



(11)

EP 3 960 886 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
03.07.2024 Patentblatt 2024/27

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):
C21D 8/12 (2006.01) **C22C 38/04** (2006.01)
C22C 38/06 (2006.01) **C22C 38/28** (2006.01)
C22C 38/34 (2006.01) **H01F 1/147** (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **20193920.4**

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
H01F 1/16; C21D 8/12; C21D 8/1233;
C21D 8/1272; C22C 38/04; C22C 38/06;
C22C 38/28; C22C 38/34; H01F 1/14791

(22) Anmeldetag: **01.09.2020**

(54) **NICHT KORNIORIENTIERTES METALLISCHES FLACHPRODUKT, VERFAHREN ZU DESSEN HERSTELLUNG SOWIE VERWENDUNG**

NON-GRAIN ORIENTED METALLIC FLAT PRODUCT, METHOD FOR ITS PRODUCTION AND USE OF SAME

PRODUIT PLAT MÉTALLIQUE À GRAINS NON ORIENTÉS, SON PROCÉDÉ DE FABRICATION AINSI QUE SON UTILISATION

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR

- **STRECKER, Nina Maria**
45147 Essen (DE)
- **DAAMEN, Julia**
47053 Duisburg (DE)
- **COSTA, Aleksander Matos**
45128 Essen (DE)

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
02.03.2022 Patentblatt 2022/09

(74) Vertreter: **Zenz Patentanwälte Partnerschaft mbB**
Gutenbergstraße 39
45128 Essen (DE)

(73) Patentinhaber: **ThyssenKrupp Steel Europe AG**
47166 Duisburg (DE)

(72) Erfinder:

- **FISCHER, Olaf**
44866 Bochum (DE)
- **TELGER, Karl**
48653 Coesfeld (DE)
- **VIDOVIC, Anton**
45134 Essen (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
EP-A1- 3 495 525 JP-A- 2002 080 948
JP-A- 2011 219 795 KR-A- 20150 073 800
US-A1- 2004 016 530

EP 3 960 886 B1

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein nicht kornorientiertes metallisches Flachprodukt, ein Verfahren zur Herstellung eines Flachprodukts sowie außerdem eine Verwendung.

[0002] Der Begriff des metallischen Flachprodukts umfasst im Rahmen der beschriebenen Entwicklungen insbesondere Walzprodukte, wie beispielsweise Stahlbänder oder Stahlbleche, mittels Ausgießens hergestellte Zuschnitte oder Platinen. Insbesondere betrifft die Erfindung Flachprodukte, die als Elektrobänd aus einem Stahl ausgebildet sind und Flachprodukte, die als Elektroblech aus einem Stahl ausgebildet sind.

[0003] Nicht kornorientierte Flachprodukte, insbesondere nicht kornorientiertes Elektrobänd oder -blech, werden in vielen elektrotechnischen Anwendungen benötigt.

[0004] Nicht kornorientiertes Elektrobänd oder -blech, häufig auch als "NO-Elektrobänd" beziehungsweise "NO-Elektroblech" bezeichnet, im Englischen als "NGO Electrical Steel" ("NGO" = Non Grain Oriented), dient beispielsweise als Grundmaterial für die Herstellung von Bestandteilen einer rotierenden elektrischen Maschine. In einer solchen Anwendung wird mit dem nicht kornorientierten metallischen Flachprodukt der Verlauf elektromagnetischer Felder gesteuert und verstärkt. Typische Anwendungsfelder derartiger Bänder und Bleche sind Rotoren und Statoren in elektrischen Motoren und elektrischen Generatoren.

[0005] Bei vielen Elektromotoren ist ein Betrieb bei hohen Drehzahlen pro Zeiteinheit gewünscht, beispielsweise bei Motoren, die für Anwendungen im Rahmen der sogenannten Elektromobilität entwickelt werden und dadurch zunehmend an Bedeutung gewinnen. Der Betrieb eines Elektromotors bei hohen Drehzahlen geht einher mit hohen Frequenzen des benötigten elektromagnetischen Wechselfelds, das letztlich die Basis für den Antrieb des Motors ist. Es sind daher zunehmend Werkstoffe erforderlich, die auf eine Anwendung in elektromagnetischen Wechselfeldern mit vergleichsweise hohen Frequenzen ausgelegt sind.

[0006] Bei der Entwicklung von Elektromotoren für einen Betrieb mit hochfrequenten Wechselfeldern sieht sich der Materialentwickler vor die Herausforderung gestellt, einen Beitrag zur Effizienzerhöhung des Elektromotors zu leisten. Vor diesem Hintergrund werden nicht kornorientierte metallische Flachprodukte, insbesondere nicht kornorientiertes Elektrobänd und nicht kornorientiertes Elektroblech, benötigt, welche vergleichsweise niedrige Ummagnetisierungsverluste bei vergleichsweise hohen Frequenzen mit einer vergleichsweise hohen magnetischen Polarisierung und Induktion sowie vergleichsweise hoher Permeabilität kombinieren.

[0007] Nicht kornorientierte Stähle gehen beispielsweise aus der JP 2002 080948 A, der KR 2015 0073800 A und der JP 2011 219795 A hervor.

[0008] Gute Kombinationen dieser Eigenschaften werden in bewährten Elektrobändern und Elektroblechen durch einen hohen Gewichtsanteil von Silizium und/oder von Aluminium in der Ausgangslegierung des Elektrobands beziehungsweise des Elektroblechs herbeigeführt. Hohe Anteile dieser Elemente gehen jedoch in der Regel mit dem nachteiligen Effekt einher, dass entsprechende bisher bekannte NO-Elektrobänder beziehungsweise NO-Elektrobleche mit den genannten Eigenschaften infolge ihres hohen Silizium- und/oder Aluminium-Gehalts ein vergleichsweise hohes Maß an Sprödigkeit aufweisen mit den damit einhergehenden Nachteilen in der Verarbeitbarkeit, beispielsweise in der Kaltwalzbarkeit. Beispielsweise können während einem Kaltwalzen entsprechenden NO-Elektrobands vermehrt Bandreißer auftreten.

[0009] Vor dem Hintergrund der obigen Erläuterungen liegt der Erfindung die Aufgabe zu Grunde, Alternativen für bekannte Stahlflachprodukte bereitzustellen, die hinsichtlich ihrer magnetischen Eigenschaften in gleichbleibendem oder höherem Maße den gestellten Anforderungen entsprechen. Die bereitzustellenden Flachprodukte sollen auch bei sehr niedrigen Enddicken von beispielsweise weniger als 0,35 mm verwendbar sein.

[0010] Die Erfindung wird gelöst mit einem Flachprodukt mit den Merkmalen des Anspruchs 1. Die Erfindung wird außerdem gelöst mit einem Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 5. Die Erfindung umfasst außerdem ein Flachprodukt mit den Merkmalen des Anspruchs 6 und eine Verwendung mit den Merkmalen des Anspruchs 8.

