

(19)



(11)

EP 2 840 157 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
25.02.2015 Patentblatt 2015/09

(51) Int Cl.:
C22C 38/00 (2006.01) **C22C 38/02** (2006.01)
C22C 38/14 (2006.01) **H01F 1/147** (2006.01)
C21D 8/12 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **13180889.1**

(22) Anmeldetag: **19.08.2013**

(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

- **Fischer, Olaf, Dr.-ing.**
44866 Bochum (DE)
- **Telger, Karl, Dr.**
48653 Coesfeld (DE)

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

(74) Vertreter: **Cohausz & Florack**
Patent- und Rechtsanwälte
Partnerschaftsgesellschaft
Bleichstraße 14
40211 Düsseldorf (DE)

(72) Erfinder:
• **Dorner, Dorothée, Dr.**
40629 Düsseldorf (DE)

(54) **Nicht kornorientiertes Elektroband oder -blech, daraus hergestelltes Bauteil und Verfahren zur Erzeugung eines nicht kornorientierten Elektrobands oder -blechs**

(57) Die Erfindung betrifft ein nicht kornorientiertes Elektroband oder -blech für elektrotechnische Anwendungen, hergestellt aus einem Stahl, der neben Eisen und unvermeidbaren Verunreinigungen (in Gew.-%) Si: 2,0 - 4,5 %, Zr: 0,03 - 0,3 %, Al: bis zu 2,0 %, Mn: bis zu 1,0 %, C: bis zu 0,01 %, N: bis zu 0,01 %, S: bis zu 0,001 %, P: bis zu 0,015 %, enthält, wobei im Gefüge des Elektrobands oder -blechs ternäre Fe-Si-Zr-Ausscheidungen vorliegen. Die im Gefüge eines erfindungsgemäßen

Elektrobands oder -blechs vorliegenden ternären Fe-Si-Zr-Ausscheidungen steigern die Festigkeit von aus erfindungsgemäßem Stahl gefertigten, nicht kornorientierten Elektrobändern und -blechen durch Ausscheidungs- bzw. Teilchenhärtung, ohne einen entscheidenden Einfluss auf die elektromagnetischen Eigenschaften zu haben. Die Erfindung stellt darüber hinaus ein Verfahren zum Herstellen solcher Elektrobänder und -bleche zur Verfügung.

EP 2 840 157 A1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein nicht kornorientiertes Elektrobänder oder -blech für elektrotechnische Anwendungen, ein aus einem solchen Elektrobänder oder -blech hergestelltes elektrotechnisches Bauteil sowie ein Verfahren zur Erzeugung eines Elektrobänder oder -blechs.

[0002] Nicht kornorientierte Elektrobänder oder -bleche, in der Fachsprache auch als "NO-Elektrobänder oder -blech" oder im englischen Sprachgebrauch auch als "NGO-Electrical Steel" ("NGO" = Non Grain Oriented) bezeichnet, werden zur Verstärkung des magnetischen Flusses in Eisenkernen von rotierenden elektrischen Maschinen verwendet. Typische Verwendungen solcher Bleche sind elektrische Motoren und Generatoren.

[0003] Um die Effizienz solcher Maschinen zu steigern, werden möglichst hohe Drehzahlen oder große Durchmesser der im Betrieb jeweils rotierenden Bauteile angestrebt. In Folge dieses Trends sind die elektrisch relevanten, aus Elektrobändern oder -blechen der hier in Rede stehenden Art gefertigten Bauteile einer hohen mechanischen Belastung ausgesetzt, die von den heute zur Verfügung stehenden NO-Elektrobänderarten oft nicht erfüllt werden können.

[0004] Aus der US 5,084,112 ist ein NO-Elektrobänder oder -blech bekannt, das eine Streckgrenze von mindestens 60 kg-f/mm² (ca. 589 MPa) besitzt und aus einem Stahl hergestellt ist, der neben Eisen und unvermeidbaren Verunreinigungen (in Gew.-%) bis zu 0,04 % C, 2,0 - weniger als 4,0 % Si, bis zu 2,0 % Al, bis zu 0,2 % P und mindestens ein Element aus der Gruppe "Mn, Ni" enthält, wobei die Summe der Gehalte an Mn und Ni mindestens 0,3 % und höchstens 10 % beträgt.

