

(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
16. Dezember 2021 (16.12.2021)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2021/249713 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
H02K 15/00 (2006.01) B23K 31/12 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2021/062566

(22) Internationales Anmeldedatum:
12. Mai 2021 (12.05.2021)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2020 115 124.1
08. Juni 2020 (08.06.2020) DE

(71) Anmelder: AUDI AG [DE/DE]; Auto-Union-Str. 1, 85045
Ingolstadt (DE).

(72) Erfinder: HERRMANN, Patrick; Joseph-Maria-Lutz-Str.
10, 85276 Pfaffenhofen (DE).

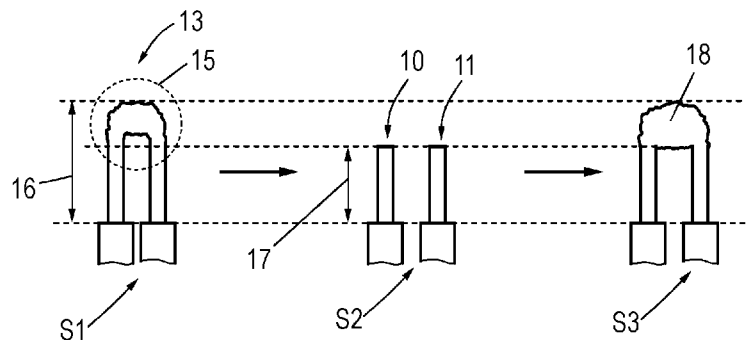
(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY,
BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DJ, DK, DM, DO,
DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN,
HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, 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, 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,

(54) Title: METHOD FOR REWORKING A FAULTY WELDED JOINT OF A HAIRPIN WINDING

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUR NACHBEARBEITUNG EINER FEHLERHAFTEN SCHWEIßVERBINDUNG EINER
HAIRPIN-WICKLUNG

FIG. 2



(57) Abstract: Described is a method for reworking a faulty welded joint (13, 14) of a hairpin winding for a rotor or stator (1) of an electric machine, comprising the following steps: - Providing the hairpin winding, which is mounted on a winding carrier (2), the hairpin winding having at least one conductor (3, 4) formed from a plurality of conductor sections (5), the conductor sections (5) of the respective conductor (3, 4) being welded in pairs at a respective welded joint (13, 14) by means of a first welding method, at least one of the welded joints (13, 14) being a faulty welded joint (13), - separating the faulty welded joint (13), and - connecting the conductor sections (5) previously connected by the faulty welded joint (13) and which are to be welded, by means of a connection method that differs from the first welding method, more particularly by means of a second welding method.

(57) Zusammenfassung: Verfahren zur Nachbearbeitung einer fehlerhaften Schweißverbindung (13, 14) einer Hairpin-Wicklung für einen Rotor oder Stator (1) einer elektrischen Maschine, umfassend die Schritte: - Bereitstellen der auf einen Wicklungsträger (2) aufgebrachten Hairpin-Wicklung, wobei die Hairpin-Wicklung wenigstens einen aus mehreren Leiterabschnitten (5) gebildeten Leiter (3, 4) aufweist, wobei die Leiterabschnitte (5) des jeweiligen Leiters (3, 4) paarweise an einer jeweiligen Schweißverbindung (13, 14) durch ein erstes Schweißverfahren verschweißt sind, wobei wenigstens eine der Schweißverbindungen (13, 14) eine fehlerhafte Schweißverbindung (13) ist, - Trennen der fehlerhaften Schweißverbindung (13), und - Verbinden der vorangehend durch die fehlerhafte Schweißverbindung (13) verbundenen, zu verschweißenden Leiterabschnitte (5) durch ein von dem ersten Schweißverfahren unterschiedliches Verbindungsverfahren, insbesondere durch ein zweites Schweißverfahren.

WO 2021/249713 A1

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)*

5 Verfahren zur Nachbearbeitung einer fehlerhaften Schweißverbindung einer
Hairpin-Wicklung

BESCHREIBUNG:

10

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Nachbearbeitung einer fehlerhaften Schweißverbindung einer Hairpin-Wicklung für einen Rotor oder Stator einer elektrischen Maschine.

15

In elektrischen Maschinen, also beispielsweise in Motoren oder Generatoren, wird typischerweise ein Stator mit daran angebrachten Spulen genutzt, um durch eine zeitlich veränderliche Bestromung der Spulen einen Rotor anzutreiben oder ein aufgrund einer Rotation auftretendes zeitlich veränderliches Magnetfeld in einen Induktionsstrom umzusetzen. Hierbei kann beispielsweise ein zylinderartig geformter Wicklungsträger genutzt werden, der eine Vielzahl von in Axialrichtung verlaufenden Nuten aufweist, durch die ein die Spulen bildender Leiter geführt ist. Prinzipiell ist es möglich, um jeden der die Nuten begrenzende Spulenzähne separate Wicklungen zu winden. Es kann jedoch vorteilhaft sein, einen zusammenhängenden Leiter mäandernd durch
20 mehrere Nuten zu führen.

