

(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
19. Januar 2023 (19.01.2023)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2023/285147 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

H01F 5/06 (2006.01) H02K 9/00 (2006.01)
H02K 3/22 (2006.01) B33Y 80/00 (2015.01)
H02K 3/24 (2006.01) H01F 27/28 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2022/067947

(22) Internationales Anmeldedatum:
29. Juni 2022 (29.06.2022)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2021 118 450.9
16. Juli 2021 (16.07.2021) DE

(71) Anmelder: **ROLLS-ROYCE DEUTSCHLAND LTD & CO KG** [DE/DE]; Eschenweg 11, OT Dahlewitz, 15827 Blankenfelde-Mahlow (DE).

(72) Erfinder: **LESSMANN, Marc**; c/o Rolls-Royce Deutschland Ltd & Co KG, Eschenweg 11, 15827 Blankenfelde-Mahlow (DE). **GRÖPPEL, Peter**; c/o Rolls-Royce Deutschland Ltd & Co KG, Eschenweg 11, 15827 Blankenfelde-Mahlow (DE). **GLEIXNER, Thomas**; c/o Rolls-Royce Deutschland Ltd & Co KG, Eschenweg 11, 15827

Blankenfelde-Mahlow (DE). **THUMMET, Martin**; c/o Rolls-Royce Deutschland Ltd & Co KG, Eschenweg 11, 15827 Blankenfelde-Mahlow (DE). **WILD, Markus**; c/o Rolls-Royce Deutschland Ltd & Co KG, Eschenweg 11, 15827 Blankenfelde-Mahlow (DE). **FJELLANGER, Viljar**; c/o Rolls-Royce Deutschland Ltd & Co KG, Eschenweg 11, 15827 Blankenfelde-Mahlow (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, IQ, IR, IS, IT, JM, 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,

(54) Title: COIL

(54) Bezeichnung: SPULE

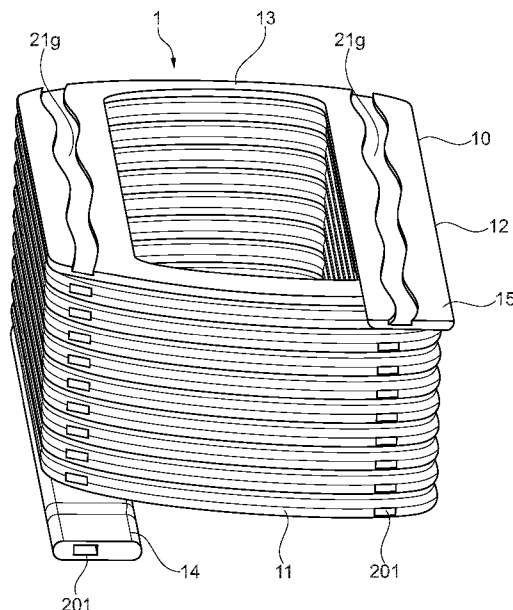


Fig. 9

(57) Abstract: The invention relates to a coil (1) comprising a winding wire (10) that is provided with an insulation and is wound onto a winding core (103) by a plurality of turns (11). According to the invention, the winding wire (10) forms a plurality of separate cooling ducts (21, 22, 23) which are each in the form of an inner conductor and each have a separate coolant inlet (201) and a separate coolant outlet (202).

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft eine Spule (1), die einen mit einer Isolierung versehenen Wickeldraht (10) aufweist, der mit einer Mehrzahl von Spulenwindungen (11) auf einen Wickelkern (103) gewickelt ist. Es ist vorgesehen, dass der Wickeldraht (10) eine Mehrzahl von gesonderten Kühlkanälen (21, 22, 23) ausbildet, die jeweils als Innenleiter ausgebildet sind und die jeweils einen gesonderten Kühlmiteileingang (201) und einen gesonderten Kühlmittelausgang (202) aufweisen.

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)
- vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eingehen (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe h)

5

Rolls-Royce Deutschland Ltd & Co KG
Eschenweg 11, OT Dahlewitz
15827 Blankenfelde-Mahlow

10

RLL252

15

20

Spule

Beschreibung

25

Die Erfindung betrifft eine Spule gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1.

30

Es besteht ein Bedarf, Elektromotoren im Hinblick auf die Zielgrößen Effizienz, Leistungsgewicht, Zuverlässigkeit und Lebensdauer zu verbessern, wobei die Zielgrößen teilweise miteinander in Konflikt stehen. In besonderem Maße besteht ein solcher Bedarf bei Anwendungen in der Luftfahrtindustrie, in der die Zukunft der Elektrifizierung von Flugzeugen maßgeblich von der Leistungsdichte der einzusetzenden Motoren und Generatoren abhängt. Die Erhöhung der Dauerleistungsdichte (d.h. die Leistung im Dauerbetrieb bei konstanter Belastung, sogenannter S1-Betrieb) von Elektromotoren ist dabei maßgeblich durch den Strom, mit dem der Elektromotor betrieben werden kann, limitiert. Dieser wird einerseits durch die Leiterdichte und den damit verbundenen Kupferfüllfaktor und andererseits durch die Kühlung beeinflusst, weil die Kühlung bestimmt, welche Verluste maximal möglich sind.

35

40

Die Spulen von Hochleistungs-Elektromotoren sind aus isolierten Kupferleitern gewickelt. Für eine effektive Kühlung der Spulen ist eine sogenannte Direktleiterkühlung bekannt, bei der die Kühlflüssigkeit direkt in Kontakt mit dem stromführenden Leiter tritt. Des

Weiteren ist eine Hohlleiterkühlung von Spulen bekannt. Dabei erfolgt die Kühlung über ein Kühlmittel, das im Inneren des Leiters transportiert wird: Der zur Spule gewickelte Draht ist innen hohl und wird über seine Länge mit dem Kühlmittel durchströmt, wodurch die Spule aktiv gekühlt wird.

5

Eine Hohlleiterkühlung ist allerdings aufwendig in ihrer technischen Realisierung. So ist die Herstellung eines Hohlleiters zeit- und kostenaufwendig, wobei sicherzustellen ist, dass der Hohlleiter durch den Wickelprozess zu einer Spule nicht in seinen Transporteigenschaften, z.B. durch Reduktion des Innenquerschnittes des Fließkanals, negativ beeinflusst wird. Auch ist der Anschluss derartiger Leiter vergleichsweise aufwendig, da diese gleichzeitig mit der Flüssigkeit und der elektrischen Spannung zu kontaktieren sind.

10

Es liegt somit eine Situation vor, in der der maximale Strom und damit die maximale Leistung der Maschine thermisch begrenzt sind. Je effektiver die Kühlung ist, desto höher ist der maximale Strom, der eine Spule durchfließen kann.

15

Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Spule bereitzustellen, die in effektiver Weise eine Kühlung ermöglicht.

20

Diese Aufgabe wird durch eine Spule mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Ausgestaltungen der Erfindung sind in den abhängigen Ansprüchen angegeben.

Danach stellt die vorliegende Erfindung eine Spule bereit, die einen mit einer Isolierung versehenen Wickeldraht aufweist. Der Wickeldraht ist mit einer Mehrzahl von Spulenwindungen auf einen Wickelkern gewickelt. Es ist vorgesehen, dass der Wickeldraht eine Mehrzahl von gesonderten Kühlkanälen ausbildet, die jeweils als Innenleiter ausgebildet sind und die jeweils einen gesonderten Kühlmiteleingang und einen gesonderten Kühlmittelausgang aufweisen.

25

30

Die Ausbildung der Kühlkanäle als Innenleiter bedeutet dabei, dass die Kühlkanäle jeweils in dem Sinn geschlossen sind, als das Kühlmedium zwischen dem Kühlmiteleingang und dem Kühlmittelausgang nicht seitlich entweichen kann. Insofern stellt die vorliegende Erfindung eine Hohlleiterkühlung bereit. Die Kühlkanäle können dabei abschnittsweise im Wickeldraht oder zwischen parallelen verlaufenden Abschnitten des Wickeldrahts ausgebildet sein.

35

Die Erfindung beruht auf dem Gedanken, die Kühlung einer Spule durch eine Mehrzahl von als Innenleiter ausgebildeten Kühlkanälen bereitzustellen. Hierdurch kann die Effektivität der Kühlung deutlich gesteigert werden, da die Kühlflüssigkeit nicht die gesamte Spule durchläuft, sondern einzelne Abschnitte und Windungen der Spule gesondert gekühlt werden. Bei gleichem Druckverlust kann daher ein höherer Flüssigkeitsstrom eingesetzt werden. Dabei kann die Kühlung effizient direkt im Bereich der Entstehung der Verlustleistung erfolgen. Es wird ein großer Designfreiraum zur Verfügung gestellt, der insbesondere für die Potentiale der 3D-Drucktechnologie entsprechend der jeweiligen Anforderungen maßgeschneidert werden kann.

Mit der erfindungsgemäßen Lösung sind eine Mehrzahl von Vorteilen verbunden. Hierzu zählen:

- ein kompakter und effizienter Aufbau der Spule, da durch die erfindungsgemäße Innenleiterkühlung der Mindestabstand zweier Spulen zueinander reduziert werden kann und die aufwendige Fertigung von über ihre gesamte Länge als Hohlleiter ausgebildeten Wickeldrähten entfällt;
- eine Leistungssteigerung durch eine effiziente Kühlung, da die Abführung der Verlustwärme der leistungsbegrenzende Faktor ist und eine mehrfache Ausführung von Kühlkanälen besonders effizient und leistungstark ist;
- eine Kostenreduktion durch ein vereinfachtes Kühldesign, da eine aufwendige Konstruktion und Flussführung bei über ihre gesamte Länge als Hohlleiter ausgebildeten Wickeldrähten zugunsten einer einfachen, kanalbasierten Kühlung ersetzt wird, welche insbesondere durch 3D-Drucktechnologien nachhaltig umgesetzt werden kann;
- eine Reduktion von elektromagnetischen Verlusten in hochfrequent spannungsbeaufschlagten Leitern, da durch die Innenhohlräume das Verhältnis aus Leiteroberfläche zu Leiterquerschnitt in der Form beeinflusst werden kann, dass die Stromverdrängung in das Leiterinnere reduziert wird;
- eine Separierung des bei einer Hohlleiterkühlung notwendigen Kühlmittelanschlusses und Spannungsanschlusses im Bereich des Spulenansfangs- bzw. -endes, da die Spule über eine Mehrzahl von Kühlmittleingängen einzeln und an anderer Stelle als der Spannungsanschluss mit dem Kühlkreislauf verbindbar ist.

Die erfindungsgemäße Lösung verbessert die Kühlung und ermöglicht damit einen erhöhten Wärmetransport. Dies bedeutet, dass eine elektrische Maschine, in der erfindungsgemäße Spulen zum Einsatz kommen, entweder bei einem höheren Strom (mit besserer Leistungsdichte) oder einer niedrigeren Temperatur (mit höherer Sicherheit und einem besseren Wirkungsgrad) betrieben werden kann.

Eine Ausgestaltung der Erfindung sieht vor, dass die Kühlkanäle in paralleler Anordnung in der Spule ausgebildet sind. Dabei sind die Kühlkanäle in oder zwischen parallel verlaufenden Abschnitten des Wickeldrahts ausgebildet.

5

Eine Ausgestaltung der Erfindung sieht vor, dass die Kühlkanäle in Längsrichtung des Wickeldrahts ausgebildet sind. Hierbei handelt es sich um eine von zwei grundsätzlichen Konfigurationen der vorliegenden Erfindung. Bei der anderen grundsätzlichen Konfiguration verlaufen die Kühlkanäle quer zu den Windungen des Wickeldrahts, wie

10

Bei Ausbildung der Kühlkanäle in Längsrichtung des Wickeldrahts sieht eine Ausgestaltung vor, dass die Spule je Spulenwindung zwei geradlinig verlaufende Längsabschnitte und zwei weitere Abschnitte bildet. Bei den weiteren Abschnitten

15

handelt es sich beispielsweise um abgerundete Abschnitte, in denen der Wickeldraht um 180° um den Wickelkern herum gelegt wird. Die weiteren Abschnitte können jedoch auch geradlinig ausgebildete Abschnitte sein, insbesondere wenn die Spule im 3D-Druck hergestellt wird, der solche geradlinig ausgebildeten Verbindungsabschnitte erlaubt. Es ist vorgesehen, dass ein gesonderter Kühlkanal jeweils in oder an einem geradlinig

20

Diese Ausgestaltung erlaubt es insbesondere, dass je Spulenwindung in oder an beiden Längsabschnitten jeweils ein gesonderter Kühlkanal ausgebildet ist, oder dass je Spulenwindung zumindest einer der Längsabschnitte mit einem Kühlkanal ausgebildet

25

ist. Dies erlaubt es, jede Spulenwindung der Spule gesondert und in gewünschter Weise zu kühlen.