[0005] Um eine Festigkeitssteigerung durch die Bildung von Karbonitriden zu erreichen, enthält der aus der US 5,084,112 bekannte Stahl mindestens ein Element aus der Gruppe "Ti, V, Nb, Zr", wobei im Fall der Anwesenheit von Ti oder V der Ti-Gehalt %Ti und der V-Gehalt %V in Bezug auf den C-Gehalt %C und den jeweils unvermeidbaren N-Gehalt %N des Stahls die Bedingung $[0,4x(\%Ti + \%V)]/[4x(\%C + \%N)] < 4,0$ erfüllen soll. Auch der Anwesenheit von Phosphor in dem Stahl wird dabei eine festigkeitssteigernde Wirkung zugeschrieben. Jedoch wird vor der Anwesenheit höherer Phosphorgehalte gewarnt, weil sie eine Korngrenzversprödung auslösen können. Um diesem als gravierend angesehenen Problem entgegenzuwirken, wird ein zusätzlicher B-Gehalt von 0,001 - 0,007 % vorgeschlagen.

[0006] Der derart zusammengesetzte Stahl wird gemäß der US 5,084,112 zu Brammen vergossen, die anschließend zu einem Warmband warmgewalzt werden, welches optional geglüht, dann gebeizt und daraufhin zu einem Kaltband mit einer bestimmten Enddicke kaltgewalzt wird. Abschließend wird das erhaltene Kaltband einer rekristallisierenden Glühung unterzogen, bei der es bei einer mindestens 650 °C, jedoch weniger als 900 °C betragenden Glühtemperatur geglüht wird.

[0007] Im Fall der gleichzeitigen Anwesenheit von wirksamen Gehalten an Ti und P sowie B, N, C, Mn und Ni im Stahl erreichen die gemäß der US 5,084,112 erzeugten NO-Elektrobänder oder -bleche zwar Streckgrenzen von mindestens 70,4 kg-f/mm² (688 MPa). Gleichzeitig betragen bei einer Blechdicke von 0,5 mm und bei einer Polarisation von 1,5 Tesla und einer Frequenz von 50 Hz die Ummagnetisierungsverluste $P_{1,5}$ jedoch mindestens 6,94 W/kg. Derart hohe Ummagnetisierungsverluste sind für moderne elektrotechnische Anwendungen nicht mehr akzeptierbar. Weiterhin sind bei vielen solchen Anwendungen die Ummagnetisierungsverluste bei höheren Frequenzen von großer Bedeutung.

[0008] Ein anderes Verfahren, das die betriebssichere Herstellung von hochfestem nicht kornorientiertem Elektrobänder mit guten elektromagnetischen Eigenschaften ermöglichen soll, ist aus der JP 2005 264315 A bekannt. Das mit diesem Verfahren erzeugte Elektrobänder weist ein überwiegend ferritisches Gefüge mit bis zu 50 Vol.-% Martensit auf und enthält neben Eisen und unvermeidbaren Verunreinigungen (in Gew.-%) bis zu 0,0400 % C, 0,2 - 6,5 % Si, 0,05 - 10,0 % Mn, bis zu 0,30 % P, bis zu 0,020 % S, bis zu 15 % Al, bis zu 0,0400 % N und des Weiteren als Ausscheidungsbildner ein oder zwei oder mehr Elemente aus der Gruppe "Ni, Mo, Ti, Nb, Co und W" in Gehalten von jeweils bis zu 10,0 Gew.-%. Zusätzlich können ebenfalls als Ausscheidungsbildner in dem Stahl Zr, Cr, B, Cu, Zn, Mg und Sn in Gehalten von jeweils bis zu 10 Gew.-% vorhanden sein. Die in dem Stahl aus den genannten Elementen gebildeten Ausscheidungen sollen in Form einer intermetallischen Verbindung mit einer Anzahldichte von mehr als $20/\mu\text{m}^3$ und einem Durchmesser von höchstens 0,050 μm vorliegen. Die Zusammensetzung des Stahls ist dabei jeweils so gewählt, dass die Ausscheidungen von Fe, Zr und Si regelmäßig in binärer Form vorliegen.