25

Bei elektrischen Maschinen mit hoher Leistungsdichte, beispielsweise bei Antriebsmaschinen für Kraftfahrzeuge, wird mittlerweile häufig eine sogenannte Hairpin-Bauweise genutzt, um derartige durch Nuten mäandernde
30 Windungen zu fertigen. Hierbei wird ein Profildraht, meist ein Rechteckdraht, zunächst in eine U-Form, also in die Form einer Haarnadel bzw. eines „Hairpin“, gebogen. Die Schenkel dieses Hairpins werden anschließend kreisförmig angeordnet und in die Nuten eines Statorblechpakets eingesetzt. Die freien Enden der jeweiligen Hairpins werden im nächsten Schritt konzent-

risch zur Statorachse bzw. zur Drehachse der elektrischen Maschine um einen definierten Winkel verdreht. Hierbei werden alle Enden, die auf einem jeweiligen Durchmesser, das heißt, auf einer bestimmten Lage in den Nuten, liegen, abwechselnd im und gegen den Uhrzeigersinn verdreht. Dies wird
5 auch als „Twisten“ bezeichnet. Die nebeneinander liegenden Enden werden leitend miteinander verbunden. Je nach Wicklungsschema werden Verschaltbrücken auf den Wicklungskopf aufgesetzt und mit entsprechenden Enden von Hairpins leitend verbunden, um die Hairpins zu einer Gesamtwicklung zu verschalten. Gegebenenfalls werden die Pinenden an-
10 schließend isoliert und der gesamte Stator imprägniert. Diese Technik ermöglicht eine hohe Automatisierung und einen hohen Kupferfüllfaktor in den Statornuten, also ein hohes Verhältnis zwischen Kupferfläche und Nutfläche. Diese Hairpin-Bauweise wird beispielsweise in dem Dokument DE 10 2018 200 035 A1 verwendet. Um hohe Durchsätze zu erreichen, erfolgt die Her-
15 stellung der leitenden Verbindungen zwischen den einzelnen Hairpins häufig durch Schweißen, z.B. durch Laserschweißen.

Bei dem Verschweißen von Hairpin-Wicklungen für einen Rotor beziehungsweise Stator sind sehr viele Schweißverbindungen, typischerweise über 200
20 Schweißverbindungen, erforderlich. Somit können bereits sehr geringe Fehlerraten des Schweißprozesses zu einem hohen Ausschuss führen. Beispielsweise würde bereits eine Fehlerrate von ungefähr 0,5% dazu führen, dass durchschnittlich eine Schweißverbindung pro Stator fehlerhaft ist. Sollen beispielsweise 200 Statoren pro Tag gefertigt werden und jeder dieser
25 Statoren weist 216 Schweißstellen auf, würde dies selbst bei einer Fehlerrate von 0,1% pro Schweißvorgang immer noch zu einem Ausschuss von bis zu 432 Statoren pro Tag führen, die nicht in Ordnung sind. Da ein derart hoher Ausschuss sowohl aus ökonomischen als auch aus ökologischen Gründen vermieden werden sollte, ist es zweckmäßig, eine Nacharbeitslösung zu nutzen, bei der soweit wie möglich fehlerhafte Schweißstellen nachbearbeitet
30 werden, um zu einem voll funktionsfähigen Stator zu gelangen. Ähnliches gilt für die Herstellung von Rotoren mit aufgebrauchten Hairpin-Wicklungen.

Im einfachsten Fall würde die Nachbearbeitung durch ein Laserschweißen erfolgen, das typischerweise auch genutzt wird, um die ursprüngliche Schweißverbindung herzustellen. Hierbei ist es jedoch problematisch, dass die erste fehlerhaftete Schweißung die vorliegende Schweißsituation für die

5 Nachbearbeitung auf undefinierte Weise verändert, da die aus der fehlerhafteten Schweißung resultierende Oberfläche unbekannt ist. Dies führt typischerweise dazu, dass die Oberfläche nicht mehr senkrecht auf dem eingestrahnten Laser steht, was in Verbindung damit, dass das häufig für solche Wicklungen verwendete Kupfer ohnehin bereits eine relativ geringe Absorption

10 on für Infrarotlaser aufweist, zu einem geringen Energieeintrag führt. Somit resultiert für unterschiedliche Schweißvorgänge bei einer solchen Nachbearbeitung ein unterschiedlicher Energieeintrag, was wiederum erneut zu fehlerhaften Schweißverbindungen beziehungsweise zu einem undefinierten Leitverhalten der Wicklung führen kann.

15

Der Erfindung liegt somit die Aufgabe zugrunde, eine demgegenüber verbesserte Lösung zur Nachbearbeitung von fehlerhaften Schweißverbindungen einer Hairpin-Wicklung anzugeben.