Die Kühlkanäle sind gemäß einer Ausgestaltung der Erfindung als Hohlkanäle im Inneren des Wickeldrahts ausgebildet. Dabei erstrecken sich die Hohlkanäle jeweils nur über

30

einen Abschnitt des Wickeldrahts, insbesondere entlang den Längsabschnitten der jeweiligen Spulenwindung. Die Ausbildung eines Hohlkanals über die gesamte Länge des Wickeldrahts ist dagegen nicht vorgesehen. Eine solche Ausgestaltung der Kühlkanäle ermöglicht in effektiver Weise eine abschnittsweise Innenkühlung des Wickeldrahts. Dabei ist es möglich, die Kühlkanäle ohne eine zusätzliche elektrische Innenisolation der

35

Kanalwände auszubilden. Lediglich die Enden der Kühlkanäle sind ggf. elektrisch zu isolieren, wie noch ausgeführt wird. Auch wird ein einfacher und zuverlässiger Anschluss eines Kühlmediums ermöglicht.

Gemäß einer alternativen Ausgestaltung werden die Kühlkanäle nicht als Hohlkanäle, sondern jeweils zwischen zwei benachbarten Spulenwindungen ausgebildet. Dabei ist vorgesehen, dass der Wickeldraht entlang des Abschnitts, in dem er einen Kühlkanal ausbildet, eine längliche Vertiefung aufweist, die zusammen mit einer entsprechenden

5 länglichen Vertiefung der benachbarten Spulenwindung den Kühlkanal bildet. Beispielsweise sind die beiden Vertiefungen jeweils im Querschnitt halbkreisförmig ausgebildet und bilden zusammen einen Kühlkanal mit einem kreisförmigen Querschnitt. Eine solche Ausgestaltung erlaubt in einfacher Weise die Bereitstellung der Kühlkanäle durch die Ausbildung von Vertiefungen im Wickeldraht. Eine elektrische Isolation der

10 Kanalwände, die bei dieser Ausgestaltung erforderlich ist, kann im Rahmen der Isolierung der Windungen mittels Lack- oder Pulverlackbeschichtung erfolgen.

Gemäß einer alternativen Grundkonfiguration der vorliegenden Erfindung verlaufen die Kühlkanäle nicht in Längsrichtung des Wickeldrahts, sondern quer zu den Windungen

15 des Wickeldrahts. Dabei durchgreifen die Kühlkanäle jeweils eine Mehrzahl von Spulenwindungen in Querrichtung. Der Kühlmittleingang und der Kühlmittelausgang sind an einer Oberseite bzw. Unterseite der Spule ausgebildet, wobei die Oberseite durch eine oberste Windung der Spule und die Unterseite durch eine unterste Windung der Spule gebildet ist. Diese Ausgestaltung erlaubt in einfacher Weise eine Realisierung der

20 Kühlkanäle, beispielsweise mittels Bohrung. Dabei können die Kühlkanäle auch in Bereichen, die für eine Drehmomenterzeugung nebensächlich sind, beispielsweise im Bereich des Wickelkopfes realisiert werden. Durch eine relativ kurze Kanallänge kann bei entsprechender Anzahl der Kühlkanäle eine hocheffektive Kühlung bereitgestellt werden, da das Kühlmedium sich im Kühlkanal über die Länge des Kühlkanals nur in geringem

25 Umfang erwärmt und damit auch im Austrittsbereich des Kühlkanals als noch eine effiziente Kühlung bereitstellt.

Es kann weiter vorgesehen sein, dass die Spule je Spulenwindung zwei geradlinig verlaufende Längsabschnitte und zwei weitere Abschnitte bildet. Bei den weiteren

30 Abschnitten handelt es sich beispielsweise um abgerundete Abschnitte, in denen der Wickeldraht um 180° um den Wickelkern herum gelegt wird. Es ist vorgesehen, dass die Kühlkanäle in den geradlinig verlaufenden Längsabschnitten und/oder in den weiteren Abschnitten in Querrichtung verlaufen. Bei einem Verlauf der Kühlkanäle quer zu den Windungen des Wickeldrahts ist es somit möglich, die Kühlkanäle nur oder auch in den

35 typischerweise abgerundeten Abschnitten auszubilden.

Eine Ausgestaltung der Erfindung sieht vor, dass in den Längsabschnitten der jeweiligen Spulenwindung jeweils mehrere Kühlkanäle ausgebildet sind, d. h. je betrachtetem

Längsabschnitt mehr als ein Kühlkanal realisiert ist. Diese möglichst eine Steigerung der Kühlleistung und eine Optimierung des Kühlkanalquerschnitts. Die Kühlleistung kann an die Verlustleistung individueller Drähte in effektiver Weise angepasst werden, da bei höherer Verlustleistung eine größere Anzahl an Kühlkanälen zur Verfügung steht. So
5 können sich die Verluste pro Draht abhängig von der Drahtposition in signifikanter Weise unterscheiden.

Eine weitere Ausgestaltung sieht vor, dass der Innenquerschnitt der Kühlkanäle kreisförmig, quadratisch, polygonal oder oval ist, wobei der Querschnitt der Kühlkanäle
10 grundsätzlich beliebig gewählt sein kann. Durch die Wahl eines geeigneten Querschnitts des Kanals können die mechanischen Eigenschaften der Spule optimiert werden.

Ein bestimmter Innenquerschnitt des Kühlkanals muss dabei nicht in sämtlichen Kühlkanälen identisch ausgebildet sein. So sieht eine weitere Ausgestaltung vor, dass
15 zumindest einige der Kühlkanäle sich im Hinblick auf ihre Querschnittsfläche und/oder ihre Geometrie unterscheiden. Dabei kann auch vorgesehen sein, dass die Kühlkanäle größere und kleinere Innendurchmesser realisieren. Dies kann in Anpassung an die Spulengeometrie erfolgen. Eine unterschiedliche Geometrie und/oder ein unterschiedlicher Durchmesser der Kühlkanäle erlaubt eine weitere Anpassung der
20 Kühlleistung an die Verlustleistung, wobei beispielsweise in Bereichen, in denen die Verlustleistung besonders hoch ist, die Kühlkanäle mit einem größeren Querschnitt ausgebildet sind.

Eine weitere Ausgestaltung sieht vor, dass zumindest einige der Kühlkanäle entlang ihres
25 Verlaufs nicht geradlinig ausgeführt sind, sondern beispielsweise schlangenlinienförmig verlaufen. Hierdurch können die Kühleigenschaften durch eine erhöhte Kühlkanallänge verbessert werden.

Eine weitere Ausgestaltung sieht vor, dass die Kühlkanäle, insbesondere die
30 Kanalinnenwände eine Strukturierung aufweisen, um ein spezielles Strömungsverhalten zu erzielen. Eine solche Strukturierung kann beispielsweise durch Vorsprünge und/oder Einbuchtungen im Kühlkanal bereitgestellt werden, die Wirbel bilden oder eine Turbulenz der Strömung verstärken. Eine solche Strukturierung kann zusätzlich zur Entwärmung des Wickeldrahts beitragen.

35

Eine weitere Ausgestaltung sieht vor, dass die Kühlkanäle derart ausgebildet sind, dass die elektrischen Eigenschaften des Leiters positiv beeinflusst sind. Ein Beispiel hierfür ist

eine Verbesserung der Verluste bei Wechselstrom durch die Verbesserung des Verhältnisses von Oberfläche zu Volumen des Wickeldrahts.

Eine weitere Ausgestaltung sieht vor, dass die Kühlkanäle angrenzend an einen Wickelkern an der Innenseite der Spule ausgebildet sind, wobei der Wickelkern den Kühlkanal innenseitig strukturell begrenzt. Die im Querschnitt geschlossene Struktur der Kühlkanäle wird somit an einer Seite des Kühlkanals durch den Wickelkern bzw. eine darauf angebrachte Isolierung bereitgestellt. Diese Ausgestaltung ist mit dem Vorteil eines direkten Kontakts der Kühlkanäle zum Wickelkern bzw. Startorkern verbunden. Auf diese Weise kann der Wickelkern besonders effektiv gekühlt werden.

Eine weitere Ausgestaltung der Erfindung sieht vor, dass die Spule zusätzlich an der Außenseite Strukturen ausbildet, die seitlich offene Kühlkanäle für eine Direktleiterkühlung bereitstellen. Bei dieser Ausgestaltung wird die erfindungsgemäße Innenkühlung durch eine Direktleiterkühlung ergänzt, bei der ein Kühlmedium in direkten Kontakt mit der Außenseite der stromführenden Leiter tritt. Zur Realisierung solcher Kühlkanäle sind eine große Anzahl an Formgebungen möglich. Ausgestaltungen hierzu sehen vor, dass der Wickeldraht in der Querschnittsansicht an seiner einen Stirnseite, die im gewickelten Zustand die Außenseite der Spule bildet, einen Vorsprung oder eine Einbuchtung ausbildet.

Die Erfindung bezieht sich auch auf Spulen, in denen nur ein Teil der Windungen in der erfindungsgemäßen Weise ausgeführt sind. Es ist also z.B. nur ein Teil der Windungen so geformt, dass sie Grenzflächen zu Kühlkanälen ausbilden oder nur ein Teil der Windungen beinhaltet Löcher zur Kühlmittelführung, während die anderen Windungen aus Vollmaterial entsprechend dem Stand der Technik ausgeführt sind.

Eine weitere Ausgestaltung sieht vor, dass bei der Ausbildung der Kühlkanäle als Hohlkanäle die Kühlkanäle zumindest im Bereich der Kühlmittleingänge und der Kühlmittelausgänge mit einer elektrischen Isolation versehen sind. Hierzu werden die Kühlkanäle beispielsweise mit einer nicht leitenden Polymer- oder Keramikschicht über eine Länge isoliert, bis die notwendigen Mindestanforderungen an Luft- und Kriechstrecken für einen teilentladungsfreien Betrieb gewährleistet sind. Ansonsten ist es jedoch nicht erforderlich, die Kühlkanäle mit einer Innenbeschichtung zu versehen, wodurch ein hoher Wärmetransport durch das Kühlmittel erreicht werden kann.

Eine weitere mögliche Maßnahme zur Realisierung der notwendigen Mindestanforderungen an Luft- und Kriechstrecken für einen teilentladungsfreien Betrieb stellt eine versetzte Anordnung der Kühlmittleingänge und der Kühlmittelausgänge in benachbarten Windungen dar. In einem solchen Fall ist eine separate Innenisolierung der
5 Kühلكanäle in deren Anfangsbereich nicht erforderlich.

Eine versetzte Anordnung kann dadurch realisiert sein, dass die Längsabschnitte in benachbarten Windungen eine unterschiedliche Länge aufweisen. Eine versetzte Anordnung kann jedoch auch in anderer Weise realisiert sein, beispielsweise dadurch,
10 dass die Kühlmittleingänge bzw. Kühlmittelausgänge in benachbarten Windungen bzw. Längsabschnitten in Querrichtung des Wickeldrahts versetzt sind, d. h. abwechselnd weiter innen und weiter außen in dem jeweiligen Längsabschnitt ausgebildet sind.

Eine Ausgestaltung der Erfindung sieht vor, dass die Spule eine vordere Stirnseite und
15 eine hinteren Stirnseite ausbildet, wobei

- die Kühlmittleingänge der Kühلكanäle an der einen Stirnseite und die Kühlmittelausgänge der Kühلكanäle an der anderen Stirnseite ausgebildet sind,
- zumindest die Stirnseite mit den Kühlmittleingängen abgesehen von den Kühlmittleingängen für Kühlflüssigkeit undurchlässig ist, und
- 20 - die Kühلكanäle dazu ausgebildet sind, bei Beaufschlagung der einen Stirnseite unter Druck mit einem Kühlmedium das Kühlmedium in die Kühلكanäle aufzunehmen, zu leiten und an den Kühlmittelausgängen abzugeben.

Bei dieser Erfindungsvariante wird eine Schnittstelle zur Bereitstellung von Kühlmittel für
25 die Vielzahl von Kühلكanälen bereitgestellt, bei der die eine Stirnseite insgesamt unter Druck mit dem Kühlmittel beaufschlagt wird. Hierdurch wird das Erfordernis von Einzeladaptern zum Anschluss der Kühلكanäle an eine Kühlmittelzuführung vermieden. Jedoch wird darauf hingewiesen, dass die vorliegende Erfindung auch Ausgestaltungen umfasst, bei denen einzelne Kühلكanäle oder Untergruppen von Kühلكanälen jeweils
30 gesondert mit Kühlmittel versehen werden und hierzu entsprechende Anschlussstutzen bzw. Adapter vorgesehen sind.