[0009] Vor dem Hintergrund des voranstehend erläuterten Standes der Technik bestand die Aufgabe der Erfindung darin, ein NO-Elektrobänder oder -blech und ein aus einem solchen Blech oder Band gefertigtes Bauteil für elektrotechnische Anwendungen anzugeben, das erhöhte Festigkeiten, insbesondere eine höhere Streckgrenze, besitzt und gleichzeitig gute magnetische Eigenschaften, insbesondere einen niedrigen Ummagnetisierungsverlust bei hohen Frequenzen aufweist. Darüber hinaus sollte ein Verfahren zur Erzeugung eines solchen NO-Elektrobänder oder -blechs angegeben werden.

[0010] In Bezug auf das NO-Elektrobänder oder -blech ist diese Aufgabe erfindungsgemäß dadurch gelöst worden, dass das NO-Elektrobänder oder -blech die in Anspruch 1 angegebene Zusammensetzung aufweist.

[0011] Dementsprechend besteht die erfindungsgemäße Lösung der oben genannten Aufgabe in Bezug auf das Bauteil für elektrotechnische Anwendungen darin, dass ein solches Bauteil aus einem erfindungsgemäßen Elektrostahlblech oder -band hergestellt ist.

[0012] Schließlich ist die oben genannte Aufgabe in Bezug auf das Verfahren dadurch gelöst worden, dass bei der Erzeugung eines erfindungsgemäßen Elektrobands oder -blechs mindestens die in Anspruch 11 angegebenen Arbeitsschritte durchlaufen werden.

[0013] Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind in den abhängigen Ansprüchen angegeben und werden nachfolgend wie der allgemeine Erfindungsgedanke im Einzelnen erläutert.

[0014] Ein erfindungsgemäß beschaffenes nicht kornorientiertes Elektroband oder -blech für elektrotechnische Anwendungen ist somit aus einem Stahl hergestellt, der aus (in Gew.-%) 2,0 - 4,5 % Si, 0,03 - 0,3 % Zr, sowie optional zusätzlich bis zu 2,0 % Al, insbesondere bis zu 1,5 % Al, bis zu 1,0 % Mn, bis zu 0,01 % C, insbesondere bis zu 0,006 %, besonders vorteilhafter Weise bis zu 0,005 % C, bis zu 0,01 % N, insbesondere bis zu 0,006 % N, bis zu 0,01 % S, insbesondere bis zu 0,006 % S, bis zu 0,015 % P, insbesondere bis zu 0,006 % P und als Rest aus Eisen und unvermeidbaren Verunreinigungen besteht.

[0015] Entscheidend für die Erfindung ist dabei, dass im Gefüge des Elektrobands oder -blechs ternäre Fe-Si-Zr-Ausscheidungen vorliegen. Diese steigern die Festigkeit des erfindungsgemäßen Stahls durch Ausscheidungs- bzw. Teilchenhärtung.

[0016] Aus Eisen, Zirkonium und Silizium gebildete ternäre Ausscheidungen treten, wie in Materials Science International Team, MSIT®, und Du, Yong, Xiong, Wei, Zhang, Weiwei, Chen, Hailin, Sun, Weihua: Iron - Silicon - Zirconium. Effenberg, Günter, Ilyenko, Svitlana (ed.). SpringerMaterials - The Landolt-Börnstein Database. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2009. DOI: 10.1007/978-3-540-70890-2_29 Crystallographic and Thermodynamic Data, dargestellt, in sechs verschiedenen Phasen auf.