20 Die Aufgabe wird erfindungsgemäß durch ein Verfahren zur Nachbearbeitung einer fehlerhaften Schweißverbindung einer Hairpin-Wicklung für einen Rotor oder Stator einer elektrischen Maschine gelöst, das die folgenden Schritte umfasst:

- Bereitstellen der auf einen Wicklungsträger aufgebrachten Hairpin-Wicklung, wobei die Hairpin-Wicklung wenigstens einen aus mehreren Leiterabschnitten gebildeten Leiter aufweist, wobei die Leiterabschnitte des jeweiligen Leiters paarweise an einer jeweiligen Schweißverbindung durch ein erstes Schweißverfahren verschweißt sind, wobei wenigstens eine der Schweißverbindungen eine fehlerhafte Schweißverbindung ist,
- 25 - Trennen der fehlerhaften Schweißverbindung, und
- Verbinden der vorangehend durch die fehlerhafte Schweißverbindung verbundenen, zu verschweißenden Leiterabschnitte durch ein von dem ersten Schweißverfahren unterschiedliches Verbindungsverfahren, insbesondere durch ein zweites Schweißverfahren.
- 30

Erfindungsgemäß wird zunächst die fehlerhafte Schweißverbindung getrennt, insbesondere durch Abtrennen des die Schweißverbindung aufweisenden Bereichs. Hierdurch kann eine definierte Geometrie der zu verbindenden Enden der Leiterabschnitte bereitgestellt werden, so dass die eingangs erläuterten Probleme bezüglich einer undefinierten Ausgangsgeometrie für die Nachbearbeitung, vermieden werden können.

Würden keine weiteren Maßnahmen ergriffen, würde hierbei das Problem resultieren, dass bei üblichen Schweißverfahren zur Herstellung von Hairpin-Wicklungen, beispielsweise bei einem Laserschweißen, relativ hohe Energieeinträge erfolgen. Eine trennen der fehlerhaften Schweißverbindung kann jedoch, beispielsweise wenn es durch Ablängen erfolgt, dazu führen, dass eine geringere absolute Länge vorliegt als beim ursprünglichen Schweißen, so dass ein erneuter Schweißvorgang mit dem gleichen Schweißverfahren aufgrund des kürzeren Abstands zu einer Isolation der Leiterabschnitte potentiell zu einer Beschädigung dieser Isolation führen würde, womit wiederum ein fehlerhafter Stator beziehungsweise Rotor resultieren würde.

Zudem würde für die nachbearbeitete Schweißverbindung eine deutlich andere Form, insbesondere eine deutlich andere Länge in Axialrichtung des Rotors beziehungsweise des Stators, resultieren als für nicht nachbearbeitete Schweißverbindungen, was für nachfolgende Schritte, beispielsweise für die Isolation der Schweißverbindungen, nachteilig sein kann.

Daher wird erfindungsgemäß ein unterschiedliches Verbindungsverfahren, insbesondere ein zweites Schweißverfahren, genutzt, um die vorangehend getrennten Leiterabschnitte erneut zu verbinden. Hierdurch können die vorangehend genannten Probleme vermieden oder zumindest ihre Auswirkungen reduziert werden. Geeignete Verbindungsverfahren werden später noch diskutiert.

Die Leiterabschnitte können insbesondere klammerförmig sein, also z. B. durch zwei durch eine jeweilige Nut des Wicklungsträgers geführte Nutab-

schnitte und einen diese verbindenden Verbindungsabschnitt gebildet sein. Entsprechende klammerförmige Leiterabschnitte, auch Hairpins genannt, sind in Hairpin-Wicklungen üblich und bekannt. Es können jedoch auch anders geformte Leiterabschnitte, beispielsweise lineare Leiterabschnitte, auch I-Pins genannt, genutzt werden.

Schweißverbindungen können aus verschiedenen Gründen fehlerhaft sein. Beispielsweise können Lunker oder Poren, das heißt Luftporen, auftreten. Bei diesen Fehlern wird der Kupferquerschnitt an der Schweißstelle reduziert, wodurch die Lebenszeit des Rotors beziehungsweise Stators reduziert sein kann, da lokal höhere thermische Belastungen auftreten. Zudem können mechanische Belastungen aufgrund des resultierenden geringeren Verbindungsquerschnitts zu einem Brechen der Verbindung im Betrieb des Rotors bzw. Stators führen. Wird beim Schweißen zu viel Energie eingebracht, kann die Isolation des jeweiligen Leiterabschnitts beschädigt werden, was wiederum zu einer Reduktion der Lebenszeit des Rotors beziehungsweise Stators führen kann. Problematisch kann jedoch auch eine zu geringe eingebrachte Schweißenergie sein, da dies zu einer unzulänglichen Verschweißung der Leiterabschnitte führt, wodurch lokal ein höherer Widerstand und somit wiederum die bereits obig diskutierte höhere thermische Belastung auftreten kann, die die Lebenszeit des Rotors beziehungsweise Stators reduzieren kann. Eine solche unzulängliche Verschweißung kann zudem bei mechanischen Belastungen im Betrieb leichter brechen. Ein weiterer möglicher Fehler ist die Ausprägung einer geometrisch schlecht geformten Schweißstelle, also z.B. von Schweißstellen mit einem seitlichen Überhang, scharfen Kanten oder eingesunkenen Perlen. Dies kann z.B. zu Problemen bei einem nachfolgenden Dipping-Prozess führen.

