausführungsbeispiele der Erfindung werden nachfolgend mit Bezugnahme auf die Figuren erläutert.

Es zeigt

5

Fig. 1 Eine frontale Ansicht einer zwei Werkzeughälften eines Gießwerkzeugs,

10

Fig. 2 eine perspektivische Darstellung dieses Gießwerkzeugs mit beiden Werkzeughälften in einem geschlossenen Zustand,

Fig. 3 in perspektivischer Darstellung ein in diesem Gießwerkzeug durch Gießen hergestelltes Halbzeug,

15

Fig. 4 eine Aufsicht auf dieses Halbzeug,

20

Fig. 5 jeweils in perspektivischer Darstellung zwei Teile eines Umformwerkzeugs und eine aus dem Halbzeug entstehende Spule in drei aufeinanderfolgenden Stadien eines Umformprozesses, und zwar links im Bild in auseinandergezogener Darstellung jeweils einzeln und rechts im Bild mit auf einem Führungsstab oder Dorn aufgeschobenen Windungen des Halbzeugs bzw. der entstehenden Spule, und

25

Fig. 6 ebenfalls in perspektivischer Darstellung eine Variante des Umformwerkzeugs, bei der der Führungsstab oder Dorn gekrümmt ausgeführt ist.

30

In Fig. 1 ist eine untere Werkzeughälfte 1 eines Gießwerkzeugs gezeigt. Erkennbar ist eine rosettenförmige Kavität 2 dieses Gießwerkzeugs, die sich durch Verbinden der unteren Werkzeughälfte 1 mit einer oberen Werkzeughälfte 3 schließen lässt.

35

Das vollständige geschlossene Gießwerkzeug ist in Fig. 2 erkennbar. Dort ist auch eine Einlassöffnung 4 gezeigt, durch die die Kavität 2 gefüllt werden kann, und zwar von einem Zentrum einer durch die Kavität gebildeten Rosette aus. Bei dieser Gießform handelt es sich um eine mehrfach verwendbare Dauerform.

In den Figuren 3 und 4 ist ein durch Gießen in diesem Gießwerkzeug gebildetes Halbzeug 5 gezeigt, das aus Aluminium, Kupfer oder einer Aluminium oder Kupfer enthaltenden Legierung gebildet sein kann. Bei dem Halbzeug 5 handelt es sich um einen länglichen Leiter, der bereits Windungen einer später daraus gebildeten Spule bildet. Dabei wird das Halbzeug 5 entsprechend der Form der Kavität 2 in Form einer Rosette gebildet, so dass die Windungen um das Zentrum herum aufgefächert angeordnet sind. Das in den Figuren 3 und 4 gezeigte Halbzeug 5 ist in Richtung einer Achse der Rosette hinterschnittsfrei und kann daher entformt werden, indem die Werkzeughälften 1 und 3 nach dem Gießen und Aushärten des Halbzeugs 5 in Richtung dieser Achse voneinander getrennt werden. Diese Richtung ist in Fig. 2 durch zwei Pfeile veranschaulicht. Dabei benötigt die Gießform weder einen Formkern noch irgendwelche Schieber oder verlorene Formteile.

Das Halbzeug 5 wird – ohne Aufschmelzen des das Halbzeug bzw. den Leiter bildenden Materials – plastisch umgeformt, um die bereits erwähnte Spule 6 zu bilden. Dazu wird das Halbzeug 5 so umgebogen und gestaucht, dass die Windungen der entstehenden Spule 6 beim Umformen aufeinander zubewegt werden, also einander angenähert werden, und in eine Anordnung entlang einer Längsachse der fertigen Spule 6 gebracht werden. Dabei wird der Leiter in einem Verlauf jeder einzelnen der Windungen um nicht mehr als etwa 20° verdreht und umgebogen. Das ist möglich, weil die Kavität 2 des Gießwerkzeugs so geformt, dass die Gestalt des darin gebildeten Halbzeugs 5 ableitbar ist aus der späteren Form der fertigen Spule 6 durch Strecken entlang der Längsachse der Spule 6 und durch Krümmen dieser Längsachse.