Allgemein gilt, dass die Kühلكanäle dazu ausgebildet sein können, mit Luft, einem Gas oder einer Flüssigkeit als Kühlmedium durchflutet zu werden.

35 Zur Strukturierung des Wickeldrahts, die zur Herstellung der Kühلكanäle erforderlich ist, sind eine Mehrzahl von Verfahren einsetzbar. Ein Verfahren sieht vor, dass der Wickeldraht als Flachleiter ausgebildet ist und die Spule eine Flachleiterleiterwicklung

realisiert. Der Fachleiter kann durch 3D-Druck auf Basis von Metallen hergestellt werden, wobei sämtliche Strukturen einschließlich der Strukturen zur Bereitstellung des Kühlkanals durch den 3D-Druck generiert werden. Nach einem 3-D-Druck erfolgt ein Lackieren der Spule zur Bereitstellung der Windungsisolierung. So sieht eine Ausgestaltung der Erfindung vor, dass der Wickeldraht einschließlich der Strukturen zur Ausbildung der Kühlkanäle durch 3D-Druck hergestellt ist.

Alternativ kann der Fachleiter durch spanende Verfahren wie zum Beispiel Fräsen oder Schleifen zur Bildung von Kühlkanälen in den Oberflächen der Windungen strukturiert werden. Diese Möglichkeit ist gegeben, wenn die Kühlkanäle zwischen einzelnen Abschnitten des Wickeldrahts ausgebildet sind. Eine weitere Alternative besteht in der Fertigung der Spule aus einem Block, beispielsweise durch Fräsen oder Wasserstrahlschneiden, unter Ausbildung der entsprechenden Strukturen.

Ein weiteres Verfahren sieht vor, dass der Wickeldraht durch eine Litze mit einer Vielzahl von jeweils mit einer Windungsisolierung versehenen Einzeldrähten gebildet ist, wobei die Kühlkanäle in die Litze eingeprägt sind. Die Ausbildung des Wickeldrahts durch eine Litze ist dann möglich, wenn die Kühlkanäle zwischen benachbarten Längsabschnitten des Wickeldrahtes ausgebildet sind. Dabei können die Kühlkanäle bzw. Vertiefungen in der Oberfläche des Wickeldrahts in einfacher Weise durch Prägen der Litze bereitgestellt werden. Anschließend werden die erzeugten Strukturen mittels Verguss oder Lack fixiert.

In einem weiteren Erfindungsaspekt betrifft die vorliegende Erfindung ein Drehstrommaschine mit einem Rotor und einem Stator, wobei der Stator erfindungsgemäße Spulen aufweist, die jeweils auf einen Wickelkörper gewickelt sind. Ein Einsatz der Erfindung ist dabei in allen Ausprägungsformen elektromagnetischer Energiewandler (Motor, Generator, rotierende oder lineare Maschinen, Transformatoren, Induktionsöfen etc.), die eine Direktleiterkühlung besitzen, möglich. Bei der Drehstrommaschine handelt es sich beispielsweise um einen Permanentmagnet-Synchronmotor (PMSM), insbesondere um einen PMSM mit Einzelzahnspulen im Stator, die entsprechend der vorliegenden Erfindung ausgebildet sind.

Die Erfindung wird nachfolgend unter Bezugnahme auf die Figuren der Zeichnung anhand mehrerer Ausführungsbeispiele näher erläutert. Es zeigen:

- Figur 1 eine geschnittene, perspektivische Ansicht eines Ausführungsbeispiels einer Spule, die eine Mehrzahl von gesonderten Kühlkanälen aufweist, die als Hohlkanäle im Inneren eines Wickeldrahts ausgebildet sind;
- 5 Figur 2 eine Vorderansicht des rechten Bereichs der Spule der Figur 1;
- Figur 3 eine teilweise geschnittene Draufsicht auf die Spule der Figur 1;
- Figur 4 eine perspektivische Ansicht eines weiteren Ausführungsbeispiels einer
10 Spule, die eine Mehrzahl von gesonderten Kühlkanälen aufweist, wobei jeder Längsabschnitt der Spule zwei Kühlkanäle aufweist;
- Figur 5 die Spule der Figur 4 in einer perspektivischen Ansicht von hinten;
- 15 Figur 6 in einer Ansicht von vorne ein weiteres Ausführungsbeispiel einer Spule, die eine Mehrzahl von gesonderten Kühlkanälen aufweist, wobei die Kühlkanäle einen kreisförmigen Querschnitt aufweisen;
- Figur 7 in einer Ansicht von vorne ein weiteres Ausführungsbeispiel einer Spule, die
20 eine Mehrzahl von gesonderten Kühlkanälen aufweist, wobei die Kühlkanäle einen rechteckigen Querschnitt aufweisen;
- Figur 8 in einer Ansicht von vorne ein weiteres Ausführungsbeispiel einer Spule, die
25 eine Mehrzahl von gesonderten Kühlkanälen aufweist, wobei die Kühlkanäle unterschiedliche Querschnitte aufweisen;
- Figur 9 in perspektivischer, in der obersten Spulenwindung geschnittener Darstellung
ein weiteres Ausführungsbeispiel einer Spule, die eine Mehrzahl von
30 gesonderten Kühlkanälen aufweist, wobei die Kühlkanäle entlang ihres Verlaufs schlangenlinienförmig ausgebildet sind;
- Figur 10 eine geschnittene, perspektivische Ansicht eines Ausführungsbeispiels einer
35 Spule, die eine Mehrzahl von gesonderten Kühlkanälen aufweist, die jeweils zwischen benachbarten Abschnitten des Wickeldrahts ausgebildet sind;
- Figur 11 eine Vorderansicht des rechten Bereichs der Spule der Figur 10;

- Figur 12 eine Draufsicht auf die unterste Windung der Spule der Figur 10;
- Figur 13 eine geschnittene, perspektivische Ansicht eines Ausführungsbeispiels einer Spule, die eine Mehrzahl von gesonderten Kühlkanälen aufweist, die an der Innenseite der Spule ausgebildet sind;
- Figur 14 eine Vorderansicht des rechten Bereichs der Spule der Figur 13;
- Figur 15 eine geschnittene, perspektivische Ansicht eines weiteren Ausführungsbeispiels einer Spule, die eine Mehrzahl von gesonderten Kühlkanälen aufweist, die an der Innenseite der Spule ausgebildet sind, wobei die Spule des Weiteren an der Außenseite ausgebildete, seitlich offene Kühlkanäle für eine Direktleiterkühlung aufweist;
- Figur 16 eine Vorderansicht des rechten Bereichs der Spule der Figur 15;
- Figur 17 in einer Seitenansicht ein Ausführungsbeispiel einer Spule, die eine Mehrzahl von gesonderten Kühlkanälen aufweist, wobei die Spule eine vordere plane Stirnseite und eine hintere plane Stirnseite ausbildet und die Stirnseiten Schnittstellen zur Zuführung bzw. Abführung eines Kühlmediums darstellen;
- Figur 18 in perspektivischer Darstellung ein Ausführungsbeispiel einer Spule, die eine Mehrzahl von gesonderten Kühlkanälen aufweist, wobei die Kühlmittelausgänge benachbarter Windungen des Wickeldrahts versetzt angeordnet sind;
- Figur 19 in perspektivischer Ansicht ein Ausführungsbeispiel einer Spule, die eine Mehrzahl von gesonderten Kühlkanälen aufweist, wobei die Kühlkanäle quer zu den Spulenwindungen verlaufen;
- Figur 20 die Spule der Figur 19 in einer Ansicht von oben;
- Figur 21 eine perspektivische Darstellung eines Beispiels einer Einzelzahn eines Stators einer Permanentmagnet-Synchronmotors, auf den noch keine Spule gewickelt ist; und

Figur 22 den Einzelzahn gemäß der Figur 21 zusammen mit einer darauf gewickelten Spule.

5 Zum besseren Verständnis des Hintergrunds der vorliegenden Erfindung wird zunächst eine Spulenordnung gemäß dem Stand der Technik anhand der Figuren 21 und 22 beschrieben.

Die Figuren 21 und 22 zeigen in einer perspektivischen Ansicht ein Beispiel einer Spulenordnung in Form einer Einzelzahnschule 1, die auf einen Spulenkörper 100 gewickelt ist, wobei die Figur 21 lediglich den Spulenkörper 100 und die Figur 22 zusätzlich die auf den Spulenkörper 100 gewickelte Einzelzahnschule 1 darstellt.

Der Spulenkörper 100 umfasst eine Blech-Vorderplatte 101, eine Blech-Hinterplatte 102 sowie einen Wickelkern 103, der sich zwischen der Blech-Vorderplatte 101 und der Blech-Hinterplatte 102 erstreckt und um den gemäß der Figur 22 ein Wickeldraht 10 gewickelt ist, der die Schule 1 bildet. Zwischen dem Wickelkern 103 und dem Wickeldraht 10 kann dabei ein Isolierpapier 104 angeordnet sein. Der Wickelkern 103 weist typischerweise einen quaderförmigen Hauptkörper auf, der aus einem Stapel von rechteckigen, lackisolierten Elektroblechen besteht. Auf die Enden des quaderförmigen geblechten Wickelkerns 103 ist jeweils ein aus einem Kunststoff bestehender Wickelkopfträger 105 aufgesetzt, der die erforderliche Rundung für den Wickeldraht 10 bereitstellt.

Wie in der Figur 22 erkennbar, bildet der Wickeldraht 10 eine Vielzahl von Windungen 11, die jeweils geradlinig verlaufende Längsabschnitte 12 sowie an ihren Enden weitere Abschnitte 13 bilden, die im dargestellten Ausführungsbeispiel abgerundet und um 180° um die Wickelkopfträger 105 umgelegt sind. In den abgerundeten weiteren Abschnitten 13 ist der Wickeldraht 10 dabei knickfrei geführt.

Der Wickeldraht 10 ist im dargestellten Ausführungsbeispiel durch einen Kupferflachleiter gebildet, der auf den Wickelkern 103 und die Wickelkopfträger 105 gewickelt ist. Zwei Kontaktenden 14, 15 des Wickeldrahts 10 stehen zu einer Seite ab. Sie dienen der elektrischen Kontaktierung des Wickeldrahts 10. Alternativ kann der Wickeldraht 10 durch eine Litze gebildet sein.

35

Wie in den Figuren 21, 22 dargestellt, weist die Blech-Vorderplatte 101 eine geringere Breite als die Blech-Hinterplatte 102 auf. Dies erlaubt es, eine Mehrzahl von

Spulenkörpern 100 bzw. Einzelzähnen zu einem ringförmig ausgebildeten Stator einer elektrischen Maschine, beispielsweise eines Permanentmagnet-Synchronmotors zusammenzusetzen, wobei die miteinander verbundenen Blech-Hinterplatten 102 einen äußeren Statorring eines solchen Stators bilden.

5

Anhand der Figuren 1 bis 20 werden verschiedene Ausführungsbeispiele einer Spule 1 beschrieben, die eine Mehrzahl von Kühlkanälen ausbildet. Eine solche Spule 1 kann beispielsweise auf einen Einzelzahn entsprechend den Figuren 21 und 22 aufgewickelt sein.

10

Vorab wird darauf hingewiesen, dass die betrachtete Spule 1 in üblicher Weise elektrisch kontaktiert wird. Hierzu sind zwei Kontaktenden 14, 15 des Wickeldrahts 10, der die Spule 1 bildet, vorgesehen. Die nachfolgend erläuterte Ausbildung von Kühlkanälen in der jeweils betrachteten Spule 1 erfolgt unabhängig von der elektrischen Funktion und Kontaktierung der Spule 1.

15

Die Figur 1 zeigt ein erstes Ausführungsbeispiel einer Spule 1, die eine Mehrzahl von gesonderten Kühlkanälen 21 ausbildet. Die Spule 1 besteht aus einem gewickelten Wickeldraht 10, der eine Mehrzahl von Spulenwindungen 11 ausbildet. Je Spulenwindung 11 umfasst der Wickeldraht 10 dabei zwei geradlinig verlaufende Abschnitte 12 und an den Stirnseiten zwei gebogene Abschnitte 13, die jeweils zwei Längsabschnitte 12 verbinden, wobei in der Schnittdarstellung der Figur 1 nur die gebogenen Abschnitte 13 an einer der Stirnseiten der Spule dargestellt sind. Die Spule 1 weist darüber hinaus eine Innenseite 16 auf, an der die Spule 1 an einen Wickelkern (nicht dargestellt) entsprechend dem Wickelkern 103 der Figuren 21, 22 angrenzt, sowie eine Außenseite 17 auf. Die oberste Windung 11 der Spule 1 bildet eine Oberseite 91 der Spule 1 und die unterste Windung 11 eine Unterseite 92 der Spule 1.