[0011] Es ist ein nicht kornorientiertes metallisches Flachprodukt vorgesehen, das aus einem Stahl mit den nachfolgend genannten Legierungsbestandteilen besteht, die Elemente angegeben in Gewichts-Prozent, kurz: Gew.-%:

C: 0,0020 bis 0,005;

Si: 2,6 bis 2,9;

Al: 0,5 bis 0,8;

Mn: 1,1 bis 1,3;

Cr: 0,7 bis 1,6, bevorzugt 0,9 bis 1,6, besonders bevorzugt 1,0 bis 1,6;

N: 0,0001 bis 0,0060;

S: 0,0001 bis 0,0035;

Ti: 0,001 bis 0,010;

P: 0,004 bis 0,060;

optionale Bestandteile: 0,001 bis zu 0,15;

Rest Fe und unvermeidbare Verunreinigungen.

[0012] Es versteht sich, dass die Angabe des Rests sich darauf bezieht, dass die Gewichtsanteile aller Legierungsbestandteile inklusive des Rests sich zu 100 Gew.-% summieren.

[0013] Als optionale Bestandteile können Ni, Cu, Sn, Co, Zr, Nb, V und Mo vorliegen, solange die Summe der Gewichtsanteile dieser Elemente die oben angegebene Grenze nicht überschreitet.

[0014] Mg und Ca können prozessbedingt mit einem Anteil zwischen 0,0005 bis 0,005 Gew.-% enthalten sein und sind im Rahmen dieser Beschreibung in den oben erwähnten unvermeidbaren Verunreinigungen enthalten.

[0015] Eine entscheidende Maßnahme für eine Bereitstellung eines Flachprodukts mit einer Eigenschaftskombination aus vorteilhaften magnetischen Eigenschaften und vorteilhaften mechanischen Eigenschaften konnte erzielt werden, indem mit der erfindungsgemäßen Legierungsvorschrift der Mn-Anteil und der Cr-Anteil an dem Flachprodukt gegenüber bekannten Zusammensetzungen von Elektrobändern oder -blechen beträchtlich erhöht ist.

[0016] Durch den insoweit erhöhten Mn-Gehalt und durch den insoweit erhöhten Cr-Gehalt wird gegenüber Materialien mit hohem Si- und/oder Al-Gehalt, aber niedrigem Mn- und/oder Cr-Gehalt, überraschenderweise nicht nur ein Eigenschaftsprofil der magnetischen Eigenschaften im Rahmen der gewünschten Werte erreicht, sondern zusätzlich wurden überraschende Ergebnisse erhalten, die auf vorteilhaftes Verhalten bei mechanischer Beanspruchung, beispielsweise bei einem Kaltwalzen, schließen lassen. Beides wird nachfolgend im Rahmen von der Beschreibung hergestellter Beispiele eingehend erläutert und belegt.

[0017] Hinsichtlich der magnetischen Eigenschaften hat sich überraschenderweise gezeigt, dass die erfindungsgemäßen Materialien eine vergleichsweise hohe magnetische Polarisierung mit vergleichsweise niedrigen Ummagnetisierungsverlusten kombinieren.

[0018] Bevorzugt handelt es sich bei dem nicht kornorientierten Flachprodukt um nicht kornorientiertes Elektrobänder oder nicht kornorientiertes Elektroblech, jeweils aus einem Stahl mit erfindungsgemäßer Legierungszusammensetzung.

[0019] Bevorzugte erfindungsgemäße Flachprodukte weisen Polarisierungen und Ummagnetisierungsverluste auf, für welche alternativ oder kumulativ die nachfolgenden Relationen gelten:

$$\begin{aligned} & \text{Abs} [P_{1,0;1000} \times d / (J_{200;1000} \times ([\text{Mn}] + [\text{Cr}]^2)) < 9, \text{ und/oder} \\ & P_{1,0;400} < 16 \text{ W/kg, und/oder} \\ & P_{1,0;1000} < 70 \text{ W/kg.} \end{aligned}$$

[0020] Die Formelzeichen in der oberen Formel sind dabei wie folgt gewählt:

- "Abs[]": Absolutbetrag der innerhalb der eckigen Klammer befindlichen Werte;
- $P_{1,0;1000}$: Ummagnetisierungsverluste in W/kg in einem elektromagnetischen Wechselfeld mit 1000 Hz Ummagnetisierungsfrequenz und 1,0 T magnetischer Flussdichte im Material;
- $P_{1,0;400}$: Ummagnetisierungsverluste in W/kg in einem elektromagnetischen Wechselfeld mit 400 Hz Ummagnetisierungsfrequenz und 1,0 T magnetischer Flussdichte im Material;
- $J_{200;1000}$: Magnetische Polarisierung bei einer magnetischen Feldstärke von 200 A/m in einem elektromagnetischen Wechselfeld mit 1000 Hz;
- d: Dicke des Materials in mm.

[0021] Alle Zahlenwerte der obigen Werte sind innerhalb der eckigen Klammer der Formel als dimensionslose Zahlenwerte, das heißt: ohne die Einheiten, einzusetzen. Es handelt sich um eine empirisch gefundene Formel, welche die erhaltenen Ergebnisse zusammenfasst und bei den bevorzugten erfindungsgemäßen Proben gültig ist, wenn die dimensionslosen Zahlenwerte eingesetzt werden, die zu den oben erläuterten Formelzeichen mit den oben angegebenen Einheiten gehörig sind.

[0022] Die Relation $P_{1,0;400} < 16 \text{ W/kg}$ gibt an, dass Ummagnetisierungsverluste in W/kg in einem elektromagnetischen Wechselfeld mit 400 Hz Ummagnetisierungsfrequenz und 1,0 T magnetischer Flussdichte im Material weniger als 16 W/kg betragen.

[0023] Die Relation $P_{1,0;1000} < 16 \text{ W/kg}$ gibt an, dass Ummagnetisierungsverluste in W/kg in einem elektromagnetischen Wechselfeld mit 1000 Hz Ummagnetisierungsfrequenz und 1,0 T magnetischer Flussdichte im Material weniger als 70 W/kg betragen.

[0024] Alternativ oder zusätzlich gilt bevorzugt:

$J_{200;1000} > 1,0$, dass also die magnetische Polarisierung bei einer magnetischen Feldstärke von 200 A/m in einem elektromagnetischen Wechselfeld mit 1000 Hz größer als 1,0 T ist.

[0025] Verfahren zur Bestimmung von Polarisierung und Feldstärke sind dem Fachmann bekannt, beispielsweise mittels eines Epsteinrahmens zur Bestimmung der Polarisierung, insbesondere gemäß DIN EN 60404-2:2009-01: Magnetische Werkstoffe - Teil 2: Verfahren zur Bestimmung der magnetischen Eigenschaften von Elektrobänder und -blech mit Hilfe

eines Epsteinrahmens.

[0026] Bevorzugte Flachprodukte können alternativ oder zusätzlich dadurch charakterisiert werden, dass bei einer Temperatur zwischen jeweils einschließlich 18 °C und 28 °C, wobei also 18 und 28 °C ebenfalls mitumfasst sind, bevorzugt bei jeder Temperatur zwischen jeweils einschließlich 20 °C und 24 °C, die folgende Relation eingehalten ist:

$$2,2 \leq ([Mn] + [Cr])^2 \times [\rho_{\text{spez}}] \leq 5,5$$

mit:

[Mn]: dimensionsloser Wert des Mn-Gehalts in Gew.-%,

[Cr]: dimensionsloser Wert des Cr-Gehalts in Gew.-%,

$[\rho_{\text{spez}}]$: dimensionsloser Wert des spezifischen elektrischen Widerstands in $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$, insbesondere an schlussgeglühtem Kaltband.