Ansätze zur Erkennung entsprechender fehlerhafter Schweißverbindungen sind prinzipiell bekannt und werden bereits genutzt, um fehlerhaft verschweißte Rotoren beziehungsweise Statoren auszusondern beziehungsweise einer anderweitigen Nachbearbeitung zuzuführen. Hierbei kann beispielsweise eine optische Inspektion genutzt werden, die manuell und/oder automatisiert durchgeführt werden kann. Beispielsweise können Algorithmen

zur Bilderkennung genutzt werden oder Ähnliches. Ergänzend oder alternativ können beispielsweise Leiterfähigkeitsmessungen durchgeführt werden, um lokal erhöhte Widerstände zu erkennen, es kann eine Untersuchung durch bildgebende Röntgenverfahren, insbesondere durch ein CT-Verfahren, erfolgen oder Ähnliches.

Als das Verbindungsverfahren kann ein Verbindungsverfahren verwendet werden, das zusätzliches Material auf die zu verschweißenden Leiterabschnitte aufbringt. Hierdurch kann insbesondere erreicht werden, dass die resultierende Verbindung auch dann, wenn das Trennen der fehlerhaften Schweißverbindung durch Kürzen der Leiterabschnitte erfolgt, im Wesentlichen die gleiche Form und Länge aufweist wie andere, nicht nachbearbeitete Schweißverbindungen. Zudem können Verbindungsverfahren, die zusätzliches Material aufbringen, wie später noch erläutert werden wird, bei geringeren Temperaturen durchgeführt werden, beziehungsweise weniger Energie in die Leiterenden der Leiterabschnitte einbringen als Strahlschweißverfahren. Zudem bewegt sich der Ort, an dem die Energie eingetragen wird, mit zunehmenden Materialeintrag von einer Isolation des jeweiligen Leiterabschnitts weg. Diese beiden Faktoren können dazu beitragen, die bereits diskutierte Beschädigung der Isolation, die bei einer Nachverarbeitung beispielsweise durch Laserschweißen auftreten kann, zu vermeiden.

Nachteilig an Verbindungsverfahren, die zusätzliches Material aufbringen, ist es, dass diese typischerweise längere Prozesszeiten erfordern. Dies ist jedoch im Rahmen einer Nacharbeitslösung weniger relevant, so dass diese Verbindungsverfahren dennoch gut für die Nachbearbeitung geeignet sind.

Das Aufbringen von zusätzlichem Material kann bei Schweißverfahren dadurch erfolgen, dass die Schweißelektrode abgeschmolzen und zum Teil auf die Schweißstelle aufgebracht wird. Alternativ zu einem zweiten Schweißverfahren kann als das Verbindungsverfahren beispielsweise ein 3D-Druckverfahren genutzt werden, wie es in der bereits eingangs zitierten Druckschrift DE 10 2018 200 035 A1 offenbart ist.

Das erste Schweißverfahren kann ein Strahlschweißverfahren sein. Beispielsweise kann ein Laserschweißen oder ein Elektronenstrahlschweißen verwendet werden. Im ersten Schweißprozess wird insbesondere ausschließlich Material der Leiterabschnitte genutzt, das aufgeschmolzen wird, um diese zu verbinden. Vorteilhaft an Strahlschweißverfahren sind die erreichbaren kurzen Prozesszeiten. Dies ist insbesondere relevant, da bei der Herstellung der Hairpin-Wicklung eine Vielzahl von Schweißverbindungen hergestellt werden sollen.

Als das Verbindungsverfahren kann ein Metallschutzgasschweißen verwendet werden. Hierbei kann, neben einem Hitzeeintrag durch den zum Schweißen verwendeten Lichtbogen, verwendetes Schutzgas Wärme auf die Leiterabschnitte übertragen. Es kann daher vorteilhaft sein, ein Herabströmen des Gases am Leiter in die isolierten Bereichen des jeweiligen Leiterabschnitts durch ein Werkzeug zu verhindern, das die zu verschweißenden Enden der Leiterabschnitte beispielsweise manschettenartig umgreift.

Als das Verbindungsverfahren kann CMT-Schweißen oder Metall-Inertgasschweißen oder Metall-Aktivgasschweißen verwendet werden. Metall-Inertgasschweißen und Metall-Aktivgasschweißen sind wohlbekannte Schweißprozesse, bei denen die Elektrode teilweise abgeschmolzen wird und einen Teil der Schweißstelle bildet. Diese Schweißverfahren werden zusammenfassend zum Teil auch als Mig/Mag-Schweißen bezeichnet.

CMT-Schweißen ist ebenfalls ein Metallschutzgasschweißverfahren. Die Bezeichnung CMT-Schweißen leitet sich von dem englischen Ausdruck „cold metal transfer“ ab. Bei diesem Schweißverfahren handelt es sich um eine Weiterentwicklung des Mig/Mag-Schweißens, bei der der Schweißdraht mit hoher Frequenz vor- und zurückbewegt wird. Hierdurch wird die Tropfenablösung von der Elektrode verbessert und es kann ein geringerer Temperatureintrag in die zu verschweißenden Leiterabschnitte erreicht werden. Hierdurch kann beispielsweise eine abisolierte Länge der Leiterenden von 5 bis 6 mm ausreichend sein, um die Leiterenden ohne eine Beschädigung der Iso-

lation zu verschweißen. Übliche Laserschweißprozesse benötigen eine abisolierte Länge von ca. 10 mm.