Wie in Fig. 5 veranschaulicht ist, kann das Umformen des Halbzeugs 5 zur Bildung der Spule 6 mittels eines Umformwerkzeugs erfolgen, dass einen Führungsstab oder Dorn 7 aufweist, an dessen Ende eine Schulter 8 angeordnet ist. Die Windungen des Halbzeugs 5 können zum Umformen über diesen Führungsstab oder Dorn 7 geschoben werden, der dazu in die Windungen eingefädelt wird. Die Schulter 8 dient dabei für eine erste Windung. Hinter dem Halbzeug 5, aus dem so die Spule 6 gebildet wird, kann ein weiteres Werkzeugteil 9 auf den Führungsstab bzw. Dorn 7 geschoben werden, um die Win-

dungen zusammenzudrücken und der Spule 6 ihre endgültige Gestalt zu geben, in der sie nur ein ausgesprochen geringes Volumen ausfüllt.

5 In Fig. 5 ist das Halbzeug 5 bereits in einer geradegebogenen Form gezeigt, in der die Rosette aufgebogen ist und die Windungen entlang der Längsachse der Spule 6 angeordnet sind und miteinander fluchten. Eine Abwandlung des Umformwerkzeugs, mit dem das Geradebiegen des Halbzeugs 5 bzw. der Rosette vereinfacht und beim Zusammendrücken der Windungen vollendet werden kann, ist in Fig. 6 gezeigt. Der Führungsstab oder Dorn 7 ist bei dieser Abwandlung gekrümmt ausgeführt.

10 Der zunächst das Halbzeug 5 und später die Spule 6 bildende Leiter hat einen flachen Querschnitt gebildet, der in Richtung der Längsachse der Spule 6 einen kleineren Durchmesser und in einer Richtung senkrecht zur Längsachse einen größeren Durchmesser hat.

15 Die Spule 6 kann in einer elektrischen Maschine, beispielsweise einem Elektromotor, verwendet werden. Ein solcher Elektromotor kann in einem Luftfahrzeug verwendet werden, z.B. als Antrieb für ein Ruder, eine Klappe oder ein Einziehfahrwerk.

20 Aufgrund der typischerweise symmetrischen Anordnung des Gussteils, im Fall es beschriebenen Ausführungsbeispiels also des Halbzeugs 5, kann die Herstellung auch im Schleuderguss erfolgen. Für eine Mehrfachbelegung können mehrere Kavitäten hintereinander angeordnet werden.

25 Bei einer konventionellen Vorgehensweise mit zwei Formhälften kann im Niederdruckguss die Kavität von unten zentral gefüllt werden und der Anschnitt mechanisch geschlossen oder durch eine entsprechend dünnwandige Gestaltung und/oder Temperierung im Anschnittbereich zu einer schnellen Erstarrung gebracht werden, um einen Verschluss im Anschnittbereich zu erreichen. Im Anschluss kann von oben ein Stempel in das noch schmelzflüssige Zentrum eingeführt werden und unter dem Druck des Stempels ein Nachspeisen der Kontur erzielt werden. Dann wird die laminare Formfüllung des Niederdruckgusses mit einer druckunterstützten Nachspeisung, also einem Druckguss, kombiniert.

Das Gießwerk kann so gestaltet sein, dass das Zentrum der Kavität aus einem Tigel besteht, in den ein metallisches Granulat eingefüllt wird, welches induktiv aufgeschmolzen wird. Nach dem Aufschmelzen des Tiegels kann

5

- die Form und der Tigel in Rotation versetzt werden, wobei durch die Fliehkraft und entsprechende Tigelgestaltung die Schmelze über den Tigelrand in die Kavität gedrückt wird, oder

10

- ein Stempel mit Aussparungen für die Anschnittbereiche von oben in die Form hineingefahren und dabei die Tigelwandung nach unten gedrückt werden. Der Boden des Tiegels bleibt dabei in seiner Position. Durch das Hinunterdrücken der Tigelwandung werden die Anschnitte der zu gießenden Kontur freigelegt und die im Tigel befindliche Schmelze durch die den Anschnitten entsprechenden Öffnungen des Stempels in die Kavität gepresst.