[0027] Es hat sich gezeigt, dass Flachprodukte, bei denen die oben genannte Relation zwischen spezifischem elektrischen Widerstand und Mn- sowie Cr-Gehalt erfüllt ist, in besonders erwünschtem Maße die gewünschten Eigenschaften kombinieren. Mit der Relation wird der Gewichtsanteil von Mn an der Stahllegierung mit dem Gewichtsanteil von Cr an der Stahllegierung verknüpft. Dadurch wird für einen gegebenen spezifischen Widerstand erreicht, dass zum einen ein Mindestgehalt an auch in der Summe der beiden Mn oder Cr vorhanden ist, mit dem ein Herbeiführen des spezifischen Widerstands und der damit einhergehenden elektromagnetischen Eigenschaften möglich ist und zum Anderen ein Maximalgehalt an Mn oder Cr auch in der Summe der beiden nicht überschritten wird mit den damit einhergehenden Nachteilen in den elektromagnetischen Eigenschaften.

[0028] Ein besonders bevorzugtes Flachprodukt lässt sich alternativ oder zusätzlich durch die überraschend festgestellte Eigenschaft des Flachprodukts charakterisieren, dass sich durch ein Glühen des Produktionsverfahrens ein erhöhter Gehalt an Mn und Cr in den Oberflächenschichten einstellt. Das heißt mit anderen Worten: In den Randschichten des Flachprodukts reichert sich Mn und Cr gegenüber dem Inneren des Flachprodukts an.

[0029] Das heißt beispielsweise, dass eine Tiefe unterhalb der Oberfläche existiert, bis zu welcher hin das Flachprodukt in einem oberhalb eines bestimmten Maßes einen höheren Mn-Gehalt und einen höheren Cr-Gehalt aufweist als im Inneren des Flachprodukts, wobei selbstverständlich diese Tiefe beidseitig existiert, also an der Oberseite und an der Unterseite des Flachprodukts.

[0030] Bevorzugt weist das Flachprodukt in einer Randschicht, das heißt: einem Grenzbereich zur Oberfläche, einen Gehalt an Mn und Cr auf, der integriert über das Volumen dieses Grenzbereichs im Verhältnis zu einem Gehalt an Al und Si einen Wert von 0,2 oder höher beträgt.

[0031] In einem besonders bevorzugten Spezialfall weist das Flachprodukt in den obersten 0,95 Mikrometern unterhalb seiner Oberfläche, integriert über das Volumen dieses Grenzbereichs, einen Gehalt an Mn und Cr auf, der im Verhältnis zu einem Gehalt an Al und Si einen Wert von 0,2 oder höher beträgt.

[0032] Mit anderen Worten gilt bevorzugt, dass die Oberflächenschicht von 0 bis 0,95 μm , das heißt bis in eine Tiefe von 0,95 Mikrometern unterhalb der Oberfläche, nach der Schlussglühung, dass das Verhältnis von der Summe der Massenbelegung des Volumenintegrals von Mn und Cr zu der Summe der Massenbelegung des Volumenintegrals von Si und Al größer oder gleich 0,2 ist.

[0033] Mathematisch ausgedrückt:

$$\int_0^{0,95} ([Mn] + [Cr]) / \int_0^{0,95} ([Al] + [Si]) \geq 0,2$$

mit:

[Mn]: dimensionsloser Wert des Mn-Gehalts in Gew.-%,

[Cr]: dimensionsloser Wert des Cr-Gehalts in Gew.-%,

[Al]: dimensionsloser Wert des Al-Gehalts in Gew.-%,

[Si]: dimensionsloser Wert des Si-Gehalts in Gew.-%,

die Grenzen des Integrals geben die Tiefe in Mikrometern unterhalb der Oberfläche an und das Integralsymbol symbolisiert, dass bis zu einer Tiefe von 0,95 μm und über die gesamte Fläche des erfindungsgemäß bevorzugten Flachprodukts integriert das Verhältnis der Summe aus Mn-Gehalt und Cr-Gehalt zu der Summe aus Al-Gehalt und Si-Gehalt größer ist als 0,2.

[0034] Es hat sich in tiefen aufgelösten Elementanalysen überraschenderweise gezeigt, dass mit der erfindungsgemäß

vorliegenden Elementzusammensetzung die Voraussetzung für die genannte Anreicherung an Mn und Cr in oberflächennahen Bereichen des Flachprodukts geschaffen ist. Diese Besonderheit der Elementanreicherung von Mn und Cr in den oberflächennahen Bereichen wurde an schlussgeglühten Proben mittels Glimmentladungsspektroskopie (engl. Glow-discharge optical emission spectroscopy (GDOES)) nach Prüfvorschrift ISO 11505:2012-12 experimentell ermittelt.

[0035] Aufgrund der besonderen und neuartigen Verteilung der Elemente in der Oberflächenschicht bis in eine Tiefe von 0,95 μm des erfindungsgemäßen Flachprodukts mit einem höheren Mn- und Cr-Gehalt im Vergleich zu herkömmlichen hochsilizierten Elektroband-Flachprodukten kann in einem gewissen Maße unterbunden werden, dass sich die dem Fachmann bekannten versprödenden Ordnungsphasen (D03-Strukturen) durch eine Anreicherung hoher Si- und Al-Gehalte in der Oberfläche ausbilden, vermutlich herbeigeführt durch eine Mn- und Crbedingte "Störung" der Ordnung im Atomgitter. Dadurch, dass die bekannten Si- und Al-induzierten Sprödphasen aufgrund des beschriebenen anteiligen Übergewichts im Sinne einer relativ zum Si-Gehalt und Al-Gehalt erfolgten Anreicherung von Mn und Cr zwangsläufig in ihrem Ausmaß zurückgehen, entfallen folglich die dem Fachmann bekannten nachteiligen Auswirkungen dieser Sprödphasen auf die Umformeignung, weswegen die erfindungsgemäßen Flachprodukte und ihre Weiterbildungen eine bessere Verarbeitbarkeit beim Kaltwalzen, Stanzen und Beschichten sowie generell beim Umformen aufweist.

[0036] Erfindungsgemäß weist das Flachprodukt bei einer Temperatur von 28°C einen spezifischen elektrischen Widerstand zwischen 0,60 $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$ und 0,70 $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$ auf, wobei bevorzugte Weiterbildungen zwischen 0,60 $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$ und 0,65 $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$ aufweisen. Ein spezifischer elektrischer Widerstand mit dieser Maßgabe korreliert mit den erhaltenen guten magnetischen Eigenschaften.

[0037] Erfindungsgemäß liegt das Flachprodukt mit einer Höchstdicke von weniger als 0,35 mm vor, wobei eine Dicke zwischen 0,19 mm und 0,31 mm besonders bevorzugt ist. In einer Ausführung ist das Flachprodukt ein Blech oder ein Band, dessen Dicke an jeder Stelle das genannte Kriterium erfüllt. Das Flachprodukt liegt bevorzugt in den genannten niedrigen Dicken vor, da bei diesen niedrigen Dicken die Ummagnetisierungsverluste geringer sind als bei höheren Dicken. Die verbesserte Verarbeitbarkeit des erfindungsgemäßen Flachprodukts entfaltet infolge der erwarteten hervorragenden Kaltwalzbarkeit dadurch seine besonderen Vorteile.