[0017] Für eine weitere Steigerung der Festigkeit ist es vorteilhaft, die betreffenden Fe-Si-Zr-Ausscheidungen bezüglich ihrer räumlichen Ausdehnung möglichst fein auszubilden. So liegt ihr durchschnittlicher Durchmesser erfindungsgemäß bevorzugt deutlich unterhalb von 100 nm. Derart kleine Fe-Si-Zr-Ausscheidungen steigern die Festigkeit von NO-Elektrobändern oder -blechen der erfindungsgemäßen Art deutlich, ohne dabei die magnetischen Eigenschaften bei den für Anwendungen im Motorenbau und desgleichen wichtigen hohen Frequenzbereichen wesentlich zu verschlechtern. So behindern die erfindungsgemäß zur Festigkeitssteigerung genutzten Fe-Si-Zr-Ausscheidungen die Bewegung der Bloch-Wände aufgrund ihrer geringen Größe nur geringfügig und bewirken dementsprechend gegenüber konventionellen, weniger festen Elektrobändern und -blechen allenfalls eine geringe Erhöhung der Ummagnetisierungsverluste $P_{1,0}$ und $P_{1,5}$. Bei der Blochwand handelt es sich um den Übergangsbereich zwischen magnetischen Domänen mit unterschiedlicher Magnetisierung.

[0018] Ein erfindungsgemäßes nicht kornorientiertes Elektrobänder weist Si und Zr in Gehalten auf, die so eingestellt sind, dass es zur angestrebten Bildung der Fe-Si-Zr-Ausscheidungen kommt. Hierzu sind einerseits mindestens 2,0 Gew.-% Si erforderlich, wobei sich die Fe-Si-Zr-Ausscheidungen dann besonders betriebssicher in der gewünschten Häufigkeit und Verteilung einstellen, wenn der Si-Gehalt mindestens 1,6 Gew.-%, insbesondere mindestens 2,4 Gew.-%, beträgt. Um negative Einflüsse auf die Eigenschaften des erfindungsgemäßen NO-Elektrobands oder -blechs zu vermeiden, ist der Si-Gehalt auf höchstens 4,5 Gew.-% beschränkt, wobei optimaler Weise der Si-Gehalt die Obergrenze von 3,5 Gew.-%, insbesondere 3,4 Gew.-%, nicht überschreitet.

[0019] Gehalte von mindestens 0,03 Gew.-% sind erforderlich, damit sich die gewünschten ternären Zr-Ausscheidungen bilden. Damit dieser Effekt besonders sicher eintritt, können mindestens 0,07 Gew.-% Zr, insbesondere mindestens 0,08 Gew.-% Zr, dem erfindungsgemäßen Stahl zugegeben werden. Bei Gehalten von mehr als 0,3 Gew.-% Zr können keine entscheidenden Steigerungen der durch die Anwesenheit von ausreichenden Gehalten an Zr bewirkten Eigenschaftsverbesserungen beobachtet werden. Eine optimale Wirkung von Zr in einem erfindungsgemäßen Elektrobänder oder -blech lässt sich dabei dann erzielen, wenn der Zr-Gehalt auf höchstens 0,25 Gew.-% beschränkt ist.

[0020] Der Stahl, aus dem erfindungsgemäß das Elektrobänder oder -blech besteht, kann Gehalte an weiteren Legierungselementen enthalten, die in an sich bekannter Weise zur Einstellung seiner Eigenschaften zugegeben werden. Zu den hierzu geeigneten Elementen zählen insbesondere Al und Mn in den hier angegebenen Gehalten.

[0021] Da die Erfindung zur Festigkeitssteigerung nicht auf Carbide, Nitride oder Karbonitride zurückgreifen muss, können die C- und N-Gehalte eines erfindungsgemäßen Elektrobands oder -bands minimiert werden. Auf diese Weise ist der Gefahr einer magnetischen Alterung vorgebeugt, zu der es in Folge hoher C- oder N-Gehalte kommen kann.

[0022] In Folge ihrer erfindungsgemäßen Zusammensetzung weisen erfindungsgemäß zusammengesetzte Elektrobänder oder -bleche bei einer Dicke von 0,5 mm, einer Polarisierung von 1,0 Tesla und einer Frequenz von 400 Hz Ummagnetisierungsverluste $P_{1,0/400}$ von höchstens 65 W/kg auf. Bei einer Dicke von 0,35 mm, einer Polarisierung von 1,0 Tesla und einer Frequenz von 400 Hz weisen die erfindungsgemäß zusammengesetzten Elektrobänder dagegen Ummagnetisierungsverluste $P_{1,0/400}$ von höchstens 45 W/kg auf. Gleichzeitig erreichen die erfindungsgemäß zusammengesetzten Elektrobänder oder -bleche gegenüber konventionell zusammengesetzten Elektrobändern oder -blechen, bei denen keine Maßnahmen zur Festigkeitssteigerung ergriffen worden sind, regelmäßig eine Steigerung der Streckgrenze um mindestens 20 MPa. Die Festigkeit nimmt dabei mit der Feinheit der Ausscheidungen zu. Festigkeitsanstiege von 100 - 200 MPa sind bei weiter verfeinerten Ausscheidungen möglich.