20

25

In die Längsabschnitte 12 der Spulenwindungen 11 ist jeweils ein Kühlkanal 21 integriert. Hierdurch umfasst die Spule 1 eine Vielzahl von parallel angeordneten Kühlkanälen 21. Die Kühlkanäle 21 sind innenliegend als Längsbohrungen in den Längsabschnitten 12 der Spule 1 ausgebildet.

30

In der Vorderansicht der Figur 2 ist zu erkennen, dass die Kühlkanäle 21 geradlinig in den Längsabschnitten 12 verlaufen.

35

Jeder Kühlkanal 21 weist einen gesonderten Kühlmittleingang und einen gesonderten Kühlmittelausgang für das Kühlmittel auf, das durch den Kühlkanal 21 transportiert wird. Dies ist in der teilweise geschnittenen Draufsicht der Figur 3 zu erkennen, die für zwei Längsabschnitte 12 und die darin ausgebildeten Kühlkanäle 21 jeweils einen
5 Kühlmittleingang 201 und einen Kühlmittelausgang 202 darstellt.

Der betrachtete Wickeldraht 10 ist als Flachleiter ausgebildet. Der Flachleiter ist in üblicher Weise mit einer Isolierung versehen. Die Isolierung ist in den Figuren 1-3 und auch in den weiteren Figuren nicht gesondert dargestellt. Dies erklärt, warum
10 insbesondere in der Figur 2 die einzelnen Windungen 11 beabstandet zueinander angeordnet sind. Tatsächlich liegen die Windungen 11 bzw. deren Isolierung unmittelbar aneinander an.

Die Herstellung der Kühlkanäle 21 im Wickeldraht 10 erfolgt beispielsweise über einen
15 3D-Druck auf Basis von Metallen, wobei sämtliche Strukturen einschließlich der Strukturen zur Bereitstellung des Kühlkanals 21 durch den 3D-Druck generiert werden. Beispielsweise erfolgt ein 3D-Druck, indem Kupferpulver schichtweise strukturiert aufgetragen und schichtweise gelasert und dabei geschmolzen wird. Nach dem 3D-Druck erfolgt ein Lackieren zur Bereitstellung der Isolierung des Wickeldrahts 10 bzw. der
20 Windungen 11.

Die Kühlkanäle 21 können mit Luft, Gas oder einer Flüssigkeit durchflutet werden. Der Querschnitt der Kühlkanäle 21 und der Druck, mit dem das Kühlmedium in die Kühlkanäle 21 strömt, werden dabei abhängig von dem verwendeten Kühlmedium derart
25 bemessen, dass das Kühlmedium mit einem gewünschten Volumenstrom durch die Kühlkanäle 21 hindurchfließt.

Die Kühlkanäle 21 sind innenseitig angrenzend an den jeweiligen Kühlmittleingang 201 und den Kühlmittelausgang 202 mit einer elektrischen Isolation versehen. Diese besteht
30 beispielsweise aus einer nichtleitenden Polymer- oder Keramikschicht. Die Isolationsbeschichtung der Kühlkanäle 21 dient dazu, die notwendigen Mindestanforderungen an Luft- und Kriechstrecken für einen teilentladungsfreien Betrieb zu gewährleisten. Beispielsweise liegt eine Isolationsbeschichtung der Kühlkanäle 21 auf einer Länge von 0,1 mm bis 10 mm am Anfang und am Ende der Kühlkanäle 21 vor. Statt
35 einer Innenbeschichtung der Kühlkanäle 21, oder ergänzend, kann eine versetzte Anordnung der Kühlmittleingänge 201 und der Kühlmittelausgänge 202 in benachbarten Windungen der Spulenwicklung vorgesehen sein, wie anhand der Figur 18 erläutert wird.

Die nachfolgend anhand der Figuren 4 bis 20 erläuterten weiteren Ausführungsbeispiele einer Spule 1 mit einer Mehrzahl gesondert ausgebildeter Kühlkanäle weisen grundsätzlich den gleichen Aufbau mit einem gewickelten Wickeldraht 10, der eine Mehrzahl von Spulenwindungen 11 ausbildet, auf. Insofern wird auf die Figuren 1 bis 3
5 Bezug genommen. Zu den Figuren 4 bis 20 werden nur jeweils diejenigen Merkmale der Spule erläutert, in denen sich die Spule von der Spule der Figuren 1 bis 3 unterscheidet.

Die Figuren 4 und 5 zeigen ein Ausführungsbeispiel, bei dem die Spule 1 insofern eine andere Form aufweist, als die stirnseitigen Abschnitte 13, die jeweils zwei Längsseiten 12
10 der Spule 1 verbinden, nicht gebogen, sondern gerade ausgeführt sind. Hierdurch entstehen plane oder im wesentlichen plane Stirnseiten 18, 19 der Spule 1, die in einfacher Weise die Beaufschlagung der jeweiligen Kühlmittleingänge 201 mit einer Kühlflüssigkeit erlauben, wie in Bezug auf die Figur 17 erläutert wird. Die Ausbildung der Spule 1 mit geradlinig verlaufenden stirnseitigen Abschnitten 13 kann beispielsweise bei
15 einem 3D-Druck der Spule 1 erfolgen.

Weiter ist in den Figuren 4 und 5 vorgesehen, dass je Spulenwindung 11 in beiden Längsabschnitten 12 mehrere Kühlkanäle, nämlich zwei Kühlkanäle 21a, 21b ausgebildet sind, was eine Steigerung der Kühlleistung, eine Optimierung des Kühlkanalquerschnitts
20 und eine Vergrößerung der Kontaktfläche zwischen Kühlmedium und Leiter erlaubt.

Die Figuren 6 bis 8 illustrieren, dass der Innenquerschnitt der Kühlkanäle eine unterschiedliche Form aufweisen kann. Im Ausführungsbeispiel der Figur 6 weisen die Kühlkanäle 21c einen relativ kleinen kreisförmigen Querschnitt auf. Im
25 Ausführungsbeispiel der Figur 7 ist der Querschnitt der Kühlkanäle 21d rechteckig. Die Figur 8 zeigt exemplarisch ein Ausführungsbeispiel, bei dem in einer Spule 1 Kühlkanäle mit unterschiedlichen Querschnittsformen realisiert sind. So sind Kühlkanäle 21c mit kreisförmigen Querschnitt, Kühlkanäle 21d mit rechteckigem Querschnitt, Kühlkanäle 21e mit ovalem Querschnitt und Kühlkanäle 21f mit hexagonalem Querschnitt vorgesehen. Es
30 versteht sich, dass in den Kühlkanälen einer Spule 1 jeweils auch nur einer dieser Querschnitte realisiert sein kann. Wenn die Spule im 3D-Druck hergestellt wird, ist es aber durchaus möglich, dass jede Windung ein individuelles Querschnittsdesign aufweist.

Durch Variation der Kühlkanäle einer Spule im Hinblick auf Querschnittsfläche und/oder
35 Geometrie ist es möglich, unterschiedlichen Bereichen der Spule eine jeweils gewünschte Kühlleistung zukommen zu lassen. Die Kühlleistung kann sowohl durch eine Vergrößerung der Querschnittsfläche, was den Volumenstrom erhöht, als auch durch

eine Vergrößerung der Kontaktfläche zwischen Kühlmedium und Leiter gesteigert werden.

Die Figur 9 zeigt ein Ausführungsbeispiel, bei dem die in den Längsabschnitten 12
5 ausgebildeten Kühlkanäle 21g nicht geradlinig verlaufen, sondern geschwungen, im vorliegenden Fall schlangenlinienförmig ausgebildet sind. Der Querschnitt der Kühlkanäle 21g ist dabei rechteckig, könnte auch aber eine beliebige andere Form aufweisen. Durch Bereitstellung eines nicht geradlinigen Verlaufs wird die Länge des Kühlkanals 21g verlängert, so dass ein verbesserter Wärmetransport in das Kühlmedium stattfinden
10 kann. Außerdem kann durch eine entsprechend optimierte Form der Kühlkanäle der Verlauf der Strömung zu verbesserten Wärmeübergangskoeffizienten optimiert werden.

Die Figuren 10 bis 12 zeigen ein Ausführungsbeispiel, bei dem Kühlkanäle 22 nicht als Hohlkanäle im Inneren des Wickeldrahts 10, sondern zwischen parallelen verlaufenden
15 Abschnitten des Wickeldrahts 10 ausgebildet sind. Hierzu bilden die Längsabschnitte 12 zweier benachbarter Spulenwindungen 11 jeweils eine längliche Vertiefung 221 auf, die zusammen mit der länglichen Vertiefung 221 der jeweils benachbarten Spulenwindung 11 den Kühlkanal 22 bilden. Die Kühlkanäle 22 sind dabei seitlich geschlossen. In der Darstellung der Figur 11 ist lediglich deswegen ein Abstand zwischen den einzelnen
20 Windungen 11 dargestellt, da die Figuren nicht die ebenfalls vorhandene Isolierung des Wickeldrahts 10 darstellen. Durch die jeweiligen Vertiefungen 221 wird somit ein geschlossener Kühlkanal 22 gebildet, der sich von einem Kühlmittleingang 201 zu einem Kühlmittelausgang 202 erstreckt. Jeweils zwischen zwei benachbarten Längsabschnitten 12 ist ein solcher Kühlkanal 22 ausgebildet.

Bei einer derartigen Ausgestaltung der Kühlkanäle 22 können die Kühlkanäle alternativ zu einem 3D-Druck durch Fräsen oder Schleifen bzw. allgemein durch spanende Verfahren in den Oberflächen der Windungen 11 bereitgestellt werden, wobei jeweils eine längliche Vertiefung 221 in eine der Oberflächen eines Längsabschnitts 12
25 eingebracht wird.

Bei der Realisierung der Kühlkanäle 22 durch die Einbringung von Vertiefungen 221 in die Oberflächen des Wickeldrahts kann darüber hinaus alternativ vorgesehen sein, dass der Wickeldraht 10 statt durch einen Kupferflachleiter durch eine Litze mit einer Vielzahl
35 von jeweils mit einer Windungsisolierung versehenen Einzeldrähten gebildet ist, wobei die Kühlkanäle 22 in die Litze eingeprägt werden. Anschließend werden die erzeugten Vertiefungen 221 mittels Verguss oder Lack fixiert.

Die Figuren 13 und 14 zeigen ein Ausführungsbeispiel, bei dem vom Grundsatz wie bei den Figuren 10 bis 12 die Kühlkanäle 22a durch Vertiefungen oder Materialabtragungen des Wickeldrahts 10 realisiert sind. Die Besonderheit dieses Ausführungsbeispiels besteht darin, dass die dabei entstandenen Kühlkanäle 22a zur Innenseite 16 der Spule 1 offen ausgebildet sind. Ein geschlossener Kühlkanal 22a entsteht erst durch einen Wickelkern (nicht dargestellt), der im Inneren der Spule 1 angeordnet ist und der die Kühlkanäle 22a innenseitig strukturell begrenzt. Durch eine solche Ausbildung der Kühlkanäle 22a kann der Wickelkern in effektiver Weise durch das Kühlmedium direkt gekühlt werden.

Weiter wird darauf hingewiesen, dass beim Ausführungsbeispiel der Figuren 13 und 14 der Wickeldraht 10 in jedem seiner Längsabschnitte 12 auf beiden Oberflächen eine Vertiefung bzw. einen Materialabtrag aufweist. Hierdurch entsteht eine Art vorstehende Rippe 222 des jeweiligen Längsabschnitts 12, wobei die Kühlkanäle 22a zwischen den Rippen 222 ausgebildet sind.

Es wird darauf hingewiesen, dass in der Figur 14 der Bereich, der sich links von der gestrichelt eingezeichneten, gedachten Linie D befindet, nicht an der Bildung der Kühlkanäle 22a beiträgt. Die dort dargestellte Struktur, die aufgrund der dargestellten Vorderansicht sichtbar ist, wird durch die gebogenen Abschnitte 13 gebildet.