[0038] Mit einem der nachfolgend erläuterten Verfahren können Materialien hergestellt werden, welche die auf der eingangs beschriebenen Legierungsvorschrift basierenden Vorteile aufweisen. Beispielsweise wird durch das nachfolgend erläuterte erfindungsgemäße Verfahren ein Flachprodukt hergestellt, das eine besonders vorteilhafte Eigenschaftskombination aufweist. Es werden die folgenden Schritte durchgeführt:

- A) das Schmelzen einer Schmelze, enthaltend eine Elementzusammensetzung nach der eingangs genannten Legierungsvorschrift;
- B) Vergießen der Schmelze zu einem walzbaren Vorprodukt, insbesondere einem Vorband, einer Bramme oder einer Dünnbramme;
- C) Warmwalzen des Vorprodukts mit einer Walzendtemperatur zwischen 820°C und 890°C;
- D) Beizen;
- E) Warmbandglühung;
- F) Kaltwalzen;
- G) Schlussglühung.

[0039] Im Rahmen der vorliegenden Erfindung wird unter Schlussglühung die Glühung des erfindungsgemäßen Flachprodukts am Ende des Herstellungsverfahrens, das heißt: als letzter Verfahrensschritt vor der Isolierlackbeschichtung, verstanden.

[0040] Besonders vorteilhafte Eigenschaften werden erhalten, da das Vorprodukt erfindungsgemäß zu Beginn des Warmwalzens auf eine Vorwärmtemperatur von nicht mehr als 1200°C erwärmt wird.

Schritt D) erfolgt nach Schritt C)

[0041] Erfindungsgemäß wird das Warmband im Anschluss an Schritt C) oder, sofern durchgeführt, im Anschluss an Schritt D) vor, sofern durchgeführt, Schritt E) und/oder vor Schritt F) aufgehaspelt mit einer Haspeltemperatur zwischen 500°C und 750°C.

[0042] Erfindungsgemäß wird das Warmbandglühen des Schritts E) bei einer Temperatur zwischen 700 °C und 790 °C durchgeführt. Erfindungsgemäß wird das Warmbandglühen nicht weniger als 12 Stunden und nicht mehr als 36 Stunden lang durchgeführt.

[0043] Das Kaltwalzen des Schritts F) führt bei einem erfindungsgemäßen Gesamtkaltwalzgrad zwischen 75 % und 90 % zu besonders vorteilhaften Eigenschaften des erhaltenen Flachprodukts. Erfindungsgemäß wird das Flachprodukt auf eine Dicke zwischen 0,19 mm und 0,31 mm gewalzt wird. Erfindungsgemäß werden nicht mehr als vier Stiche durchgeführt.

[0044] Für das Schlussglühen haben sich Eigenschaften als vorteilhaft erwiesen, wenn es erfindungsgemäß bei einer

Temperatur zwischen 930°C und 1070°C durchgeführt wird, wobei besonders bevorzugt die Dauer des Schlussglühens maximal 300 Sekunden beträgt. Die minimale Dauer des Schlussglühens beträgt bevorzugt 50 Sekunden.

[0045] Das Schlussglühen erfolgt bevorzugt in einem kontinuierlich betriebenen und von dem Flachprodukt zu durchfahrenen Ofen, beispielsweise in einem horizontalen Durchlaufofen.

[0046] Besonders bevorzugt ist, wenn die beschriebene Schlussglühung einstufig, aber nicht zweistufig erfolgt.

[0047] Erfindungsgemäß erfolgen die Schritte A) bis G) in ihrer alphabetisch vorgegebenen Reihenfolge.

[0048] Ein weiterer Aspekt der vorliegenden Anmeldung ist ein Flachprodukt, welches mit einem der vorgenannten Verfahren oder seiner Weiterbildungen erhältlich ist.

[0049] Ein weiterer Aspekt der vorliegenden Anmeldung ist eine Verwendung eines Ausschnitts, der aus einem der vorgenannten Flachprodukte ausgestanzt ist, als Lamelle einer rotierenden elektrischen Maschine.

Beispiele:

[0050] Nachfolgend wird die Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen näher erläutert.

[0051] Es wurden 3 erfindungsgemäße Elektrobänder hergestellt, nachfolgend als Variante 1, Variante 2 und Variante 3 bezeichnet. Die Zusammensetzungen der Varianten 1, 2 und 3 sind in Tabelle 1 aufgeführt. Weitere Varianten, bezeichnet als Variante Ref. 1, Variante Ref. 2 und Variante Ref. 3, dienen als nicht erfindungsgemäße Vergleichsproben, deren Legierungszusammensetzungen ebenfalls in Tabelle 1 aufgeführt sind.

[0052] Aus den angegebenen Legierungen wurden geringe Schwefel- und Stickstoffgehalte über einen Pflannenofen eingestellt und über Strangguß beziehungsweise Dünnbrammengießen Brammen erzeugt. Aus diesen wurde sodann mittels Warmwalzen, Beizen, Warmbandglühung, Kaltwalzen und Schlussglühung jeweils ein Band hergestellt. Das Material wurde bei den Beispielen vor dem Warmwalzen auf maximal 1200 °C erwärmt, gewalzt auf eine Warmbanddicke von 1,3-1,9 mm bis zu einer Walzendtemperatur von 820 °C-890 °C und Haspeltemperatur von 500 °C-750 °C.

[0053] Die erzeugten Warmbänder werden gebeizt und anschließend bei 700-790 °C für 24 Stunden geglüht, wobei dieser Schritt nicht zwingend Bestandteil der Erfindung ist, er ist also optional. Das geglühte Warmband wurde mit einem Gesamtkaltwalzgrad von 75-90 % auf eine Enddicke von 0,19-0,31 mm (+/- 8%) mit maximal 4 Stichen umgeformt.

[0054] Die Schlussglühung erfolgt mit einer maximalen Temperatur zwischen 930-1070°C.

[0055] Die Herstellungsparameter der Varianten 1 bis 3 sowie Ref. 1 bis Ref. 3 sind in Tabelle 1 wiedergegeben.

Tabelle 1

Probe	Vorwärmtemperatur vor Warmwalzen in Grad Celsius	Walzendtemperatur in Grad Celsius	Warmbanddicke in mm	Haspeltemperatur in Grad Celsius	Warmbandgütemperatur in Grad Celsius	Gesamtkaltwalzgrad in Prozent	Enddicke in mm	Anzahl Stiche	Schlussgütemperatur in Grad Celsius
Var. 1	1120	840°C	1,6	620	740	Unterschiedlich s. Tabelle 4	Unterschiedlich s. Tabelle 4	4	Unterschiedlich s. Tabelle 4
Var. 2	1120	840°C	1,6	620	740	s.o.	s.o.	4	s.o.
Var. 3	1120	840°C	1,6	620	740	s.o.	s.o.	4	s.o.
Ref. 1	1120	840°C	1,6	620	740	s.o.	s.o.	4	s.o.
Ref. 2	1120	840°C	1,6	620	740	s.o.	s.o.	4	s.o.
Ref. 3	1120	840°C	1,6	620	740	s.o.	s.o.	4	s.o.

