

(19)



(11)

EP 3 960 886 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
02.03.2022 Patentblatt 2022/09

(21) Anmeldenummer: **20193920.4**

(22) Anmeldetag: **01.09.2020**

(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)

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
C21D 8/1233; C21D 8/1272; C22C 38/04;
C22C 38/06; C22C 38/28; C22C 38/34;
H01F 1/14775; H01F 1/14791

(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
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA ME
Benannte Validierungsstaaten:
KH MA MD TN

(71) Anmelder: **ThyssenKrupp Steel Europe AG**
47166 Duisburg (DE)

(72) Erfinder:
• **FISCHER, Olaf**
44866 Bochum (DE)

- **TELGER, Karl**
48653 Coesfeld (DE)
- **VIDOVIC, Anton**
45134 Essen (DE)
- **WINKLER, Nina Maria**
45147 Essen (DE)
- **DAAMEN, Julia**
47053 Duisburg (DE)
- **COSTA, Aleksander Matos**
47057 Duisburg (DE)

(74) Vertreter: **Zenz Patentanwälte Partnerschaft mbB**
Rüttenscheider Straße 2
45128 Essen (DE)

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

(57) Die Erfindung betrifft ein nicht kornorientiertes metallisches Flachprodukt, das unter anderem vergleichsweise hohe Gewichtsanteile an Mn und Cr aufweist. Die Erfindung betrifft außerdem ein Verfahren zur Herstellung und eine Verwendung.

EP 3 960 886 A1

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 Elektroband aus einem Stahl ausgebildet sind und Flachprodukte, die als Elektrolech aus einem Stahl ausgebildet sind.

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

[0004] Nicht kornorientiertes Elektroband oder -blech, häufig auch als "NO-Elektroband" beziehungsweise "NO-Elektrolech" 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 Elektroband und nicht kornorientiertes Elektrolech, benötigt, welche vergleichsweise niedrige Ummagnetisierungsverluste bei vergleichsweise hohen Frequenzen mit einer vergleichsweise hohen magnetischen Polarisierung und Induktion sowie vergleichsweise hoher Permeabilität kombinieren.

[0007] Gute Kombinationen dieser Eigenschaften werden in bewährten Elektrobändern und Elektrolechen durch einen hohen Gewichtsanteil von Silizium und/oder von Aluminium in der Ausgangslegierung des Elektrobands beziehungsweise des Elektrolechs herbeigeführt. Hohe Anteile dieser Elemente gehen jedoch in der Regel mit dem nachteiligen Effekt einher, dass entsprechende bisher bekannte NO-Elektrobänder beziehungsweise NO-Elektroleche 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.

[0008] 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.

[0009] 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 7. Die Erfindung umfasst außerdem ein Flachprodukt mit den Merkmalen des Anspruchs 13 und eine Verwendung mit den Merkmalen des Anspruchs 15.

[0010] 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;

[0011] 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 insbesondere 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:

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

und/oder

$$P_{1,0;400} < 16 \text{ W/kg},$$

und/oder

$$P_{1,0;1000} < 70 \text{ W/kg}.$$

[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 Polarisation bei einer magnetischen Feldstärke von 200 A/m in einem elektromagnetischen Wechselfeld mit 1000 Hz größer als 1,0 T ist.

[0025] Verfahren zu Bestimmung von Polarisation und Feldstärke sind dem Fachmann bekannt, beispielsweise mittels eines Epsteinrahmens zur Bestimmung der Polarisation, 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:

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

mit:

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

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

$[\rho_{spez}]$: 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 $0,95\text{ }\mu\text{m}$ 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 tiefeaufgelösten 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 $0,95\text{ }\mu\text{m}$ 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 versprödhenden 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 Sprödhphasen 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 Sprödhphasen auf die Umformeignung, weswegen die erfindungsgemäßen Flachprodukte und ihre Weiterbildungen eine bessere Verarbeitbarkeit beim Kaltwalzen, Stanzen und Beschichten sowie generell beim Umformen aufweist.