15

Mit der vorliegend anhand verschiedener Ausführungsbeispiele beschriebenen Erfindung wird eine Methodik zur Reduzierung der Komplexität von Spulen in ihrer Herstellung vorgeschlagen, wodurch diese in geometrisch einfachen zweigeteilten Dauerformen herstellbar werden. Dies wird durch eine Kombination aus Gießprozess und anschließender plastischer Vorverformung der Spule erreicht, die den Herstellungsprozess erheblich erleichtert. Damit wird die Geometrie der Spule zur Werkzeugkonstruktion quasi virtuell auseinandergezogen und kreisförmig angeordnet (rosettenartig), um eine Geometrie zu realisieren, die frei von Hinterschnitten ist und in einem zweiteiligen Werkzeug eingelegt werden kann, wie in den Figuren 1 bis 4 veranschaulicht ist.

20

25

30

Nach dem Gießprozess wird die Spule erneut plastisch verformt, um den geometrischen Einbauzustand zu erhalten. Der Anguss wird bei der Geometrie in der Mitte angeordnet, wodurch sich eine symmetrische Formfüllung und kürzestmögliche Fließwege ergeben. Ebenso wie in dem in den Figuren illustrierten Fall, in dem die Verformung über die Längsseite der Spule erfolgt, ist auch eine Verformung über die kurze Seite, den Wickelkopf möglich. Die Geometrie kann dabei in verschiedenen Gießverfahren zum Einsatz kommen, insbesondere Schwerkraftsandguss, Niederdrucksandguss, Schwerkraftkokil-

35

lenguss, Niederdruckkokillenguss und auch Druckguss, bei Einsatz eines Zentralangusses. Ebenso kann in der Abwicklung ein Modell für den Feinguss aus Wachs oder Kunststoff gespritzt und für den Lost Foam-Prozess geschäumt werden. Weiterhin kann aufgrund der zentralen Anordnung des Angusses ein Stapelguss realisiert werden, bei dem in allen genannten Verfahren mehrere Spulenwerkzeug übereinander gestapelt und in einem Abguss abgegossen werden können. Die Werkzeugeinsätze können dabei aus konventionellen Werkzeugmaterialien sein, oder speziell für die hohe Temperaturbelastung bei der Verarbeitung von Kupfer und dem starken Werkzeugangriff bei der Verwendung von Aluminium aus keramischen Materialien.

Die hier beschriebene Herstellung einer Spule zeichnet sich durch die einfache Werkzeuggeometrie, die damit mögliche einfache Herstellung eines Halbzeuges für die Spule und die einfache anschließende Nacharbeit aus. Für die Handlingsprozesse kann dabei der Angussbereich genutzt werden. Der Anguss versteift die Spulengeometrie und kann nach den wesentlichen Folgeprozessen entfernt werden. Bei optimaler Lage der Anschnitte, z.B. in der Mitte der Windung oder am Rand, kann der Anschnitt als letzter Schritt vor dem Umformen entfernt werden und ein evtl. verbleibender Grat toleriert werden. Ebenso kann die gesamte Formgeometrie so ausgelegt sein, dass mögliche Grate toleriert werden können, um die Fertigung zu vereinfachen. Dazu kann das Gießwerkzeug z.B. so ausgelegt werden, dass die durch das Entformen entstehenden Grate bei der fertigen Spule jeweils in dafür vorgesehenen Aushöhungen an einer Oberfläche einer benachbarten Windung zu liegen kommen.

Nach der Herstellung der abgewickelten Geometrie werden diese weiteren Prozessschritten, wie Entgraten, Polieren, Reinigen, Schleifen, Beschichten, zugeführt. Hierbei erweist sich die Geometrie durch die bessere Zugänglichkeit aufgrund der vorverformten Spule als positiv. Für ein notwendiges Handling des Halbzeuges können im Herstellungsprozess Positionier-, Fixier-, Handlingshilfen etc. mit in der Werkzeugkontur vorgesehen werden, die je nach Bedarf entfernt oder zur Weiterverarbeitung genutzt werden können. Der zweite entscheidende Vorteil dieser Geometrievariante ist der einfache Umformprozess nach dem Gießen durch Einschieben eines Führungsstabes in die Seele der Windung und direktem Umformen der Windungen aufeinander.