EP 3 960 886 B1

[0056] Der spezifische elektrische Widerstand der Proben wurde nach der Schlussglühung gemessen. Hierzu wurde eine Wheatstonesche Messbrücke gemäß DIN EN 60404-13:2015-01 verwendet.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

Tabelle 2

Var.	C [Gew.-%]	Si [Gew.-%]	Mn [Gew.-%]	Al [Gew.-%]	Cr [Gew.-%]	P [Gew.-%]	Ti [Gew.-%]	N [Gew.-%]	S [Gew.-%]	Spez. Elektr. Widerstand bei 28°C [Ω mm ² /m]	$2,2 \leq [\rho_{\text{spez}}] \times ([\text{Mn}] + [\text{Cr}])^2 \leq 5,5$
1	0,0038	2,72	1,20	0,77	1,01	0,02	0,0050	0,0026	0,0030	0,626	ja
2	0,0041	2,74	1,20	0,77	1,31	0,02	0,0050	0,0025	0,0030	0,642	ja
3	0,0040	2,70	1,20	0,70	1,60	0,02	0,0030	0,0030	0,0030	0,643	ja
Ref. 1	0,0034	3,29	0,16	0,93	0,07	0,03	0,0040	0,0018	0,0020	0,625	nein
Ref. 2	0,0031	3,22	0,16	0,75	0,02	0,01	0,0040	0,0010	0,0012	0,588	nein
Ref. 3	0,0023	2,67	0,20	0,74	0,04	0,02	0,0042	0,0010	0,0010	0,525	nein

EP 3 960 886 B1

[0057] In Tabelle 3 sind Eigenschaften der hergestellten Proben 1 bis 3 und Ref. 1 bis Ref. 3 gezeigt.

[0058] Die magnetischen Werte P bei 1,0 T und 1000 Hz sowie J bei 200 A/m und 1000 Hz wurden mittels $60 \times 60 \text{ mm}^2$ -Tafel gemäß IEC404-3 bestimmt, wobei jeweils ein Mittelwert aus einem Längs- und einem Querwert gebildet wurde.

[0059] Es zeigt sich insbesondere, dass neben der sehr guten Polarisation, bei 1000 Hz und einer magnetischen Feldstärke von 200 A/m, ein wünschenswert geringer magnetischer Ummagnetisierungsverlust P bei 1,0 T und 1000 Hz auftritt, der in etwa in der Größenordnung der an den Referenzproben erhaltenen Ergebnisse liegt.

Tabelle 3

Variante	P bei 1,0 T 1000 Hz [W/kg]	J bei 200 A/m 1000 Hz [T]	d [mm]	$ P(1,0_{1000}) \times d /$ $(J(200_{1000}) \times$ $([Mn] + [Cr])^2) \leq 9$	Erfinderisch
1	61, 83	1,11	0,25	2,85	ja
2	60, 86	1,08	0,25	2,33	ja
3	58, 04	1,08	0,25	1,78	ja
Ref. 1	63,75	0,98	0,27	329,15	nein
Ref. 2	54, 64	1,20	0,25	337,55	nein
Ref. 3	80, 17	0,91	0,35	536,70	nein

[0060] In Tabelle 4 sind die folgenden Eigenschaften der hergestellten Proben 1.1, 2.1, 2.2, 2.3, 3.1 aus den Analysen 1-3 und den Proben Ref. 1.1, 1.2, 2.1, 3.1 bis 3.5 aus den Analysen Ref. 1-3 gezeigt, wobei sich die Ziffern nach dem Punkt darauf beziehen, dass stichprobenartig aus einer Probe für die optische Analyse mehrere Proben hergestellt wurden, um die Belastbarkeit der durchgeführten Untersuchungen zu untermauern. Aus den Referenzmaterialien 3 beispielsweise wurden fünf Proben hergestellt, die mit 3.1 bis 3.5 durchnummeriert wurden.

[0061] Die Besonderheit der Elementanreicherung von Mn und Cr in den Oberflächenschichten des Flachprodukts wurde mittels Glimmentladungsspektroskopie nach Prüfvorschrift ISO 11505:2012-12 ermittelt. Die Messung erfolgt an der Oberseite (OS) und Unterseite (US) der Proben. Außerdem wurde an den Probenstellen Rand (R1/R2) und Mitte (M) über Bandbreite gemessen. Aus den erhaltenen Messkurven der Masse über Probentiefe von 0 bis $12 \mu\text{m}$ wurde eine das Integralauswertung der Massenbelegung von der Oberfläche ($0 \mu\text{m}$) bis zu einer Probentiefe von $0,95 \mu\text{m}$ für Mn, Cr, Al und Si berechnet.

Tabelle 4

Variante	Probe	Dicke	Kaltwalzgrad	Schlussglüh- temperatur	Position OS/US	Position R1/M/R2	Massenbelegung pro Fläche integriert über das Volumen von der Oberfläche bis zu einer Tiefe von 0,95 µm				Verhältnis von (Summe der Gehalte Mn und Cr von Oberfläche bis zu einer Tiefe von 0,95 µm) zu (Summe der Gehalte Al und Si von Oberfläche bis zu einer Tiefe von 0,95 µm)				
		[mm]	[%]	Temperatur [°C]			Mn [kg/m ³]	Cr [kg/m ³]	Al [kg/m ³]	Si [kg/m ³]					$\frac{\int_0^{0,95} ([Mn] + [Cr])}{\int_0^{0,95} ([Al] + [Si])} \geq 0,2$
1	1.1	0,25	84,4	1030	OS	M	65	59	127	175					ja
1	1.1	0,25	84,4	1030	US	M	70	61	114	174					ja
1	1.1	0,25	84,4	960	OS	M	47	45	89	157					ja
1	1.1	0,25	84,4	960	US	M	58	63	86	194					ja
2	2.1	0,35	78,1	1000	OS	R1	59	56	126	201					ja
2	2.1	0,35	78,1	1000	US	R1	66	53	142	210					ja
2	2.1	0,35	78,1	1000	OS	M	62	61	127	214					ja
2	2.1	0,35	78,1	1000	US	M	73	57	144	232					ja
2	2.1	0,35	78,1	1000	OS	R2	56	56	117	191					ja
2	2.1	0,35	78,1	1000	US	R2	65	56	134	206					ja
2	2.2	0,27	83,1	1000	OS	R1	52	51	124	185					ja
2	2.2	0,27	83,1	1000	US	R1	56	54	133	195					ja
2	2.2	0,27	83,1	1000	OS	M	54	54	116	193					ja
2	2.2	0,27	83,1	1000	US	M	58	61	111	204					ja

(fortgesetzt)