Die Figuren 15 und 16 zeigen ein Ausführungsbeispiel, das die Ausbildung von innenseitig angeordneten und zur Innenseite 16 offenen Kühlkanälen 22a, die durch einen nicht dargestellten Wickelkern begrenzt werden, mit der Ausbildung von Strukturen 31 an der Außenseite 17 kombiniert, die seitlich offene Kühlkanäle 3 bereitstellen. Zur Bereitstellung der seitlich offenen Kühlkanäle 3 weist der Wickeldraht 10 in jedem der Längsabschnitte 12 eine Vertiefung 31 auf, die zusammen mit einer entsprechenden Vertiefung 31 in der benachbarten Spulenwindung einen seitlich offenen Kühlkanal 3 bildet.

Die innenseitig ausgebildeten Kühlkanäle 22a sind beim Ausführungsbeispiel der Figuren 15 und 16 insofern leicht anders ausgebildet als beim Ausführungsbeispiel der Figuren 13 und 14, als der Wickeldraht 10 in seinen Längsabschnitten 12 nicht auf beiden Oberflächen eine Vertiefung 221 bzw. einen Materialabtrag aufweist, sondern nur auf einer seiner Oberflächen, wobei wiederum gilt, dass die Vertiefung 221 zusammen mit

einer entsprechenden Vertiefung 221 der benachbarten Spulenwindung den Kühlkanal 22a ausbildet.

Wie auch bei der Figur 14 gilt, dass die in der Vorderansicht der Figur 16 links
5 dargestellten Strukturen nicht an der Bildung der Kühlkanäle 22a teilnehmen.

Die seitlich offenen Kühlkanäle 3 dienen einer Direktleiterkühlung durch ein Medium, das an der Außenseite 17 der Spule 1 vorbeiströmt. Bei diesem Ausführungsbeispiel werden somit eine Innenleiterkühlung und eine Direktleiterkühlung kombiniert. Dies ermöglicht
10 eine weitere Steigerung der Kühlleistung.

Die Herstellung der Spule 1 und der Kühlkanäle 22a, 3 kann bei den Ausgestaltungen der Figuren 13 bis 16 beispielsweise durch Fräsen oder Schleifen bzw. allgemein durch spanende Verfahren erfolgen. Ein 3D-Druck ist ebenfalls möglich.

15

Die Figur 17 zeigt eine Spule 1 entsprechend der Ausgestaltung der Figuren 4 und 5 in einer Seitenansicht. Die Spule weist zwei Stirnseiten 18, 19 auf. In der einen Stirnseite 18 sind entsprechend der Figur 4 Kühlmittleingänge 201 ausgebildet. In der anderen Stirnseite 19 sind entsprechend der Figur 5 die Kühlmittelausgänge 202 ausgebildet. Da
20 die Windungen 11 der Spule bzw. deren Isolierungen unmittelbar aufeinander aufliegen, bilden die Kühlmittleingänge 201 bzw. Kühlmittelausgänge 202 die einzigen Öffnungen in den Stirnseiten 18, 19 aus.

Ein Flüssigkeitstransport mit Kühlmittel in den Kühlkanälen 21 kann dann in einfacher
25 Weise dadurch erreicht werden, dass die Stirnseite 18 insgesamt unter Druck mit dem Kühlmittel beaufschlagt wird. Die Stirnseite 18 stellt insofern eine Schnittstelle für einen Kühlmittelanschluss dar. Der angelegte Druck und die Querschnittsfläche der Kühlkanäle 21 sind dabei derart aufeinander abzustimmen, dass unter Berücksichtigung der Viskosität des Kühlmittels der gewünschte Volumenstrom in den Kühlkanälen 21 realisiert
30 wird.

Die Beaufschlagung der einen Stirnseite 18 der Spule 1 mit Kühlflüssigkeit kann auch bei den anderen beschriebenen Ausführungsbeispielen erfolgen. Dabei spielt es grundsätzlich keine Rolle, ob der stirnseitige Bereich der Spule 1, an dem das Kühlmittel
35 den Kühlkanälen 21, 22 zugeführt wird, gebogen oder geradlinig ausgebildet ist. Auch spielt es grundsätzlich keine Rolle, ob die Kühlkanäle 21, 22 als Innenleiter gemäß den Figuren 1 bis 9 oder durch Vertiefungen gemäß den Figuren 10 bis 16 ausgebildet sind.

Es wird darauf hingewiesen, dass ein Kühlmittelanschluss auch in anderer Weise realisiert sein kann. Beispielsweise kann vorgesehen sein, dass die Kühlkanäle 21, 22 einzelnen oder in Untergruppen mit einem Kühlmittel beaufschlagt werden. Dabei kann
5 vorgesehen sein, dass im Bereich der Kühlmittleingänge 201 bzw. Kühlmittelausgänge 202 Befestigungsstrukturen zur Befestigung solcher Kühlmittelanschlüsse realisiert sind.

Die Figur 18 zeigt ein Ausführungsbeispiel, bei dem benachbarte Windungen 11a, 11b der Spule 2 in ihrer Länge unterschiedlich ausgebildet sind. Dementsprechend weisen
10 die Längsabschnitte 12 der jeweiligen Windungen 11a, 11b eine unterschiedliche Länge auf. Dies wiederum bewirkt, dass die Kühlmittleingänge sowie die in der Figur 18 dargestellten Kühlmittelausgänge 202 benachbarter Windungen 11a, 11b versetzt zueinander angeordnet sind. Durch diesen Versatz werden automatisch die
15 Mindestanforderungen an Luft – und Kriechstrecken für einen teilentladungsfreien Betrieb zwischen benachbarten Kühlkanälen 21 erfüllt, so dass eine elektrische Isolation der Innenwand der Kühlkanäle 21 angrenzend an den Kühlmittleingang und den Kühlmittelausgang nicht erforderlich ist.

Der in der Figur 18 dargestellte Versatz der Kühlmittleingänge und der
20 Kühlmittelausgänge ist dabei nur beispielhaft zu verstehen. Ein Versatz kann auch in anderer Weise realisiert sein. Bezugnehmend auf die Figur 1 können beispielsweise die dort dargestellten Kühlmittleingänge an den Längsabschnitten 12 der einzelnen Windungen 11 nicht alle an gleicher Position übereinander angeordnet sein (wie in der Figur 1 dargestellt), sondern bezogen auf die Quererstreckung des Wickeldrahts weiter
25 innen und weiter außen und insofern versetzt ausgebildet sein.

Die Figuren 19 und 20 zeigen ein Ausführungsbeispiel, bei dem eine Mehrzahl von Kühlkanälen 23 in einer Anordnung quer zu den Spulenwindungen 11 in der Spule 1 ausgebildet sind. Die Kühlkanäle 23 können dabei sowohl in den Längsabschnitten 12 als
30 auch in den gebogenen Abschnitten 13 der Spule 1 ausgebildet sein, wobei dies nicht notwendigerweise der Fall ist. Sie erstrecken sich jeweils von der Oberseite 91 zur Unterseite 92 der Spule 1.

Die Kühlkanäle 23 können dabei beispielsweise in einfacher Weise durch Bohren
35 realisiert werden.

Modifikationen der Kühlkanäle 23 im Hinblick auf Form und Fläche des Querschnitts können in entsprechender Weise wie in Bezug auf die Figuren 6 bis 9 beschrieben erfolgen.

- 5 Es versteht sich, dass die Erfindung nicht auf die oben beschriebenen Ausführungsformen beschränkt ist und verschiedene Modifikationen und Verbesserungen vorgenommen werden können, ohne von den hier beschriebenen Konzepten abzuweichen. Weiter wird darauf hingewiesen, dass beliebige der beschriebenen Merkmale separat oder in Kombination mit beliebigen anderen Merkmalen eingesetzt
- 10 werden können, sofern sie sich nicht gegenseitig ausschließen. Die Offenbarung dehnt sich auf alle Kombinationen und Unterkombinationen eines oder mehrerer Merkmale aus, die hier beschrieben werden und umfasst diese. Sofern Bereiche definiert sind, so umfassen diese sämtliche Werte innerhalb dieser Bereiche sowie sämtliche Teilbereiche, die in einen Bereich fallen.

Patentansprüche

1. Spule (1), die aufweist:

- 5 - einen mit einer Isolierung versehenen Wickeldraht (10), der mit einer Mehrzahl von Spulenwindungen (11) auf einen Wickelkern (103) gewickelt ist,

dadurch gekennzeichnet,

10 dass der Wickeldraht (10) eine Mehrzahl von gesonderten Kühlkanälen (21, 22, 23) ausbildet, die jeweils als Innenleiter ausgebildet sind und die jeweils einen gesonderten Kühlmittleingang (201) und einen gesonderten Kühlmittelausgang (202) aufweisen.

15 2. Spule nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Kühlkanäle (21, 22, 23) in paralleler Anordnung in der Spule (1) ausgebildet sind.

3. Spule nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Kühlkanäle (21, 22) in Längsrichtung des Wickeldrahts ausgebildet sind.

20

4. Spule nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Spule (1) je Spulenwindung (11) zwei geradlinig verlaufende Längsabschnitte (12) und zwei weitere Abschnitte (13) bildet, wobei ein gesonderter Kühlkanal (21, 22) jeweils in oder an einem geradlinig verlaufenden Längsabschnitt (12) ausgebildet ist.

25

5. Spule nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass je Spulenwindung (11) in oder an beiden Längsabschnitten (12) jeweils ein gesonderter Kühlkanal (21, 22) ausgebildet ist.

30 6. Spule nach einem der Ansprüche 3 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Kühlkanäle (21) als Hohlkanäle im Inneren des Wickeldrahts (10) ausgebildet sind.

7. Spule nach einem der Ansprüche 3 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Kühlkanäle (22) jeweils zwischen zwei benachbarten Spulenwindungen (11) ausgebildet sind, wobei der Wickeldraht (10) entlang des Abschnitts, in dem er einen Kühlkanal (22) ausbildet, eine längliche Vertiefung (221) aufweist, die zusammen mit einer entsprechenden länglichen Vertiefung (221) der benachbarten Spulenwindung (11) den Kühlkanal (22) ausbildet.

35

8. Spule nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Kühlkanäle (23) quer zu den Spulenwindungen (11) ausgebildet sind und dabei jeweils eine Mehrzahl von Spulenwindungen (11) in Querrichtung durchgreifen, wobei der Kühlmittleingang (201) und der Kühlmittelausgang (202) an einer Oberseite (91) bzw. einer Unterseite (92) der Spule (1) ausgebildet sind.
9. Spule nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Spule (1) je Spulenwindung (11) zwei geradlinig verlaufende Längsabschnitte (12) und zwei weitere Abschnitte (13) bildet, wobei gesonderte Kühlkanäle (23) in den Längsabschnitten (12) und/oder in den weiteren Abschnitten (13) in Querrichtung verlaufen.
10. Spule nach einem der vorangehenden Ansprüche, soweit rückbezogen auf Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass in den Längsabschnitten (12) der jeweiligen Spulenwindung (11) jeweils mehrere Kühlkanäle (21a, 21b) ausgebildet sind.
11. Spule nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Innenquerschnitt der Kühlkanäle (21, 21c, 21d, 21e, 21f, 22) kreisförmig, quadratisch, polygonal oder oval ist.
12. Spule nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass zumindest einige der Kühlkanäle (21c, 21d, 21e, 21f) sich im Hinblick auf ihre Querschnittsfläche und/oder ihre Geometrie unterscheiden.
13. Spule nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass zumindest einige Kühlkanäle (21g) entlang ihres Verlaufs nicht geradlinig ausgeführt sind.
14. Spule nach einem der vorangehenden Ansprüche, soweit rückbezogen auf Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Kühlkanäle (22a) angrenzend an einen Wickelkern (103) an der Innenseite (16) der Spule (1) ausgebildet sind, wobei der Wickelkern (103) die Kühlkanäle (22a) innenseitig strukturell begrenzt.
15. Spule nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Spule (1) zusätzlich an der Außenseite (17) Strukturen (31) ausbildet, die seitlich offene Kühlkanäle (3) für eine Direktleiterkühlung bereitstellen.

16. Spule nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die die Kühlkanäle (21) zumindest im Bereich der Kühlmittleingänge (201) und der Kühlmittelausgänge (202) mit einer elektrischen Isolation versehen sind.
- 5 17. Spule nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Kühlmittleingänge (201) und die Kühlmittelausgänge (202) der in benachbarten Windungen (11a, 11b) ausgebildeten Kühlkanäle (21) versetzt angeordnet sind.
- 10 18. Spule nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Spule (1) eine vordere Stirnseite (18) und eine hintere Stirnseite (19) ausbildet, wobei
- die Kühlmittleingänge (201) der Kühlkanäle (21, 22) an der einen Stirnseite (18) und die Kühlmittelausgänge (202) der Kühlkanäle (21, 22) an der anderen Stirnseite (19) ausgebildet sind,
 - 15 - zumindest die Stirnseite (18) mit den Kühlmittleingängen (201) abgesehen von den Kühlmittleingängen (201) für Kühlflüssigkeit undurchlässig ist, und
 - die Kühlkanäle (21, 22) dazu ausgebildet sind, bei Beaufschlagung der einen Stirnseite (18) unter Druck mit einem Kühlmedium das Kühlmedium in die Kühlkanäle (21, 22) aufzunehmen, zu leiten und an den Kühlmittelausgängen
 - 20 (202) abzugeben.
19. Spule nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Wickeldraht (10) und Strukturen des Wickeldrahts (10) zur Ausbildung der Kühlkanäle (21, 22, 23) durch 3D-Druck hergestellt sind.
- 25 20. Drehstrommaschine mit einem Rotor und einem Stator (100), wobei der Stator (100) Spulen (1) gemäß Anspruch 1 aufweist, die jeweils auf einen Wickelkörper (103) gewickelt sind.