Dies wird durch das Einfädeln auf einen Dorn mit Schulter erreicht, so wie in den Figuren 5 und 6 dargestellt. Mithilfe dieser Konstruktion wird die Spule in den Einbauzustand zurück verformt bzw. gebracht. Hierbei kann Umformprozess und Kalibrierung kombiniert werden. Der Führungsstab kann am Anfangsende dünn ausgeführt sein zur Vereinfachung des Einfädelns und wird dann zur druck aufbringen Auflagefläche – also der Schulter 8 – hin dicker und entspricht dort der Endkontur des Innenraums der Windung. Idealerweise hat die Endkontur des Innenraums mindestens die gleiche Höhe wie die zu erzielende Gesamtpule, siehe Figuren 5 und 6.

Eine Verwendung des hier vorgeschlagenen Herstellungsverfahrens lässt sich auch am fertigen Erzeugnis noch nachweisen. So geben einfache visuelle Untersuchungen der Gusskörper und eine metallographische Analyse Aufschluss über die fertigungsbedingte Historie der Gussteile. Insbesondere die plastisch umgeformten Bereiche in Windung und Wickelkopf können metallographisch nachgewiesen werden.

Patentansprüche

5

1. Verfahren zum Herstellen einer Spule (6), bei dem durch Gießen ein Halbzeug (5) in Gestalt eines länglichen Leiters in einer Kavität (2) eines Gießwerkzeugs gebildet wird und die Spule (6) nach einem Entformen des Halbzeugs (5) durch Umformen dieses Halbzeugs (5) gebildet wird,

10

dadurch gekennzeichnet,

dass die Gestalt des Halbzeugs (5) ableitbar ist aus einer Form der fertigen Spule (6) durch Strecken entlang einer Längsachse der Spule (6) und/oder durch Krümmen dieser Längsachse,

15

wobei das Halbzeug (5) beim Umformen so umgebogen und gestaucht wird, dass bereits in dem Halbzeug (5) vorliegende Windungen der Spule (5) beim Umformen zumindest bereichsweise einander angenähert und in eine Anordnung entlang der Längsachse der fertigen Spule (6) gebracht werden, wobei der Leiter beim Umformen in einem Verlauf jeder einzelnen der Windungen um nicht mehr als einen rechten Winkel verdreht oder umgebogen wird.

20

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Halbzeug (5) in Form einer Rosette gebildet wird, so dass die Windungen vor dem Umformen um ein Zentrum herum aufgefächert angeordnet sind.

25

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass beim Gießen des Halbzeugs (5) die der Gestalt des Halbzeugs (5) entsprechende Kavität (2) des Gießwerkzeugs vom Zentrum aus gefüllt wird.

30

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Kavität (2) durch zwei Werkzeughälften (1,3) des Gießwerkzeugs gebildet wird und das Halbzeug (5) durch Trennen dieser Werk-

zeughälften (1, 3) in eine Richtung, in der das Halbzeug (5) hinter-schnittfrei ist, entformt wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass das Gießwerkzeug eine Dauerform ist.
- 5 6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass das Halbzeug (5) aus Aluminium oder Kupfer oder einer Aluminium oder Kupfer enthaltenden Legierung gebildet wird.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass das Halbzeug (5) zum Bilden der Spule (6) plastisch umgeformt wird.
- 10 8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Windungen zum Umformen des Halbzeugs (5) über einen Führungsstab oder Dorn (7) geschoben werden.
- 15 9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass der Leiter einen flachen Querschnitt hat, der in Richtung der Längsachse der Spule (6) einen kleineren Durchmesser und in einer Richtung senkrecht zur Längsachse der Spule (6) einen größeren Durchmesser hat.
- 20 10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass das Gießen des Halbzeugs (5) in einem Niederdruck- und/oder Hochdruckgussverfahren und/oder in einem Schleuderguss- oder Schwerkraftgussverfahren erfolgt.
- 25 11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass beim Bilden des Halbzeugs (5) nach einem ersten Befüllen der Kavität (2) unter einem niedrigeren ersten Druck ein Anschnitt des Gießwerkzeugs mechanisch oder durch beschleunigtes Erstarren in einem Anschnittbereich geschlossen wird und/oder ein Stempel in ein noch schmelzflüssig gefülltes Zentrum des Gießwerkzeugs eingeführt und die Kavität (2) unter einem durch den Stempel erzeugten höheren zweiten Druck nachgespeist wird.
- 30