Variante	Probe	Dicke	Kaltwalzgrad	Schlussglüh temperatur	Positio n	Position	Massenbelegung pro Fläche integriert über das Volumen von der Oberfläche bis zu einer Tiefe von 0,95 µm				Verhältnis von (Summe der Gehalte Mn und Cr von Oberfläche bis zu einer Tiefe von 0,95 µm) zu (Summe der Gehalte Al und Si von Oberfläche bis zu einer Tiefe von 0,95 µm)	$\int_0^{0,95}([Mn]+[Cr])/$ $\int_0^{0,95}([Al]+[Si])$	$\int_0^{0,95}([Mn]+[Cr])/$ $\int_0^{0,95}([Al]+[Si]) \geq$ 0,2
		[mm]	[%]	Temperatur			Mn	Cr	Al	Si			
				[°C]			[kg/m ³]	[kg/m ³]	[kg/m ³]	[kg/m ³]			
2	2.2	0,27	83,1	1000	OS	R2	61	59	128	199	0,367	ja	
2	2.2	0,27	83,1	1000	US	R2	57	59	120	194	0,370	ja	
2	2.3	0,25	84,4	1000	OS	R1	54	44	136	199	0,292	ja	
2	2.3	0,25	84,4	1000	US	R1	63	63	133	195	0,381	ja	
2	2.3	0,25	84,4	1000	OS	M	62	62	130	201	0,378	ja	
2	2.3	0,25	84,4	1000	US	M	65	59	148	213	0,342	ja	
2	2.3	0,25	84,4	1000	OS	R2	66	61	139	209	0,367	ja	
2	2.3	0,25	84,4	1000	US	R2	62	63	126	193	0,391	ja	
3	3.1	0,25	84,4	1000	OS	R1	50	50	149	172	0,310	ja	
3	3.1	0,25	84,4	1000	US	R1	57	58	175	182	0,323	ja	
3	3.1	0,25	84,4	1000	OS	M	59	60	162	186	0,343	ja	
3	3.1	0,25	84,4	1000	US	M	58	57	194	183	0,305	ja	
3	3.1	0,25	84,4	1000	OS	R2	60	50	208	170	0,291	ja	
3	3.1	0,25	84,4	1000	US	R2	65	52	195	177	0,313	ja	

(fortgesetzt)

			Kaltwalzgrad	Schlussglüh temperatur	Positio n OS/US	Position R1/M/R2	Massenbelegung pro Fläche integriert über das Volumen von der Oberfläche bis zu einer Tiefe von 0,95 µm				Verhältnis von (Summe der Gehalte Mn und Cr von Oberfläche bis zu einer Tiefe von 0,95 µm) zu (Summe der Gehalte Al und Si von Oberfläche bis zu einer Tiefe von 0,95 µm)	
	Probe	Dicke		Temperatur			Mn	Cr	Al	Si	$f_{0,95}([Mn]+[Cr])/f_{0,95}([Al]+[Si])$	$f_{0,95}([Mn]+[Cr])/f_{0,95}([Al]+[Si]) \geq 0,2$
		[mm]	[%]	[°C]			[kg/m ³]	[[kg/m ³]	[kg/m ³]	[kg/m ³]	□	
Referenz 1	R1.1	0,27	83,1	1030	OS	M	10	2	150	238	0,030	nein
Referenz 1	R1.1	0,27	83,1	1030	US	M	10	2	121	243	0,032	nein
Referenz 1	R1.2	0,25	84,4	1030	OS	M	9	2	129	236	0,030	nein
Referenz 1	R1.2	0,25	84,4	1030	US	M	9	2	118	233	0,031	nein
Referenz 2	R2.1	0,25	84,4	1030	OS	M	12	2	98	247	0,040	nein
Referenz 2	R2.1	0,25	84,4	1030	US	M	12	2	89	247	0,041	nein
Referenz 3	R3.1	0,35	78,1	1000	OS	M	5	1	138	132	0,021	nein
Referenz 3	R3.1	0,35	78,1	1000	US	M	4	1	133	117	0,020	nein

(fortgesetzt)

Variante	Probe	Dicke	Kaltwalzgrad	Schlussglüh- temperatur	Positio- n	Position	Massenbelegung pro Fläche integriert über das Volumen von der Oberfläche bis zu einer Tiefe von 0,95 µm				Verhältnis von (Summe der Gehalte Mn und Cr von Oberfläche bis zu einer Tiefe von 0,95 µm) zu (Summe der Gehalte Al und Si von Oberfläche bis zu einer Tiefe von 0,95 µm)	
							Mn	Cr	Al	Si		$\int_0^{0,95}([Mn]+[Cr])/ \int_0^{0,95}([Al]+[Si]) \geq 0,2$
		[mm]	[%]	[°C]			[kg/m³]	[kg/m³]	[kg/m³]	[kg/m³]	□	
Referenz 3	R3.2	0,25	84,4	1030	OS	M	12	2	79	212	0,049	nein
Referenz 3	R3.2	0,25	84,4	1030	US	M	12	2	82	209	0,050	nein
Referenz 3	R3.3	0,25	84,4	1030	OS	M	11	2	91	217	0,044	nein
Referenz 3	R3.3	0,25	84,4	1030	US	M	12	3	96	203	0,050	nein
Referenz 3	R3.4	0,25	84,4	1030	OS	M	13	2	122	201	0,047	nein
Referenz 3	R3.4	0,25	84,4	1030	US	M	10	2	103	223	0,038	nein
Referenz 3	R3.5	0,25	84,4	1030	OS	M	12	2	98	207	0,048	nein
Referenz 3	R3.5	0,25	84,4	1030	US	M	13	2	103	198	0,051	nein

Patentansprüche

1. Nicht kornorientiertes metallisches Flachprodukt, bestehend aus den nachfolgend genannten Bestandteilen in Gewichts-Prozent, kurz: Gew.-%:

C: 0,0020 bis 0,005;

Si: 2,6 bis 2,9;

Al: 0,5 bis 0,8;

Mn: 1,1 bis 1,3;

Cr: 0,7 bis 1,6;

N: 0,0001 bis 0,0060;

S: 0,0001 bis 0,0035;

Ti: 0,001 bis 0,010;

P: 0,004 bis 0,060;

optionale Bestandteile: in der Summe 0,001 bis zu 0,15 an Ni, Cu, Sn, Co, Zr, Nb, V und Mo;

Rest Fe und unvermeidbare Verunreinigungen, wobei das Flachprodukt eine Dicke d von $d < 0,35$ mm aufweist und es bei 28 °C einen spezifischen elektrischen Widerstand von $0,60 \Omega\text{mm}^2/\text{m} \leq \rho_{\text{spez}} \leq 0,70 \Omega\text{mm}^2/\text{m}$ aufweist.

2. Flachprodukt nach Anspruch 1, wobei

$\text{Abs}[P_{1,0;1000} \times d / (J_{200;1000} \times ([\text{Mn}] + [\text{Cr}]^2)) < 9$, und/oder

$P_{1,0;400} < 16$ W/kg, und/oder

$P_{1,0;1000} < 70$ W/kg, und/oder

J bei 200 A/m und 1000 Hz $> 1,0$ T;

jeweils bevorzugt bei einer Dicke des Flachprodukts zwischen 0,19 mm und 0,31 mm.

3. Flachprodukt nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei bei einer Temperatur zwischen jeweils einschließlich 18 °C und 28 °C, bevorzugt bei jeder Temperatur zwischen 20 °C und 24 °C, gilt

$$2,2 \leq ([\text{Mn}] + [\text{Cr}])^2 \times [\rho_{\text{spez}}] \leq 5,5$$

mit:

[Mn]: dimensionsloser Wert des Mn-Gehalts in Gew.-%,

[Cr]: dimensionsloser Wert des Cr-Gehalts in Gew.-%,

$[\rho_{\text{spez}}]$: dimensionsloser Wert des spezifischen elektrischen Widerstands in $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$ an schlussgeglühtem Kaltband.