[0036] Besonders bevorzugt kann ein erfindungsgemäßes Flachprodukt alternativ oder zusätzlich dadurch charakterisiert werden, dass der spezifische elektrische Widerstand bei einer Temperatur von 28°C einen Wert zwischen $0,60\text{ }\Omega\text{mm}^2/\text{m}$ und $0,70\text{ }\Omega\text{mm}^2/\text{m}$, noch bevorzugter zwischen $0,60\text{ }\Omega\text{mm}^2/\text{m}$ und $0,65\text{ }\Omega\text{mm}^2/\text{m}$, aufweist. Ein spezifischer elektrischer Widerstand mit dieser Maßgabe korreliert mit den erhaltenen guten magnetischen Eigenschaften.

[0037] Besonders bevorzugt liegt das Flachprodukt mit einer Höchstdicke von weniger als $0,35\text{ mm}$ vor, wobei eine Dicke zwischen $0,19\text{ mm}$ und $0,31\text{ mm}$ 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) optional Warmbandglühung;
- F) Kaltwalzen;
- G) Schlusssglühung.

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

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

Schritt D) erfolgt nach Schritt C)

[0041] Besonders bevorzugt ist, dass 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 wird mit einer Haspeltemperatur zwischen 500°C und 750°C .

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

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

[0044] Für das Schlussglühen haben sich Eigenschaften als vorteilhaft erwiesen, wenn es bei einer bevorzugten 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] Besonders bevorzugt 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 Pfannenofen 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	Warmbandgühtemperatur in Grad Celsius	Gesamtkaltwalzgrad in Prozent	Enddicke in mm	Anzahl Stiche	Schlussgühtemperatur 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 A1

[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 A1

[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 x 60 mm²-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
10	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
15	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 µm wurde eine das Integralauswertung der Massenbelegung von der Oberfläche (0 µm) bis zu einer Probentiefe von 0,95 µm für Mn, Cr, Al und Si berechnet.

Tabelle 4

Variante	Probe	Dicke	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)	$\int_{0,95} ([Mn] + [Cr]) /$ $\int_{0,95} ([Al] + [Si]) \geq$ 0,2
		[mm]	[%]	Temperatur			Mn	Cr	Al	Si		
				[°C]			[kg/m ³]	[kg/m ³]	[kg/m ³]	[kg/m ³]		
1	1.1	0,25	84,4	1030	OS	M	65	59	127	175	0,408	ja
1	1.1	0,25	84,4	1030	US	M	70	61	114	174	0,453	ja
1	1.1	0,25	84,4	960	OS	M	47	45	89	157	0,376	ja
1	1.1	0,25	84,4	960	US	M	58	63	86	194	0,432	ja
2	2.1	0,35	78,1	1000	OS	R1	59	56	126	201	0,353	ja
2	2.1	0,35	78,1	1000	US	R1	66	53	142	210	0,340	ja
2	2.1	0,35	78,1	1000	OS	M	62	61	127	214	0,361	ja
2	2.1	0,35	78,1	1000	US	M	73	57	144	232	0,348	ja
2	2.1	0,35	78,1	1000	OS	R2	56	56	117	191	0,363	ja
2	2.1	0,35	78,1	1000	US	R2	65	56	134	206	0,355	ja
2	2.2	0,27	83,1	1000	OS	R1	52	51	124	185	0,335	ja
2	2.2	0,27	83,1	1000	US	R1	56	54	133	195	0,335	ja
2	2.2	0,27	83,1	1000	OS	M	54	54	116	193	0,349	ja
2	2.2	0,27	83,1	1000	US	M	58	61	111	204	0,375	ja

(fortgesetzt)