5 Die fehlerhafte Schweißverbindung kann getrennt werden, indem ein die fehlerhafte Schweißverbindung umfassender Bereich von den zu verbindenden Leiterabschnitten abgetrennt wird. Dies wird auch als Ablängen bezeichnet und kann beispielsweise durch ein Abschneiden der Leiterenden der Leiterabschnitte implementiert werden. Hierdurch wird eine definierte Oberfläche für das Verbindungsverfahren bereitgestellt.

10

Durch das zweite Verbindungsverfahren kann ein Volumen des zusätzlichen Materials aufgebracht werden, das zwischen 50% und 200% oder zwischen 80% und 120% des Volumens des abgetrennten Bereichs liegt. Durch das Aufbringen ungefähr des gleichen Materialvolumens wie des Materialvolumens, das abgetrennt wurde, kann eine ähnliche Form der nachbearbeiteten Schweißverbindung erreicht werden, wie sie auch die nicht nachbearbeiteten Schweißverbindungen aufweisen, was für nachfolgende Verarbeitungsschritte, beispielsweise Isolationsprozesse, vorteilhaft sein kann.

20 Zumindest die Schweißverbindungen der Wicklung können nach dem Verbinden der zu verbindenden Leiterabschnitte in Axialrichtung des Rotors oder des Stators in ein Isoliermittelbad eingetaucht werden. Beispielsweise kann ein Eintauchen in Harz oder Pulverlack erfolgen. Um eine gleichmäßige Isolierung zu erreichen, ist es vorteilhaft, wenn die Leiterenden der Leiterabschnitte beziehungsweise die Schweißverbindungen ungefähr gleich weit über den Wicklungsträger hinausragen. Dies kann durch das vorangehend erläuterte Aufbringen von zusätzlichem Material mit ungefähr gleichem Volumen wie der abgetrennte Bereich erreicht werden.

30 Das Bereitstellen der auf einen Wicklungsträger aufgebrachten Hairpin-Wicklung kann die folgenden Schritte umfassen:

- Bereitstellen eines Wicklungsträgers und mehrerer klammerförmiger Leiterabschnitte,

- Axiales Einschieben der Leiterabschnitte in den Wicklungsträger derart, dass zwei Nutabschnitte jedes Leiterabschnitts in einer jeweiligen Nut des Wicklungsträgers verlaufen,
- Biegen der freien Enden der Nutabschnitte in eine jeweilige Richtung in Umfangsrichtung des Wicklungsträgers,
- Verbinden eines jeweiligen freien Endes mit einem freien Ende eines jeweiligen weiteren Leiterabschnitts durch ein erstes Schweißverfahren zur Ausbildung wenigstens eines Leiters, wobei wenigstens eine der Schweißverbindungen eine fehlerhafte Schweißverbindung ist.

10

Anders ausgedrückt können die an sich bekannten Schritte zur Herstellung einer Hairpin-Wicklung eines Rotors oder Stators auch Teil des erfindungsgemäßen Verfahrens sein, so dass das erfindungsgemäße Verfahren eine fehlerbehaftete Herstellung der Hairpin-Wicklung und die anschließende Nachbearbeitung umfassen kann.

15

Weitere Vorteile und Einzelheiten der Erfindung ergeben sich aus den folgenden Ausführungsbeispielen sowie den zugehörigen Zeichnungen. Hierbei zeigen schematisch:

20

Fig. 1 eine geschnittene Detailansicht einer Hairpin-Wicklung für einen Rotor oder Stator einer elektrischen Maschine, und

25

Fig. 2 den Zustand einer nachzubearbeitenden Schweißverbindung in verschiedenen Schritten eines Ausführungsbeispiels des erfindungsgemäßen Verfahrens.

30

Fig. 1 zeigt eine Detailansicht eines Stators 1 einer elektrischen Maschine. Der Stator 1 umfasst einen Wicklungsträger 2 mit mehreren Nuten 15, der mehrere durchgehende Leiter 3, 4 einer Hairpin-Wicklung trägt. Die Leiter 3, 4 können beispielsweise Wicklungen für verschiedene Phasen bilden oder parallel geschaltete Wicklungen einer Phase sein. Aus Übersichtlichkeitsgründen sind in Fig. 1 nur zwei solche Leiter 3, 4 dargestellt, wobei in realen

elektrischen Maschinen ein oder mehrere Leiter 3, 4 für typischerweise drei Phasen genutzt werden.

Die durch die Leiter 3, 4 gebildeten Windungen sind durch ein Verfahren
5 hergestellt, bei dem der Wicklungsträger 2 sowie eine Vielzahl von klammer-
förmigen Leiterabschnitten 5 bereitgestellt werden, wonach die Leiterab-
schnitte korb förmig angeordnet werden und derart axiale in den Wicklungs-
träger 2 eingeschoben werden, dass zwei Nutabschnitte 6, 7 jedes Leiterab-
schnitts 5 in einer jeweiligen Nut 15 des Wicklungsträgers verlaufen, wobei
10 die Nutabschnitte 6, 7 durch einen Verbindungsabschnitt 8 verbunden sind.
Die freien Enden 9 bis 12 der Nutabschnitte 6, 7 beziehungsweise der Lei-
terabschnitte 5 werden auf die in Fig. 1 dargestellte Weise gebogen, so dass
jeweils zwei freie Enden 10, 11 beziehungsweise 9, 12 unmittelbar benach-
bart zueinander zum Liegen kommen. Dies wird auch als Twisten bezeich-
15 net. Die freien Enden 10, 11 und 9, 12 werden anschließend durch ein erstes
Schweißverfahren, beispielsweise Laserschweißen oder ein anderes Strahl-
schweißverfahren, verschweißt, um jeweilige Schweißverbindungen 13, 14
herzustellen.