4. Flachprodukt nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei in einem Grenzbereich zur Oberfläche bis zu einer Tiefe von 0,95 μm das Verhältnis von einem Gehalt in kg/m^3 an Summe von Mn und Cr zu einem Gehalt in kg/m^3 an Summe von Al und Si 0,2 oder größer ist, was mathematisch wie folgt ausgedrückt ist:

$$\int_0^{0,95} ([\text{Mn}] + [\text{Cr}]) / \int_0^{0,95} ([\text{Al}] + [\text{Si}]) \geq 0,2$$

mit:

[Mn]: dimensionsloser Wert des Mn-Gehalts in Gew.-%,

[Cr]: dimensionsloser Wert des Cr-Gehalts in Gew.-%,

[Al]: dimensionsloser Wert des Al-Gehalts in Gew.-%,

[Si]: dimensionsloser Wert des Si-Gehalts in Gew.-%,

wobei die Grenzen des Integrals die Tiefe in Mikrometern unterhalb der Oberfläche angeben und das Integralsymbol symbolisiert, dass bis zu einer Tiefe von 0,95 μm und über die gesamte Fläche des erfindungsgemäß bevorzugten Flachprodukts integriert das Verhältnis der Summe aus Mn-Gehalt und Cr-Gehalt zu der Summe aus Al-Gehalt und Si-Gehalt 0,2 ist oder größer ist als 0,2.

5. Verfahren zur Herstellung eines Flachprodukts, wobei das Flachprodukt eine Dicke d von $d < 0,35$ mm aufweist,

aufweisend die nachfolgenden Herstellungsschritte, wobei die Schritte A) bis G) in ihrer alphabetisch vorgegebenen Reihenfolge erfolgen:

A) Erschmelzen einer Schmelze, enthaltend eine Elementzusammensetzung aus den nachfolgend genannten Bestandteilen in Gewichts-Prozent, kurz: Gew.-%:

C: 0,0020 bis 0,005;

Si: 2,6 bis 2,9;

Al: 0,5 bis 0,8;

Mn: 1,1 bis 1,3;

Cr: 0,7 bis 1,6;

N: 0,0001 bis 0,0060;

S: 0,0001 bis 0,0035;

Ti: 0,001 bis 0,010;

P: 0,004 bis 0,060;

optionale Bestandteile: in der Summe 0,001 bis zu 0,15 an Ni, Cu, Sn, Co, Zr, Nb, V und Mo;

Rest Fe und unvermeidbare Verunreinigungen;

B) Vergießen der Schmelze zu einem walzbaren Vorprodukt, insbesondere einem Vorband, einer Bramme oder einer Dünnbramme;

C) Warmwalzen des Vorprodukts mit einer Walzendtemperatur zwischen 820 °C und 890 °C, wobei das Vorprodukt zu Beginn des Warmwalzens auf eine Vorwärmtemperatur von höchstens 1200 °C erwärmt wird;

D) Beizen;

E) Warmbandglühung bei einer Temperatur zwischen 700 und 790 °C für einen Zeitraum zwischen 12 h und 36 h;

F) Kaltwalzen mit einem Gesamtkaltwalzgrad zwischen 75 % und 90 %, wobei das Flachprodukt mit maximal vier Stichen und bevorzugt auf eine Dicke zwischen 0,19 mm und 0,31 mm gewalzt wird;

G) Schlussglühung bei einer Temperatur zwischen 930 °C und 1070 °C,

wobei das Warmband in Anschluss an Schritt C) oder in Anschluss an Schritt D) aufgehaspelt wird mit einer Haspeltemperatur zwischen 500 °C und 750 °C.

6. Flachprodukt, erhältlich mit einem Verfahren nach Anspruch 5.

7. Flachprodukt nach Anspruch 6, aufweisend die Eigenschaften nach einem der Ansprüche 1 bis 4.

8. Verwendung eines aus einem Flachprodukt nach einem der Ansprüche 1 bis 4 ausgestanzten Ausschnitts als Lamelle einer rotierenden elektrischen Maschine.

Claims

1. A non-grain oriented metallic flat product, consisting of the following named components in percent by weight, abbreviated to: wt%:

C: 0.0020 to 0.005;

Si: 2.6 to 2.9;

Al: 0.5 to 0.8;

Mn: 1.1 to 1.3;

Cr: 0.7 to 1.6;

N: 0.0001 to 0.0060;

S: 0.0001 to 0.0035;

Ti: 0.001 to 0.010;

P: 0.004 to 0.060;

optional components: in total 0.001 up to 0.15 of Ni, Cu, Sn, Co, Zr, Nb, V and Mo;

the remainder being Fe and unavoidable impurities, wherein the flat product has a thickness d of $d < 0.35$ mm and has a specific electrical resistance at 28 °C of $0.60 \Omega\text{mm}^2/\text{m} \leq \rho_{\text{spec}} \leq 0.70 \Omega\text{mm}^2/\text{m}$.

2. A flat product according to Claim 1, wherein

$\text{AbS}[P_{1.0;1000} \times d / (J_{200;1000} \times ([\text{Mn}] + [\text{Cr}]^2)) < 9$, and/or
 $P_{1.0;400} < 16 \text{ W/kg}$, and/or
 $P_{1.0;1000} < 70 \text{ W/kg}$, and/or
 $J > 1.0 \text{ T}$ at 200A/m and 1000Hz;

in each case preferably when the thickness of the flat product is between 0.19 mm and 0.31 mm.

3. The flat product according to one of the preceding claims, wherein at a temperature between 18 °C and 28 °C, inclusive in each case, preferably at any temperature between 20 °C and 24 °C, the following applies:

$$2.2 \leq ([\text{Mn}] + [\text{Cr}])^2 \times [\rho_{\text{spec}}] \leq 5.5$$

wherein:

$[\text{Mn}]$: is a dimensionless value of the Mn content in wt%,
 $[\text{Cr}]$: is a dimensionless value of the Cr content in wt%,
 $[\rho_{\text{spec}}]$: is a dimensionless value of the specific electrical resistance of the final annealed cold strip in $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$.

4. The flat product according to any one of the preceding claims, wherein in a boundary region to a depth from the surface of up to 0.95 μm , the ratio between a content in kg/m^3 of total Mn and Cr and a content in kg/m^3 of total Al and Si is 0.2 or greater, which is expressed mathematically as follows:

$$\int_0^{0.95} ([\text{Mn}] + [\text{Cr}]) / \int_0^{0.95} ([\text{Al}] + [\text{Si}]) \geq 0.2$$

wherein:

$[\text{Mn}]$: is a dimensionless value of the Mn content in wt%,
 $[\text{Cr}]$: is a dimensionless value of the Cr content in wt%,
 $[\text{Al}]$: is a dimensionless value of the Al content in wt%,
 $[\text{Si}]$: is a dimensionless value of the Cr content in wt%,

wherein the limits of the integral define the depth below the surface in micrometres, and the integral symbol represents that the ratio between the sum of Mn content and Cr content and the sum of Al content and Si content is 0.2 or is greater than 0.2 integrated to a depth of 0.95 μm and over the entire surface area of the preferred flat product according to the invention.