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass ein zentral im Gießwerkzeug angeordneter Tigel mit einem metallischen Granulat gefüllt wird, das dort aufgeschmolzen wird und zum Füllen der mit dem Tigel verbundenen Kavität (2) verwendet wird.
- 5 13. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass das Granulat im Tigel induktiv aufgeschmolzen wird und/oder durch Rotation des Tigels oder durch einen Druck eines Stempels in die Kavität (2) gedrückt wird.
- 10 14. Spule (6), hergestellt durch ein Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 13, zur Verwendung in einer elektrischen Maschine.
- 15 15. Gießwerkzeug zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 13 und/oder zur Herstellung einer Spule (6) nach Anspruch 14, umfassend zwei Werkzeughälften (1, 3), die eine in eine Entformungsrichtung hinterschnittsfreie Kavität (2) umschließen, wobei die Kavität (2) einer Folge von Windungen bildet, die in Form einer Rosette um ein Zentrum herum aufgefächert angeordnet sind, wobei die Entformungsrichtung einer Richtung einer Achse der Rosette entspricht.

1/3

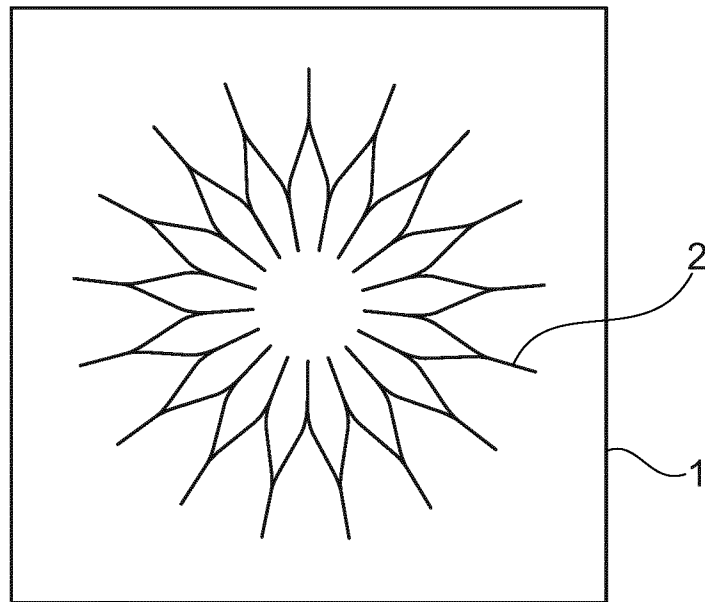


Fig. 1

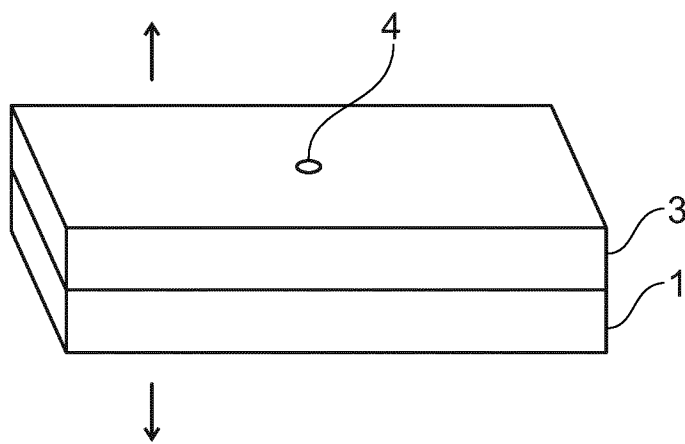


Fig. 2

2/3