1/10

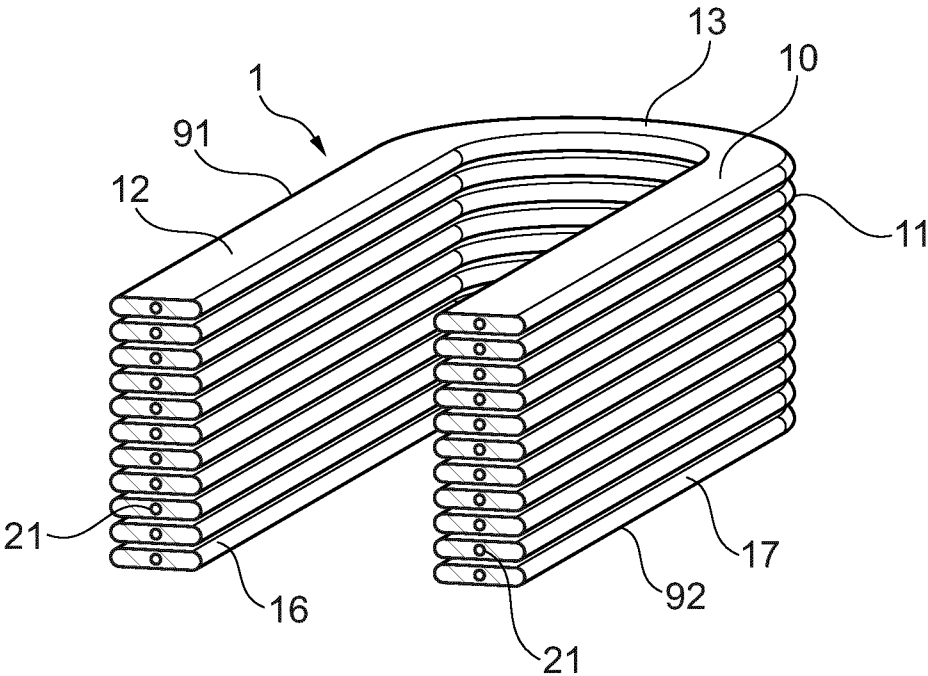


Fig. 1

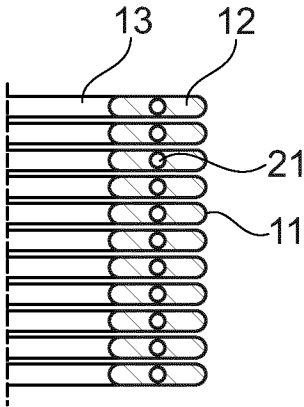


Fig. 2

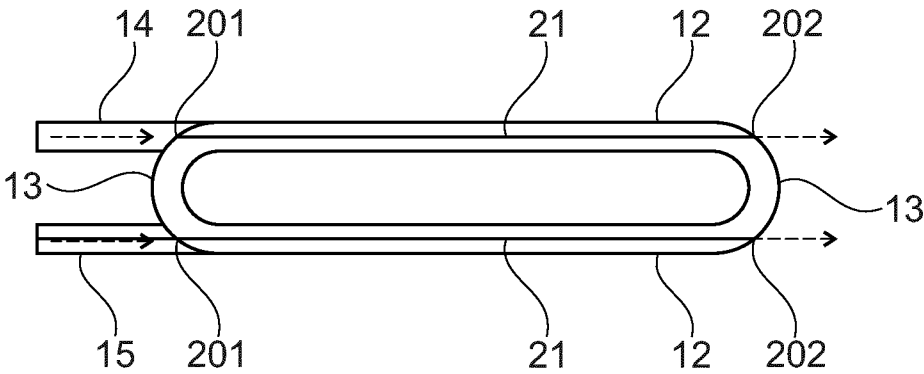


Fig. 3

2/10

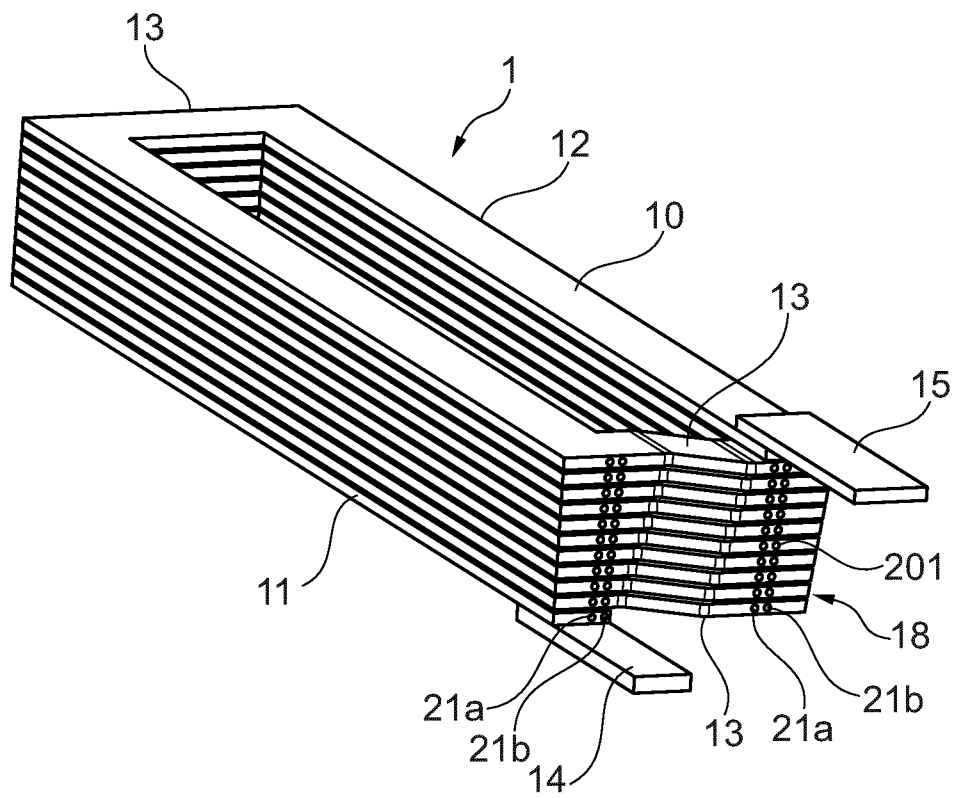


Fig. 4

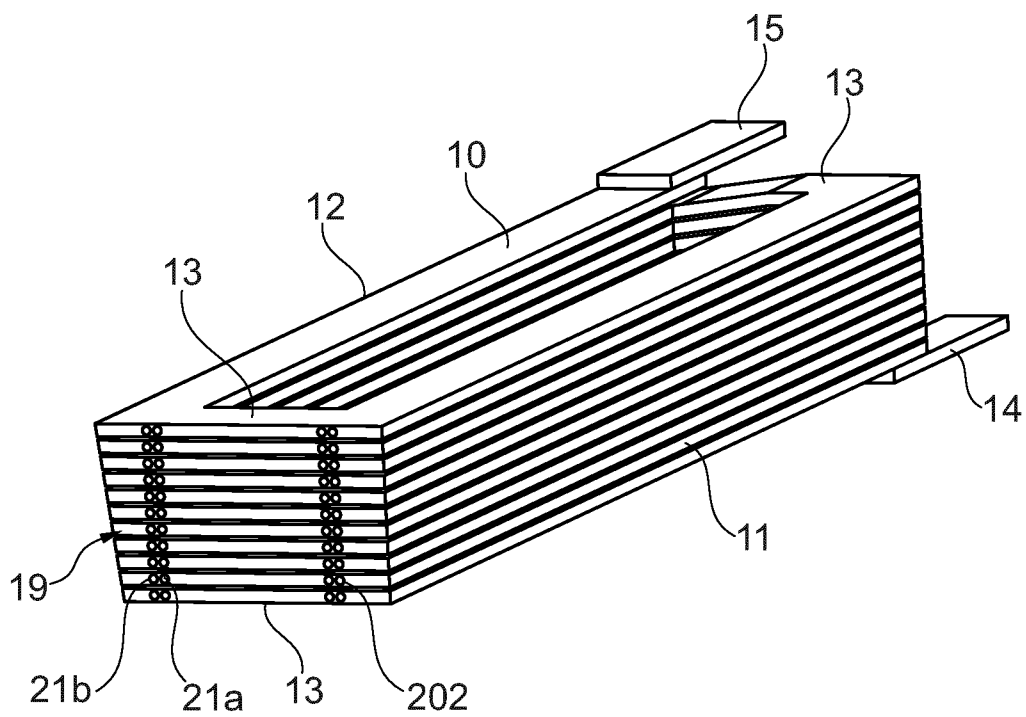


Fig. 5

3/10

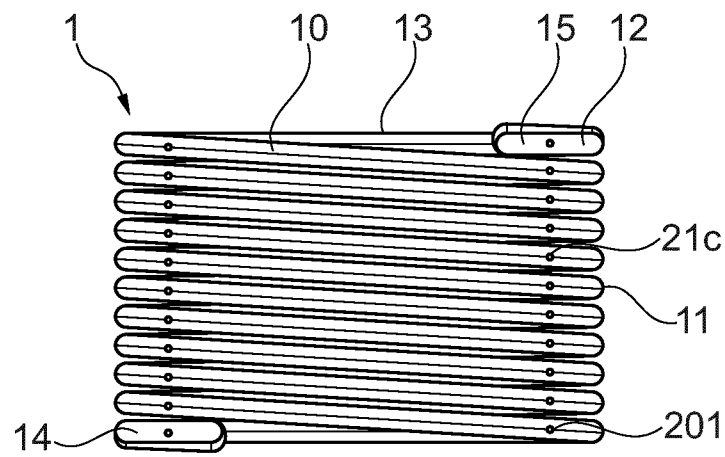


Fig. 6

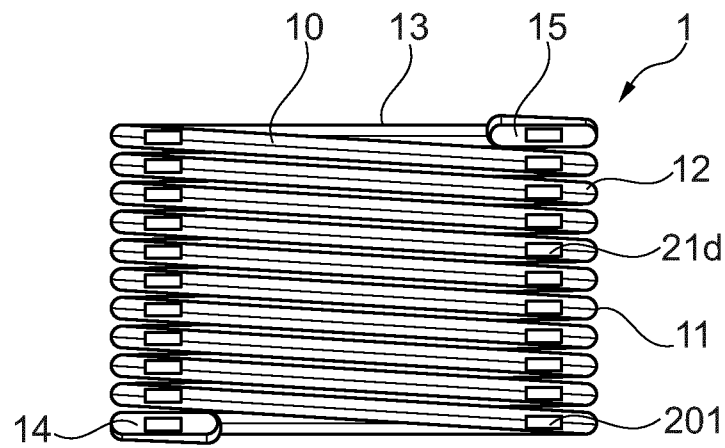


Fig. 7

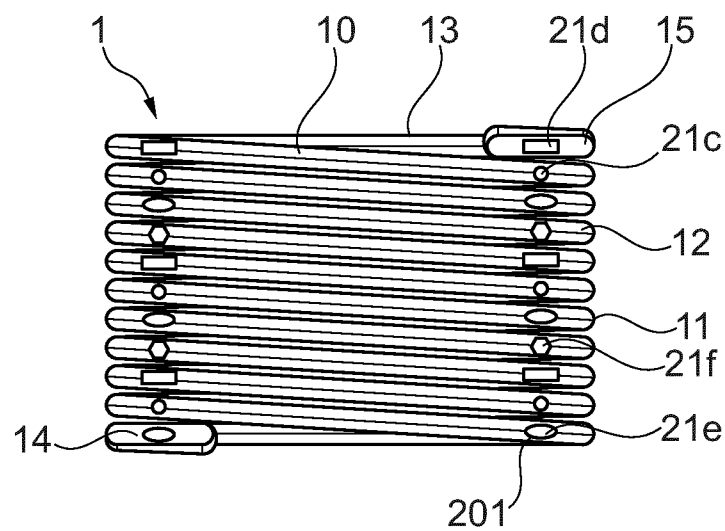


Fig. 8

5/10

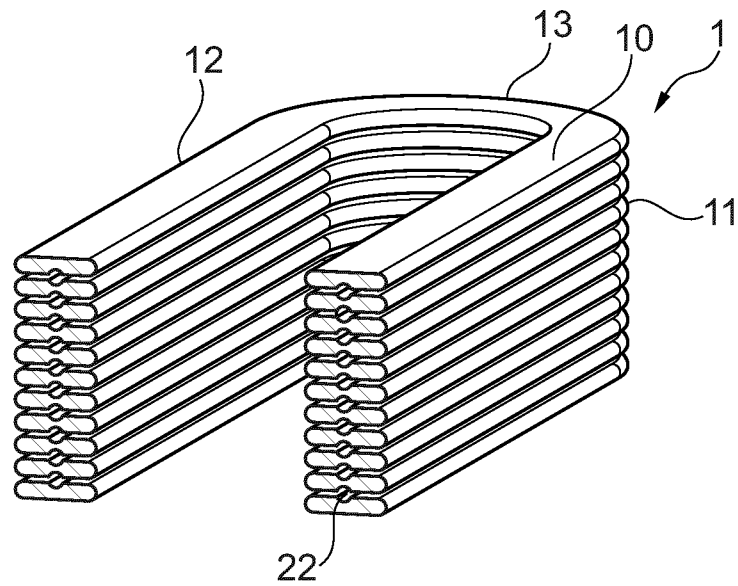


Fig. 10

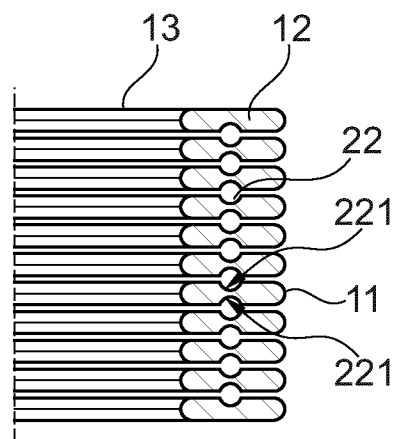


Fig. 11

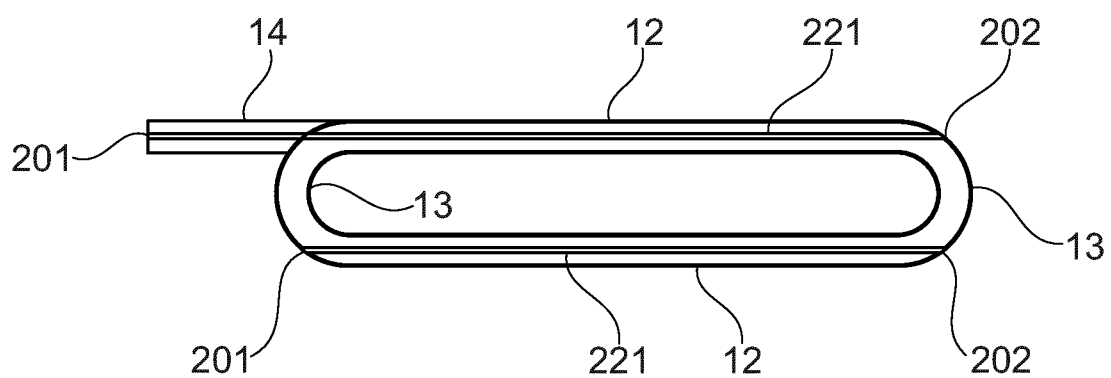


Fig. 12

6/10

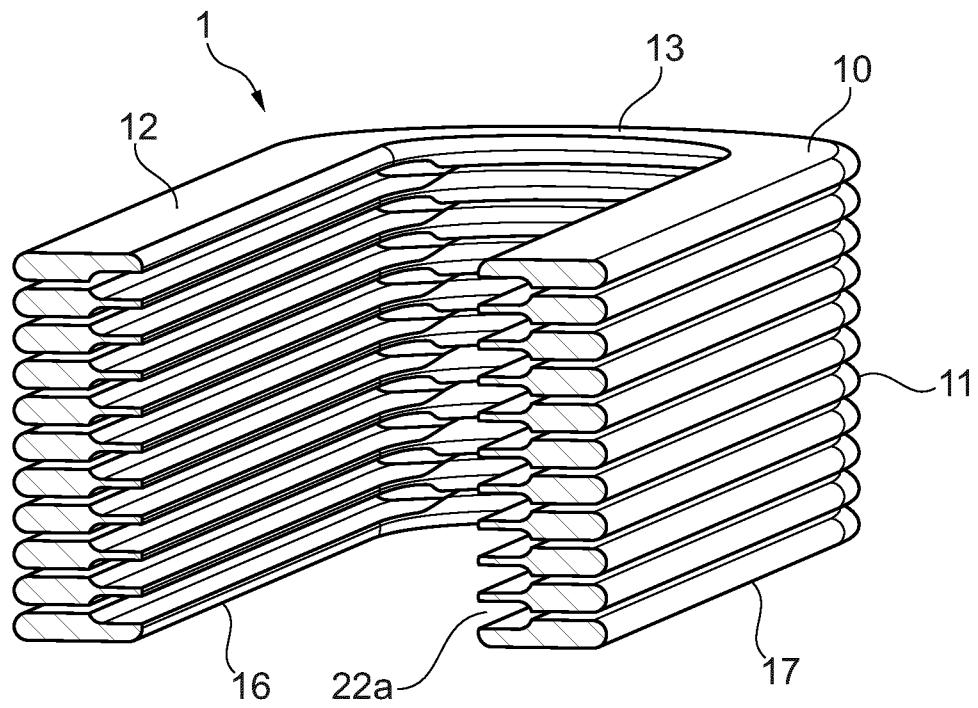


Fig. 13

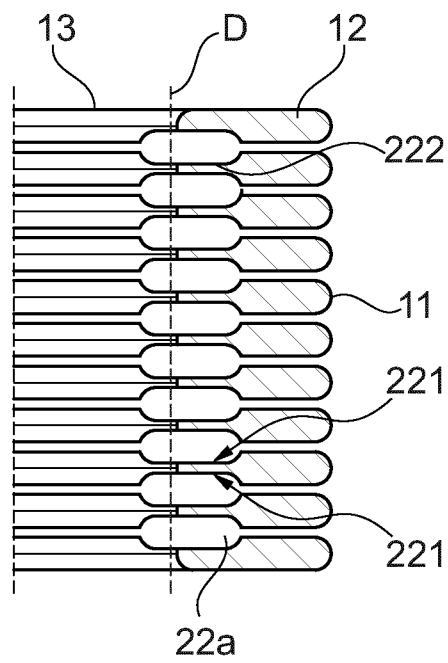


Fig. 14

7/10

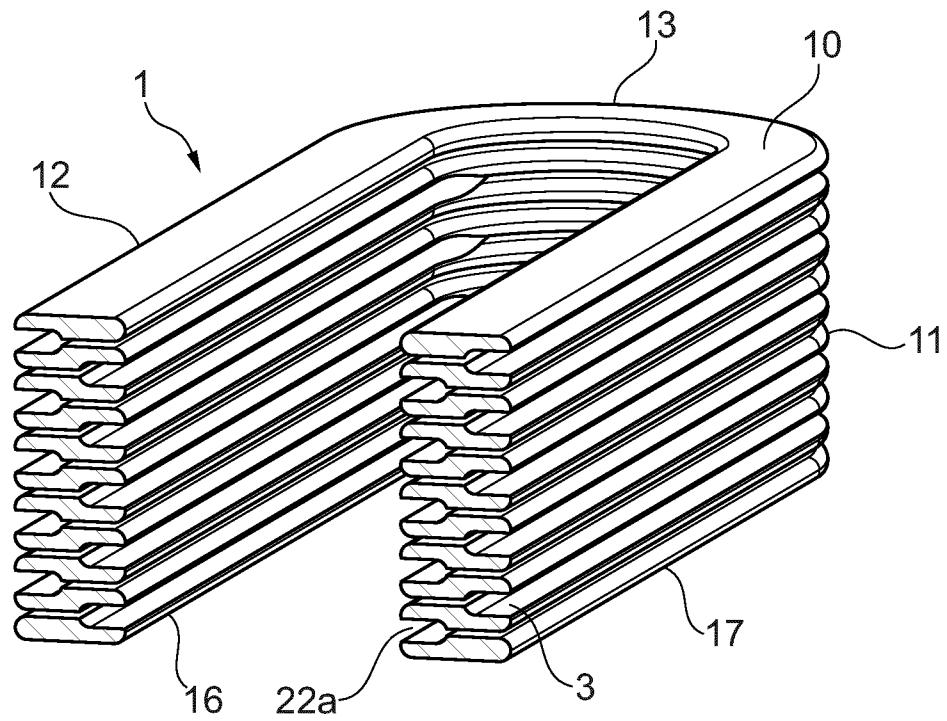


Fig. 15

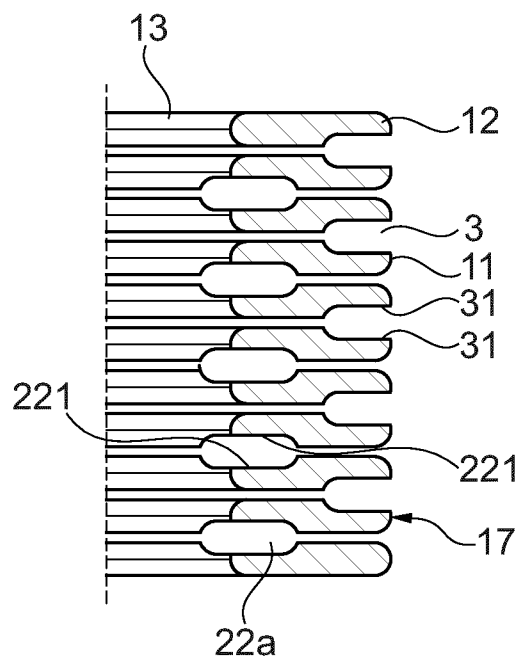


Fig. 16

8/10



Fig. 17

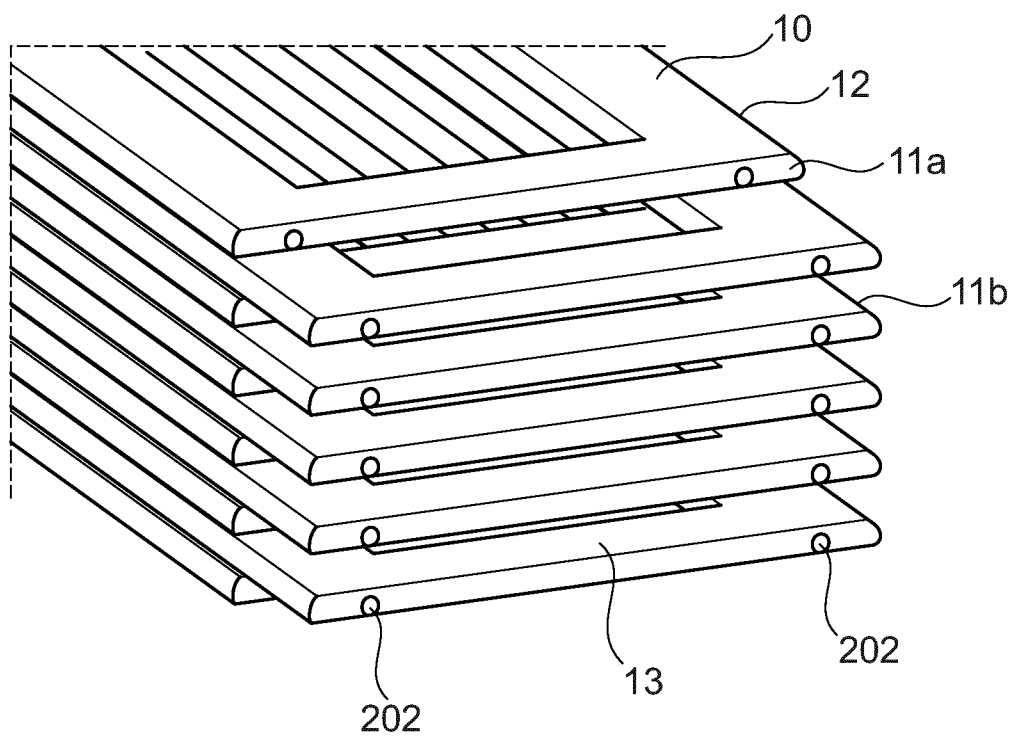
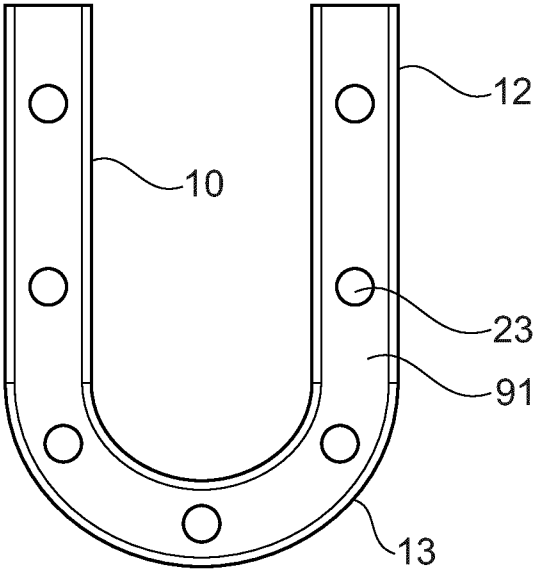
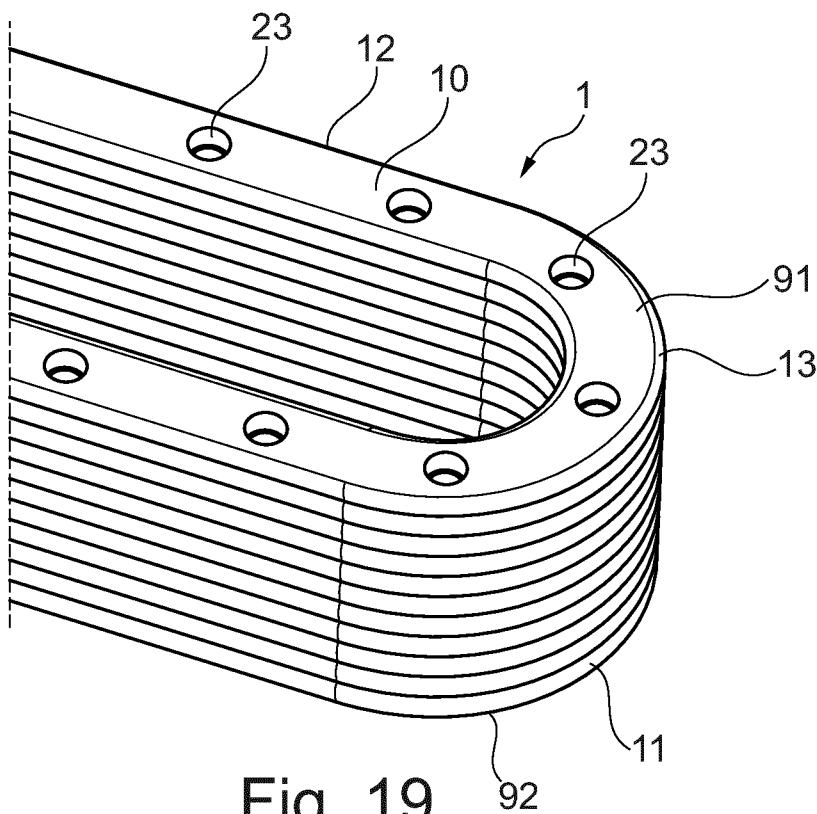


Fig. 18



10/10

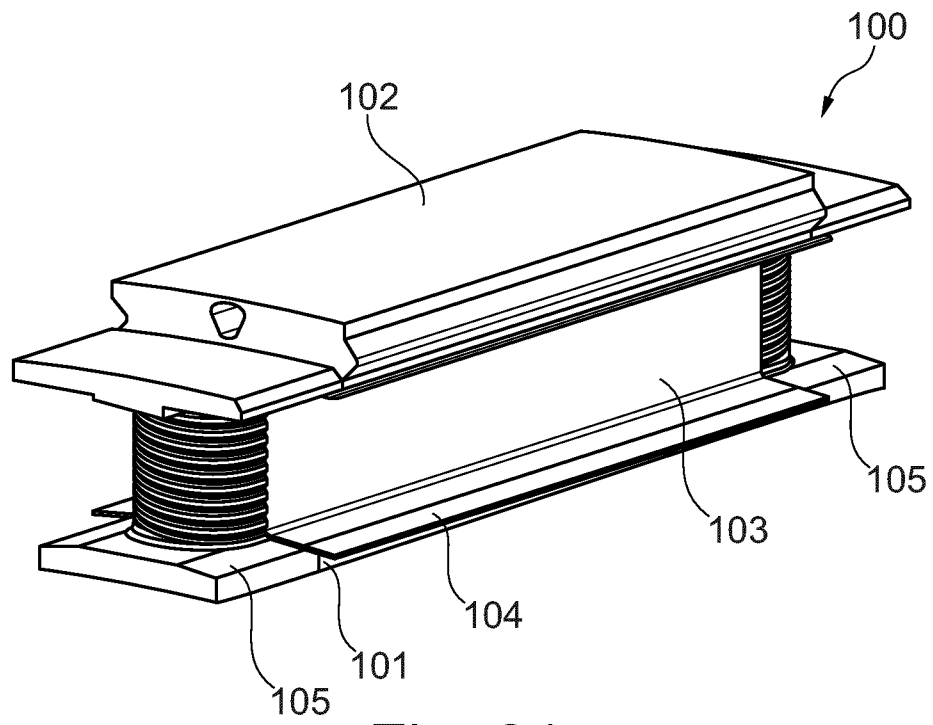


Fig. 21

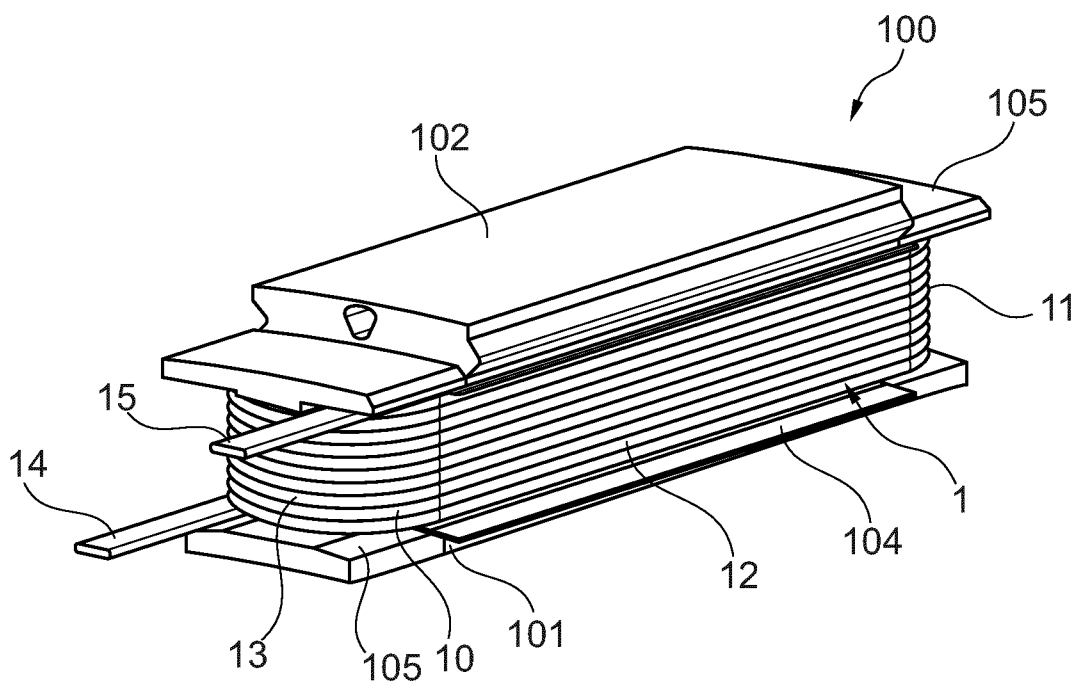


Fig. 22

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2022/067947

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01F 5/06(2006.01)i; **H02K 3/22**(2006.01)i; **H02K 3/24**(2006.01)i; **H02K 9/00**(2006.01)i; **B33Y 80/00**(2015.01)i;
H01F 27/28(2006.01)n

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H01F; H02K; B33Y

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X A	WO 2021062100 A1 (UNIV MARQUETTE) 01 April 2021 (2021-04-01) paragraphs [0052], [0058], [0061] figures 1, 2, 4	1-7,10-17,19,20 8,9,18
X A	WU FAN ET AL. "Additively Manufactured Hollow Conductors Integrated With Heat Pipes: Design Tradeoffs and Hardware Demonstration" <i>IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRY APPLICATIONS</i> , Vol. 57, No. 4, 28 April 2021 (2021-04-28), pages 3632-3642, [retrieved on 2021-07-15] DOI: 10.1109/TIA.2021.3076423 ISSN: 0093-9994, XP011866286 figures 1, 8	1-7,10-17,19,20 8,9,18