5. A method for producing a flat product, wherein the flat product has a thickness d of $d < 0.35 \text{ mm}$, including the following production steps, wherein steps A) to G) are carried out in their alphabetically defined order:

A) melting a melt containing an elemental composition from the following names components in percent by weight, abbreviated to: wt%:

C: 0.0020 to 0.005;
 Si: 2.6 to 2.9;
 Al: 0.5 to 0.8;
 Mn: 1.1 to 1.3;
 Cr: 0.7 to 1.6;
 N: 0.0001 to 0.0060;
 S: 0.0001 to 0.0035;
 Ti: 0.001 to 0.010;
 P: 0.004 to 0.060;
 optional components: in total 0.001 up to 0.15 of Ni, Cu, Sn, Co, Zr, Nb, V and Mo;
 the remainder being Fe and unavoidable impurities;

B) casting the melt into a rollable semi-finished product, in particular a semi-finished strip, slab or thin slab;
 C) hot rolling the semi-finished product with a final rolling temperature between 820 °C and 890 °C, wherein the semi-finished product is heated to preheating temperature not exceeding 1200 °C at the start of hot rolling;

- D) pickling;
 E) hot-rolled strip annealing at a temperature between 700 °C and 790 °C for a period between 12 h and 36 h;
 F) cold rolling with a total cold rolling degree between 75% and 90%, wherein the flat product is rolled with a maximum of four passes and preferably to a thickness between 0.19 mm and 0.31 mm;
 G) final annealing at a temperature between 930 °C and 1070 °C,

wherein the hot strip is coiled with a coil temperature between 500 °C and 750 °C following the step C) or following the step D).

6. A flat product that can be obtained with a method according to Claim 5.
7. The flat product according to Claim 6, having the properties according to any one of Claims 1 to 4.
8. Use of a segment punched out of a flat product according to any one of Claims 1 to 4 as a fin in a rotating electrical machine.

Revendications

1. Produit métallique plat à grains non orientés, constitué des composants suivants, en pourcentage en poids, abrégé % en poids :

C : de 0,0020 à 0,005 ;
 Si : de 2,6 à 2,9 ;
 Al : de 0,5 à 0,8 ;
 Mn : de 1,1 à 1,3 ;
 Cr : de 0,7 à 1,6 ;
 N : de 0,0001 à 0,0060 ;
 S : de 0,0001 à 0,0035 ;
 Ti : de 0,001 à 0,010 ;
 P : de 0,004 à 0,060 ;
 composants optionnels, en somme, de 0,001 à 0,15 de Ni, Cu, Sn, Co, Zr, Nb, V et Mo ;
 un reste de Fe et des impuretés inévitables, le produit plat présentant une épaisseur d de $d < 0,35$ mm et faisant preuve à 28 °C d'une résistance électrique spécifique de $0,60 \Omega\text{mm}^2 / \text{m} \leq \rho_{\text{spez}} \leq 0,70 \Omega\text{mm}^2 / \text{m}$.

2. Produit plat selon la revendication 1, pour lequel

$\text{Abs} [p_{1,0; 1000} \times d / (J_{200; 1000} \times ([\text{Mn}] + [\text{Cr}]^2)) < 9$, et / ou
 $P_{1,0; 400} < 16 \text{ W} / \text{kg}$, et / ou
 $P_{1,0; 1000} < 70 \text{ W} / \text{kg}$, et / ou
 $J \text{ à } 200 \text{ A} / \text{m et } 1000 \text{ Hz} > 1,0 \text{ T}$;
 chaque fois de préférence pour une épaisseur du produit plat comprise entre 0,19 mm et 0,31 mm.

3. Produit plat selon l'une quelconque des revendications précédentes, à une température comprise entre respectivement 18 °C et 28 °C inclus, de préférence à une température comprise entre 20 °C et 24 °C, s'appliquant

$$2,2 \leq ([\text{Mn}] + [\text{Cr}])^2 \times [\rho_{\text{spez}}] \leq 5,5$$

avec

[Mn] : valeur adimensionnelle de la teneur en Mn en % en poids,
 [Cr] : valeur adimensionnelle de la teneur en Cr en % en poids,
 $[\rho_{\text{spez}}]$: valeur adimensionnelle de la résistance électrique spécifique en $\Omega\text{mm}^2 / \text{m}$ sur le feuillard froid ayant subi un recuit final.

4. Produit plat selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans une zone limitrophe de la surface jusqu'à une profondeur de 0,95 m, le rapport en kg / m^3 de la somme de Mn et Cr à une teneur en kg / m^3 de la somme

de Al et de Si étant de 0,2 ou plus, ce qui s'exprime mathématiquement selon les termes suivants :

$$\int_0^{0,95} ([Mn] + [Cr]) / \int_0^{0,95} ([Al] + [Si]) \geq 0,2$$

avec :

[Mn]: valeur adimensionnelle de la teneur en Mn en % en poids,

[Cr]: valeur adimensionnelle de la teneur en Cr en % en poids,

[Al]: valeur adimensionnelle de la teneur en Al en % en poids,

[Si]: valeur adimensionnelle de la teneur en Si en % en poids,

les limites de l'intégrale indiquant la profondeur en micromètres en-dessous de la surface et le symbole intégrale symbolisant que jusqu'à une profondeur de 0,95 μm et en intégration sur l'ensemble de la surface du produit plat préférentiel selon l'invention, le rapport de la somme de la teneur en Mn et de la teneur en Ce à la somme de la teneur en Al et de la teneur en Si est de 0,2 ou supérieur à 0,2.

5. Procédé, destiné à fabriquer un produit plat, le produit plat présentant une épaisseur d de $d < 0,35$ mm, comportant les étapes de fabrication suivantes, les étapes A à G s'effectuant selon leur ordre alphabétiquement prédéfini :

A) fusion d'une masse fondue, contenant une composition élémentaire constituée des composants ci-dessous cités en pourcentage en poids, en abrégé : % en poids :

C : de 0,0020 à 0,005 ;

Si : de 2,6 à 2,9 ;

Al : de 0,5 à 0,8 ;

Mn : de 1,1 à 1,3 ;

Cr : de 0,7 à 1,6 ;

N : de 0,0001 à 0,0060 ;

S : de 0,0001 à 0,0035 ;

Ti : de 0,001 à 0,010 ;

P : de 0,004 à 0,060 ;

composants optionnels, en somme, de 0,001 à 0,15 de Ni, Cu, Sn, Co, Zr, Nb, V et Mo ;

un reste de Fe et des impuretés inévitables ;

B) coulage de la masse fondue en un produit de base laminable, notamment une ébauche de feuillard, une brame ou une brame mince ;

C) laminage à chaud du produit de base à une température finale de laminage comprise entre 820 °C et 890 °C, au début du laminage à chaud, le produit de base étant chauffé à une température de préchauffage d'au plus 1200 °C

D) décapage ;

E) recuit du feuillard chaud à une température comprise entre 700 et 790 °C, sur une période comprise entre 12 h et 36 h,

F) laminage à froid avec un taux de laminage total à froid compris entre 75 % et 90 %, le produit plat étant laminé avec un maximum de quatre passes et de préférence à une épaisseur comprise entre 0,19 mm et 0,31 mm ;

G) recuit final à une température comprise entre 930 °C et 1070 °C,

à la suite de l'étape C ou à la suite de l'étape D), le feuillard chaud étant enroulé à une température d'enroulement comprise entre 500 °C et 750 °C.

6. Produit plat, susceptible d'être obtenu d'après un procédé selon la revendication 5.

7. Produit plat selon la revendication 6, présentant les propriétés selon l'une quelconque des revendications 1 à 4.

8. Utilisation d'un coupon découpé dans un produit plat selon l'une quelconque des revendications 1 à 4 en tant que lamelle d'une machine électrique en rotation.

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- JP 2002080948 A [0007]
- KR 20150073800 A [0007]
- JP 2011219795 A [0007]