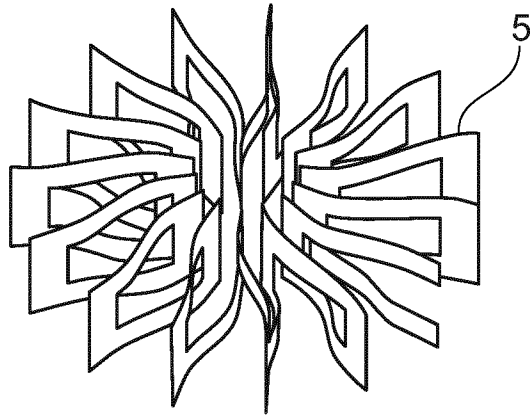


Fig. 3

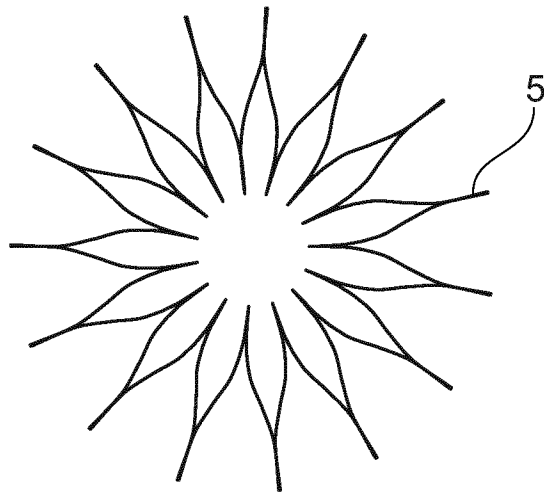


Fig. 4

3/3

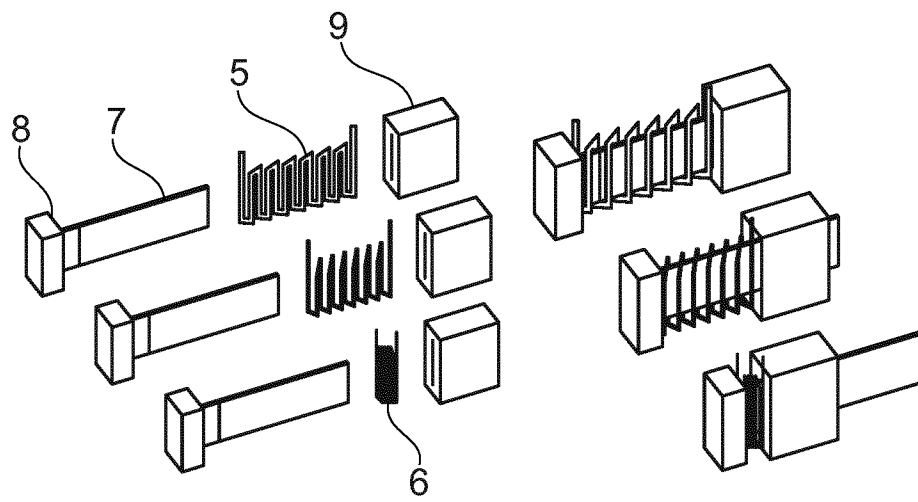


Fig. 5

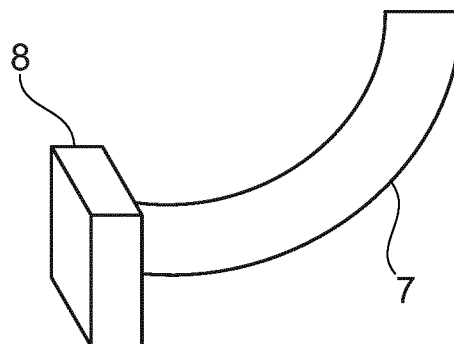


Fig. 6

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2019/075165

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

B21J 5/00(2006.01)i; **B22C 7/02**(2006.01)i; **B22D 25/02**(2006.01)i; **H02K 15/04**(2006.01)i; **B22C 9/22**(2006.01)i;
B22D 17/20(2006.01)i; **B22D 23/06**(2006.01)i; **B22D 13/08**(2006.01)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)

B21J; B22C; B22D; H02K; B21D; H01F

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 102012212637 A1 (FRAUNHOFER GES FORSCHUNG [DE]) 23 January 2014 (2014-01-23)	1,2,4-7,9-14
Y	abstract	8
A	paragraphs [0001], [0010], [0032], [0101], [0111] - [0117], [0138] figures 2,3,8,9,17,18	3,15
X	GRONINGER M ET AL. "Casting production of coils for electrical machines" <i>ELECTRIC DRIVES PRODUCTION CONFERENCE (EDPC), 2011 1ST INTERNATIONAL, IEEE</i> , 28 September 2011 (2011-09-28), pages 159-161 DOI: 10.1109/EDPC.2011.6085534 ISBN: 978-1-4577-1371-2. XP032000385	1,2,5-7,9-14
Y	abstract	8
A	sections II.A, II.C figure 1	3,4,15