	Variante	Probe	Dicke	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)				
					Temperatur			Mn	Cr	Al	Si	$\int_0^{0,95} ([Mn] + [Cr]) / \int_0^{0,95} ([Al] + [Si])$				$\int_0^{0,95} ([Mn] + [Cr]) / \int_0^{0,95} ([Al] + [Si]) \geq 0,2$
2	2.2	2.2	0,27	83,1	1000	OS	R2	61	59	128	199	0,367				ja
2	2.2	2.2	0,27	83,1	1000	US	R2	57	59	120	194	0,370				ja
2	2.3	2.3	0,25	84,4	1000	OS	R1	54	44	136	199	0,292				ja
2	2.3	2.3	0,25	84,4	1000	US	R1	63	63	133	195	0,381				ja
2	2.3	2.3	0,25	84,4	1000	OS	M	62	62	130	201	0,378				ja
2	2.3	2.3	0,25	84,4	1000	US	M	65	59	148	213	0,342				ja
2	2.3	2.3	0,25	84,4	1000	OS	R2	66	61	139	209	0,367				ja
2	2.3	2.3	0,25	84,4	1000	US	R2	62	63	126	193	0,391				ja
3	3.1	3.1	0,25	84,4	1000	OS	R1	50	50	149	172	0,310				ja
3	3.1	3.1	0,25	84,4	1000	US	R1	57	58	175	182	0,323				ja
3	3.1	3.1	0,25	84,4	1000	OS	M	59	60	162	186	0,343				ja
3	3.1	3.1	0,25	84,4	1000	US	M	58	57	194	183	0,305				ja
3	3.1	3.1	0,25	84,4	1000	OS	R2	60	50	208	170	0,291				ja
3	3.1	3.1	0,25	84,4	1000	US	R2	65	52	195	177	0,313				ja

5
10
15
20
25
30
35
40
45
50
55

5
10
15
20
25
30
35
40
45
50
55

(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)	
Variante	Probe	Dicke		Temperatur			Mn	Cr	Al	Si	$\int_0^{0,95}([Mn]+[Cr]) / \int_0^{0,95}([Al]+[Si])$	$\int_0^{0,95}([Mn]+[Cr]) / \int_0^{0,95}([Al]+[Si]) \geq 0,2$
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: 0,001 bis zu 0,15;
Rest Fe und unvermeidbare Verunreinigungen.

2. Flachprodukt nach Anspruch 1, bei 28 °C einen spezifischen elektrischen Widerstand aufweisend von $0,60 \Omega\text{mm}^2/\text{m} \leq \rho_{\text{spez}} \leq 0,70 \Omega\text{mm}^2/\text{m}$.

3. Flachprodukt nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei

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

und/oder

$$P_{1,0;400} < 16 \text{ W/kg},$$

und/oder

$$P_{1,0;1000} < 70 \text{ W/kg},$$

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.

4. 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.-%,
[ρ_{spez}]: dimensionsloser Wert des spezifischen elektrischen Widerstands in $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$ an schlussgeglühtem Kaltband.

5. 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.

6. Flachprodukt nach einem der vorhergehenden Ansprüche, aufweisend eine Dicke d von $d < 0,35 \text{ mm}$, bevorzugt $0,19 \text{ mm} < d < 0,31 \text{ mm}$.

7. Verfahren zur Herstellung eines Flachprodukts, insbesondere aus einer Legierung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, aufweisend die nachfolgenden Herstellungsschritte:

5 A) Erschmelzen einer Schmelze, enthaltend eine Elementzusammensetzung nach Anspruch 1;
 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;
10 E) optional Warmbandglühung;
 F) Kaltwalzen;
 G) Schlussglühung.

8. Verfahren nach Anspruch 7, wobei das Vorprodukt zu Beginn des Warmwalzens auf eine Vorwärmtemperatur von höchstens 1200 °C erwärmt wird.