20 Bei dem beschriebenen Vorgehen werden eine Vielzahl von Schweißverbin-
dungen 13, 14 zwischen verschiedenen Leiterabschnitten 5 hergestellt, bei-
spielsweise über 200 Schweißverbindungen, so dass selbst bei einer relativ
geringen Fehlerrate des Schweißprozesses von beispielsweise 0,1% ein re-
lativ hoher Anteil von fehlerbehafteten Statoren resultiert, bei denen wenig-
25stens eine der Schweißverbindungen 13, 14 fehlerhaft ist.

Fehlerhafte Schweißstellen 13, 14 können beispielsweise durch eine manu-
elle oder automatische Inspektion erkannt werden. Im Folgenden wird davon
ausgegangen, dass die Schweißverbindung 13 fehlerbehaftet ist. Für die
30 Schweißverbindung 13 wird somit anschließend ein Verfahren zur Nachbe-
arbeitung dieser Schweißverbindung 13 durchgeführt, das im Folgenden mit
Bezug auf Fig. 2 näher erläutert wird.

Hierbei wird im Schritt S1 zunächst die auf den Wicklungsträger 2 aufgebrachte Hairpin-Wicklung bereitgestellt, wie vorangehend erläutert wurde. Nach einer Erkennung der fehlerhaften Schweißverbindung 13 wird in Schritt S2 ein die fehlerhafte Schweißverbindung 13 umfassender Bereich 15 von den zu verbindenden Leiterabschnitten 5 beziehungsweise von den freien Enden 10, 11 abgetrennt, beispielsweise durch einen Schneideprozess.

Wie in Fig. 2 zu erkennen ist, wird hierdurch die abisolierte Länge 16 der Leiterenden auf eine kürzere abisolierte Länge 17 reduziert. Würde nun zur erneuten Verbindung der Leiterabschnitte 5 beziehungsweise der freien Enden 10, 11 wiederum ein Strahlschweißverfahren genutzt, würde hieraus einerseits potentiell ein großer Wärmeeintrag im Bereich der Isolation resultieren, wodurch diese beschädigt werden kann. Andererseits wäre die Schweißverbindung 13 nach einer solchen Nachbearbeitung erheblich kürzer als die nicht nachbearbeiteten Schweißverbindungen 14, was beispielsweise nachteilig wäre, wenn die Schweißverbindungen 13, 14 nach dem Verbinden in ein Isoliermittelbad eingetaucht werden, da in diesem Fall die nachbearbeiteten Schweißverbindungen 13 unter Umständen nicht zuverlässig isoliert werden.

Daher wird im Schritt S3 ein von dem ersten Schweißverfahren unterschiedliches Verbindungsverfahren, also insbesondere kein Strahlschweißverfahren, verwendet, um die Leiterabschnitte 5 beziehungsweise ihre freien Enden 10, 11 erneut zu verbinden. Um die obig erläuterten Nachteile zu vermeiden, wird hierbei ein Verbindungsverfahren verwendet, das zusätzliches Material 18 auf die zu verschweißenden Leiterabschnitte 5 beziehungsweise ihre freien Enden 10, 11 aufbringt. Als Verbindungsverfahren kann ein Metallschutzgasschweißen verwendet werden, bei dem die Schweißelektrode zum Teil aufgeschmolzen wird und einen Teil der Schweißverbindung bildet. Besonders vorteilhaft kann CMT-Schweißen verwendet werden, da in diesem Fall ein besonders geringer Wärmeeintrag erfolgt und somit eine Beschädigung der Isolation der Leiterabschnitte 5 besonders zuverlässig vermieden werden kann.

Vorzugsweise wird in dem Verbindungsverfahren ein Volumen von zusätzlichem Material 18 aufgebracht, das im Wesentlichen dem Volumen des abgetrennten Bereichs 15 entspricht, so dass, wie sich in Fig. 2 aus einem Vergleich des Zustands in Schritt S1 und dem Zustand nach Schritt S3 ergibt, insgesamt eine zumindest ähnliche Form der Schweißverbindung 13 resultiert, wie vor der Nachbearbeitung. Insbesondere kann die abisolierte Länge 16 beziehungsweise die Länge, mit der die Schweißverbindung 13 über den Wicklungsträger 2 hinausragt, nach einer solchen Nachbearbeitung im Wesentlichen den entsprechenden Längen für andere Schweißverbindungen 14 entsprechen, für die keine Nachverarbeitung erfolgt ist.

Nach der Nachbearbeitung aller fehlerbehafteten Schweißverbindungen 13 können Verschaltbrücken aufgesetzt werden und/oder die Schweißverbindungen 13, 14 können isoliert werden, beispielsweise indem die Schweißverbindungen in Axialrichtung des Rotors beziehungsweise Stators in ein Isoliermittelbad eingetaucht werden, um die Herstellung des Rotors beziehungsweise Stators abzuschließen.