X A	DE 102013204047 A1 (FRAUNHOFER) 11 September 2014 (2014-09-11) figures 4, 5	1-7,10-17,20 8,9,18,19
X A	DE 102018209157 A1 (SIEMENS) 12 December 2019 (2019-12-12) figures 1, 2, 10	1-7,10-17,20 8,9,18,19



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

24 October 2022

Date of mailing of the international search report

11 November 2022

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

Subke, Kai-Olaf

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2022/067947**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X A	US 3261995 A (KOHN) 19 July 1966 (1966-07-19) figures 1-3, 6	1-7,10-17,20 8,9,18,19

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/EP2022/067947

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
WO	2021062100	A1	01 April 2021	BR	112022005763	A2	21 June 2022
				EP	4035256	A1	03 August 2022
				US	2022320933	A1	06 October 2022
				WO	2021062100	A1	01 April 2021
DE	102013204047	A1	11 September 2014	NONE			
DE	102018209157	A1	12 December 2019	DE	102018209157	A1	12 December 2019
				US	2021249925	A1	12 August 2021
				WO	2019233912	A1	12 December 2019
US	3261995	A	19 July 1966	FR	1325684	A	03 May 1963
				US	3261995	A	19 July 1966

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2022/067947

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES INV. H01F5/06 H02K3/22 H02K3/24 H02K9/00 B33Y80/00 ADD. H01F27/28				
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC				
B. RECHERCHIERTE GEBIETE Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole) H01F H02K B33Y				
Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen				
Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe) EPO-Internal				