9. Verfahren nach Anspruch 7 oder nach Anspruch 8, 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.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 9, wobei das Warmbandglühen des Schritts E) bei einer Temperatur zwischen 700 und 790 °C, bevorzugt für einen Zeitraum zwischen 12 h und 36 h, durchgeführt wird.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 10, wobei das Kaltwalzen des Schritts F) mit einem Gesamtkaltwalzgrad zwischen 75 % und 90 % durchgeführt wird, wobei bevorzugt das Flachprodukt mit maximal vier Stichen und auf eine Dicke zwischen 0,19 mm und 0,31 mm gewalzt wird.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 11, wobei das Schlussglühen bei einer Temperatur zwischen 930 °C und 1070 °C durchgeführt wird.

13. Flachprodukt, erhältlich mit einem Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 12.

14. Flachprodukt nach Anspruch 13, aufweisend die Eigenschaften nach einem der Ansprüche 2 bis 6.

15. Verwendung eines aus einem Flachprodukt nach einem der Ansprüche 1 bis 6 ausgestanzten Ausschnitts als Lamelle einer rotierenden elektrischen Maschine.



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung
 EP 20 19 3920

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
Y	JP 2002 080948 A (NIPPON KOKAN KK) 22. März 2002 (2002-03-22) * Absätze [0008], [0009], [0033], [0041], [0042]; Ansprüche 1-3; Abbildungen 1-3; Beispiele 17,25; Tabelle 1 *	1-15	INV. C21D8/12 C22C38/04 C22C38/06 C22C38/28 C22C38/34 H01F1/147
Y	----- KR 2015 0073800 A (POSCO [KR]) 1. Juli 2015 (2015-07-01) * Absätze [0001] - [0045], [0069] - [0073]; Ansprüche 1-19; Tabellen 1-3 *	1-15	
Y	----- JP 2011 219795 A (NIPPON STEEL CORP) 4. November 2011 (2011-11-04) * Absätze [0001], [0011] - [0023]; Ansprüche 1,2 *	1-15	
A	----- US 2004/016530 A1 (SCHOEN JERRY W [US] ET AL) 29. Januar 2004 (2004-01-29) * Absätze [0067], [0068]; Ansprüche 1-38; Abbildungen 1-8 *	1-15	
A	----- EP 3 495 525 A1 (NIPPON STEEL & SUMITOMO METAL CORP [JP]) 12. Juni 2019 (2019-06-12) * Ansprüche 1-15; Abbildungen 1-6 *	1-15	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC) C21D C22C H01F
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 27. Januar 2021	Prüfer Catana, Cosmin
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument ----- & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

 1
 EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
 ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 20 19 3920

5 In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.
 Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
 Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

27-01-2021

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
JP 2002080948 A	22-03-2002	JP 4622162 B2 JP 2002080948 A	02-02-2011 22-03-2002
KR 20150073800 A	01-07-2015	CN 104726794 A KR 20150073800 A	24-06-2015 01-07-2015
JP 2011219795 A	04-11-2011	JP 5839778 B2 JP 2011219795 A	06-01-2016 04-11-2011
US 2004016530 A1	29-01-2004	AT 338146 T AU 2003216420 A1 BR 0309856 A CA 2484738 A1 CN 1665943 A DE 60306365 T2 EP 1501951 A1 JP 5351870 B2 JP 2006501361 A JP 2011094233 A KR 20100072376 A MX PA04011077 A RU 2318883 C2 US 2004016530 A1 US 2006151142 A1 WO 03095684 A1	15-09-2006 11-11-2003 01-03-2005 20-11-2003 07-09-2005 17-09-2009 02-02-2005 27-11-2013 12-01-2006 12-05-2011 30-06-2010 17-02-2005 10-03-2008 29-01-2004 13-07-2006 20-11-2003
EP 3495525 A1	12-06-2019	BR 112018075826 A2 CN 109563583 A EP 3495525 A1 JP 6690714 B2 JP W02018025941 A1 KR 20190003783 A TW 201812051 A US 2019228891 A1 WO 2018025941 A1	19-03-2019 02-04-2019 12-06-2019 28-04-2020 11-04-2019 09-01-2019 01-04-2018 25-07-2019 08-02-2018

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82