PATENTANSPRÜCHE:

1. Verfahren zur Nachbearbeitung einer fehlerhaften Schweißverbindung (13, 14) einer Hairpin-Wicklung für einen Rotor oder Stator (1) einer elektrischen Maschine, umfassend die Schritte:
- 5
- Bereitstellen der auf einen Wicklungsträger (2) aufgebrachten Hairpin-Wicklung, wobei die Hairpin-Wicklung wenigstens einen aus mehreren Leiterabschnitten (5) gebildeten Leiter (3, 4) aufweist, wobei die Leiterabschnitte (5) des jeweiligen Leiters (3, 4) paarweise an

10

 - einer jeweiligen Schweißverbindung (13, 14) durch ein erstes Schweißverfahren verschweißt sind, wobei wenigstens eine der Schweißverbindungen (13, 14) eine fehlerhafte Schweißverbindung (13) ist,
 - Trennen der fehlerhaften Schweißverbindung (13), und

15

 - Verbinden der vorangehend durch die fehlerhafte Schweißverbindung (13) verbundenen, zu verschweißenden Leiterabschnitte (5) durch ein von dem ersten Schweißverfahren unterschiedliches Verbindungsverfahren, insbesondere durch ein zweites Schweißverfahren.

20
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass als das Verbindungsverfahren ein Verbindungsverfahren verwendet wird, das zusätzliches Material (18) auf die zu verschweißenden
- 25
- Leiterabschnitte (5) aufbringt und/oder dass das erste Schweißverfahren ein Strahlschweißverfahren ist.
3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass als das Verbindungsverfahren ein Metallschutzgasschweißen verwendet wird.
- 30
4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, dass als das Verbindungsverfahren CMT-Schweißen oder Metall-Inertgasschweißen oder Metall-Aktivgasschweißens verwendet wird.

5. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die fehlerhaften Schweißverbindung (13) getrennt wird, indem ein die fehlerhafte Schweißverbindung (13) umfassender Bereich (15) von den zu verbindenden Leiterabschnitten (5) abgetrennt wird.
6. Verfahren nach Anspruch 5 und einem der Ansprüche 2 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass durch das Verbindungsverfahren ein Volumen des zusätzlichen Materials (18) aufgebracht wird, dass zwischen 50% und 200 % oder zwischen 80% und 120% des Volumens des abgetrennten Bereichs (15) liegt.
7. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest die Schweißverbindungen (13, 14) der Wicklung nach dem Verbinden der zu verbindenden Leiterabschnitte (5) in Axialrichtung des Rotors oder Stators (1) in ein Isolationsmittelbad eingetaucht werden.
8. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei das Bereitstellen der auf einen Wicklungsträger (2) aufgebrachten Hairpin-Wicklung die folgenden Schritte umfasst:
- Bereitstellen eines Wicklungsträgers (2) und mehrerer klammerförmiger Leiterabschnitte (5),
 - Axiales Einschleiben der Leiterabschnitte (5) in den Wicklungsträger (2) derart, dass zwei Nutabschnitte (6, 7) jedes Leiterabschnitts (5) in einer jeweiligen Nut (15) des Wicklungsträgers (2) verlaufen,
 - Biegen der freien Enden (9 - 12) der Nutabschnitte (6, 7) in eine jeweilige Richtung in Umfangsrichtung des Wicklungsträgers (2),
 - Verbinden eines jeweiligen freien Endes (9 - 12) mit einem freien Ende (9 - 12) eines jeweiligen weiteren Leiterabschnitts (5) durch ein erstes Schweißverfahren zur Ausbildung wenigstens eines Leiters (3, 4), wobei wenigstens eine der Schweißverbindungen (13, 14) eine fehlerhafte Schweißverbindung (13) ist.