C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN				
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile			Betr. Anspruch Nr.
X	WO 2021/062100 A1 (UNIV MARQUETTE) 1. April 2021 (2021-04-01)			1-7, 10-17, 19,20
A	Absätze [0052], [0058], [0061] Abbildungen 1, 2, 4			8, 9, 18
X	WU FAN ET AL: "Additively Manufactured Hollow Conductors Integrated With Heat Pipes: Design Tradeoffs and Hardware Demonstration", IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRY APPLICATIONS, Bd. 57, Nr. 4, 28. April 2021 (2021-04-28) , Seiten 3632-3642, XP011866286, ISSN: 0093-9994, DOI: 10.1109/TIA.2021.3076423 [gefunden am 2021-07-15]			1-7, 10-17, 19,20
A	Abbildungen 1, 8			8, 9, 18
☒ 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 24. Oktober 2022		Absendedatum des internationalen Recherchenberichts 11/11/2022		
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 Subke, Kai-Olaf		

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X A	DE 10 2013 204047 A1 (FRAUNHOFER) 11. September 2014 (2014-09-11) Abbildungen 4, 5	1-7, 10-17, 20 8, 9, 18, 19

X A	DE 10 2018 209157 A1 (SIEMENS) 12. Dezember 2019 (2019-12-12) Abbildungen 1, 2, 10	1-7, 10-17, 20 8, 9, 18, 19

X A	US 3 261 995 A (KOHN) 19. Juli 1966 (1966-07-19) Abbildungen 1-3, 6	1-7, 10-17, 20 8, 9, 18, 19

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2022/067947

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
WO 2021062100 A1	01-04-2021	BR 112022005763 A2	21-06-2022
		EP 4035256 A1	03-08-2022
		US 2022320933 A1	06-10-2022
		WO 2021062100 A1	01-04-2021

DE 102013204047 A1	11-09-2014	KEINE	

DE 102018209157 A1	12-12-2019	DE 102018209157 A1	12-12-2019
		US 2021249925 A1	12-08-2021
		WO 2019233912 A1	12-12-2019

US 3261995 A	19-07-1966	FR 1325684 A	03-05-1963
		US 3261995 A	19-07-1966