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

11 December 2019

Date of mailing of the international search report

19 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

Grave, Christian

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2019/075165**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	DE 102010020897 A1 (FRAUNHOFER GES FORSCHUNG [DE]) 10 November 2011 (2011-11-10)	1,2,5-7,9-14
Y	abstract	8
A	paragraphs [0014], [0015], [0018], [0022], [0035], [0040], [0061] figures 2,3	3,4,15
Y	DE 102014222468 A1 (SCHAEFFLER TECHNOLOGIES AG [DE]) 04 May 2016 (2016-05-04)	8
A	abstract paragraphs [0057] - [0067] figures 2-13	1-7,9-15
A	JP 2015002614 A (AISIN AW CO) 05 January 2015 (2015-01-05) paragraphs [0038] - [0056], [0073] figures 1-7	1-15

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/EP2019/075165

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
DE	102012212637	A1	23 January 2014	DE 102012212637 A1	23 January 2014
				EP 2688183 A2	22 January 2014
DE	102010020897	A1	10 November 2011	DE 102010020897 A1	10 November 2011
				EP 2387135 A2	16 November 2011
				PL 2387135 T3	29 March 2019
DE	102014222468	A1	04 May 2016	NONE	
JP	2015002614	A	05 January 2015	NONE	

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES		
INV.	B21J5/00 B22D17/20	B22C7/02 B22D23/06
	B22D25/02 B22D13/08	H02K15/04 B22C9/22
ADD.		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
B. RECHERCHIERTE GEBIETE		
Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)		
B21J B22C B22D H02K B21D H01F		
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 2012 212637 A1 (FRAUNHOFER GES FORSCHUNG [DE]) 23. Januar 2014 (2014-01-23)	1,2,4-7, 9-14
Y	Zusammenfassung	8
A	Absätze [0001], [0010], [0032], [0101], [0111] - [0117], [0138] Abbildungen 2,3,8,9,17,18 ----- -/-	3,15
☒ 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		Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
11. Dezember 2019		19/12/2019
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 Grave, Christian

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	GRONINGER M ET AL: "Casting production of coils for electrical machines", ELECTRIC DRIVES PRODUCTION CONFERENCE (EDPC), 2011 1ST INTERNATIONAL, IEEE, 28. September 2011 (2011-09-28), Seiten 159-161, XP032000385, DOI: 10.1109/EDPC.2011.6085534 ISBN: 978-1-4577-1371-2	1,2,5-7, 9-14
Y	Zusammenfassung	8
A	Abschnitte II.A, II.C Abbildung 1	3,4,15

X	DE 10 2010 020897 A1 (FRAUNHOFER GES FORSCHUNG [DE]) 10. November 2011 (2011-11-10)	1,2,5-7, 9-14
Y	Zusammenfassung	8
A	Absätze [0014], [0015], [0018], [0022], [0035], [0040], [0061] Abbildungen 2,3	3,4,15

Y	DE 10 2014 222468 A1 (SCHAEFFLER TECHNOLOGIES AG [DE]) 4. Mai 2016 (2016-05-04)	8
A	Zusammenfassung Absätze [0057] - [0067] Abbildungen 2-13	1-7,9-15

A	JP 2015 002614 A (AISIN AW CO) 5. Januar 2015 (2015-01-05) Absätze [0038] - [0056], [0073] Abbildungen 1-7	1-15

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2019/075165

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 102012212637 A1	23-01-2014	DE 102012212637 A1	23-01-2014
		EP 2688183 A2	22-01-2014

DE 102010020897 A1	10-11-2011	DE 102010020897 A1	10-11-2011
		EP 2387135 A2	16-11-2011
		PL 2387135 T3	29-03-2019

DE 102014222468 A1	04-05-2016	KEINE	

JP 2015002614 A	05-01-2015	KEINE	