FIG. 1

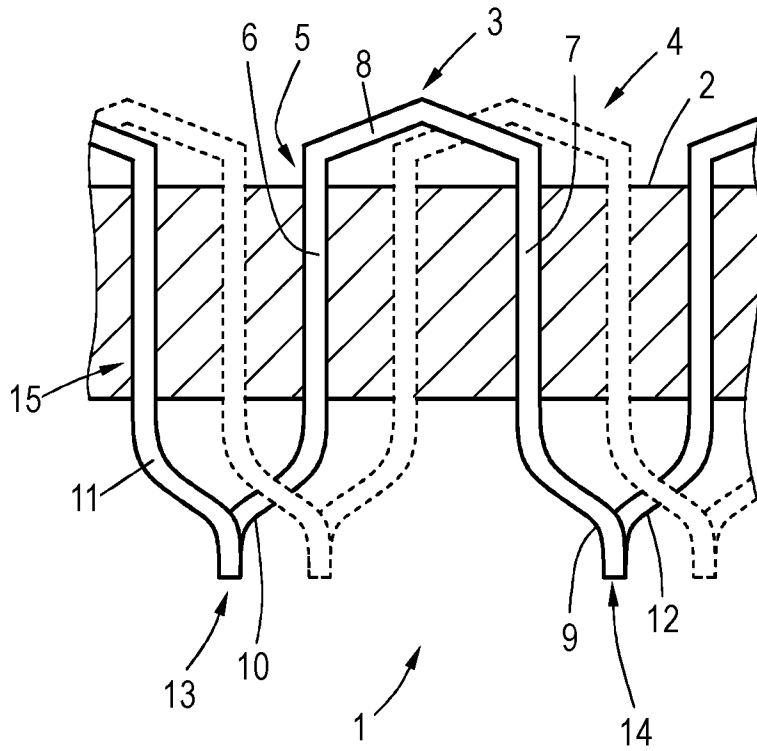
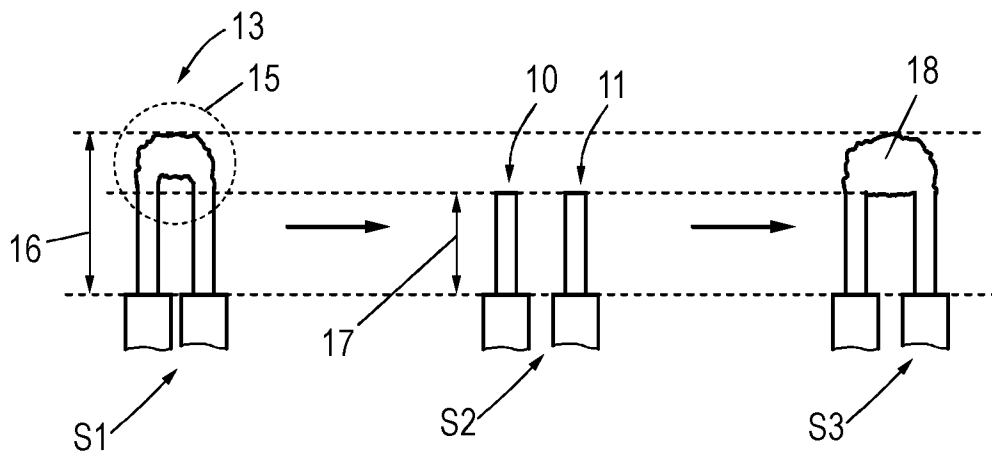


FIG. 2



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2021/062566

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER <i>H02K 15/00</i> (2006.01)i; <i>B23K 31/12</i> (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) H02K; B23K		
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.
A	US 2013075371 A1 (DE SOUZA URBAN J [US] ET AL) 28 March 2013 (2013-03-28) paragraphs [0083], [0085]; figures 4,6A, 6B,7,8	1-8
A	US 2019210158 A1 (KAMIYAMA MASAHIKO [JP] ET AL) 11 July 2019 (2019-07-11) abstract; figures 1-8 paragraph [0038] - paragraph [0040]	1-8
A	US 2015202708 A1 (AOKI TAKEHIRO [JP] ET AL) 23 July 2015 (2015-07-23) paragraph [0011] - paragraph [0012]; figures 1,2	1-8
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> 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 05 August 2021		Date of mailing of the international search report 07 September 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 Contreras Sampayo, J Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/EP2021/062566

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
US	2013075371	A1	28 March 2013	CN	103018277	A	03 April 2013
				DE	102012216624	A1	28 March 2013
				US	2013075371	A1	28 March 2013

US	2019210158	A1	11 July 2019	CN	110018160	A	16 July 2019
				JP	6606202	B2	13 November 2019
				JP	2019120650	A	22 July 2019
				US	2019210158	A1	11 July 2019

US	2015202708	A1	23 July 2015	CN	104792785	A	22 July 2015
				JP	5866673	B2	17 February 2016
				JP	2015137943	A	30 July 2015
				US	2015202708	A1	23 July 2015

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES INV. H02K15/00 B23K31/12 ADD.		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
B. RECHERCHIERTE GEBIETE Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole) H02K B23K		
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.
A	US 2013/075371 A1 (DE SOUZA URBAN J [US] ET AL) 28. März 2013 (2013-03-28) Absätze [0083], [0085]; Abbildungen 4,6A, 6B,7,8 -----	1-8
A	US 2019/210158 A1 (KAMIYAMA MASAHIKO [JP] ET AL) 11. Juli 2019 (2019-07-11) Zusammenfassung; Abbildungen 1-8 Absatz [0038] - Absatz [0040] -----	1-8
A	US 2015/202708 A1 (AOKI TAKEHIRO [JP] ET AL) 23. Juli 2015 (2015-07-23) Absatz [0011] - Absatz [0012]; Abbildungen 1,2 -----	1-8
<input 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		Absenddatum des internationalen Recherchenberichts
5. August 2021		07/09/2021
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 Contreras Sampayo, J

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2021/062566

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2013075371 A1	28-03-2013	CN 103018277 A	03-04-2013
		DE 102012216624 A1	28-03-2013
		US 2013075371 A1	28-03-2013

US 2019210158 A1	11-07-2019	CN 110018160 A	16-07-2019
		JP 6606202 B2	13-11-2019
		JP 2019120650 A	22-07-2019
		US 2019210158 A1	11-07-2019

US 2015202708 A1	23-07-2015	CN 104792785 A	22-07-2015
		JP 5866673 B2	17-02-2016
		JP 2015137943 A	30-07-2015
		US 2015202708 A1	23-07-2015