[0023] Das erfindungsgemäße Verfahren ist so angelegt, dass es die betriebssichere Erzeugung eines erfindungs-

gemäßen nicht kornorientierten Elektrobands oder -blechs ermöglicht.

[0024] Dazu wird zunächst ein in der voranstehend für das erfindungsgemäße nicht kornorientierte Elektroblech oder -band erläuterten Weise zusammengesetztes Warmband zur Verfügung gestellt, das anschließend kaltgewalzt und als kaltgewalztes Band einer Schlussglühung unterzogen wird. Das nach dem Schlussglühen erhaltene schlussgeglühte Kaltband stellt dann das erfindungsgemäß zusammengesetzte und beschaffene Elektroband oder -blech dar, dessen Festigkeit durch die Anwesenheit von Fe-Si-Zr-Ausscheidungen in seinem Gefüge gegenüber einem konventionellen NO-Elektroblech oder -band deutlich verbessert ist und das daher besonders für die Herstellung von elektrischen Bauteilen und Aggregaten geeignet ist, die im praktischen Einsatz hohen dynamischen Belastungen ausgesetzt sind.

[0025] Die Herstellung des erfindungsgemäß bereitgestellten Warmbands kann weitestgehend konventionell erfolgen. Dazu kann zunächst eine Stahlschmelze mit einer der erfindungsgemäßen Vorgabe entsprechenden Zusammensetzung (Si: 2,0 - 4,5 Gew.-%, Zr: 0,03 - 0,3 Gew.-%, Al: bis zu 2,0 Gew.-%, Mn: bis zu 1,0 Gew.-%, C: bis zu 0,01 Gew.-%, N: bis zu 0,01 Gew.-%, S: bis zu 0,01 Gew.-%, P: bis zu 0,015 Gew.-%, Rest Eisen und unvermeidbare Verunreinigungen) erschmolzen und zu einem Vormaterial vergossen werden, bei dem es sich bei konventioneller Fertigung um eine Bramme oder Dünnbramme handeln kann. Da die erfindungsgemäßen Vorgänge der Ausscheidungsbildung erst nach der Erstarrung ablaufen, ist es prinzipiell auch möglich, die Stahlschmelze zu einem gegossenen Band zu vergießen, welches anschließend zu einem Warmband warmgewalzt wird.

[0026] Das so erzeugte Vormaterial kann anschließend auf eine 1020 - 1300 °C betragende Vormaterialtemperatur gebracht werden. Dazu wird das Vormaterial erforderlichenfalls wiedererwärmt oder unter Ausnutzung der Gießhitze auf der jeweiligen Zieltemperatur gehalten.

[0027] Das so erwärmte Vormaterial kann dann zu einem Warmband mit einer Dicke warmgewalzt werden, die typischerweise 1,5 - 4 mm, insbesondere 2 - 3 mm, beträgt. Das Warmwalzen beginnt dabei in an sich bekannter Weise bei einer Warmwalzanfangstemperatur in der Fertigstaffel von 1000 - 1150 °C und endet mit einer Warmwalzendtemperatur von 700 - 920 °C, insbesondere 780 - 850 °C.

[0028] Das erhaltene Warmband kann anschließend auf eine Haspeltemperatur abgekühlt und zu einem Coil gehaspelt werden. Die Haspeltemperatur wird dabei idealerweise so gewählt, dass eine Ausscheidung von festigkeitssteigernden Partikeln zu diesem Zeitpunkt noch vermieden wird, um Probleme beim anschließend durchgeführten Kaltwalzen zu vermeiden. In der Praxis beträgt die Haspeltemperatur hierzu beispielsweise höchstens 700 °C.

[0029] Optional kann das Warmband einer Warmbandglühung unterzogen werden.

[0030] Das bereitgestellte Warmband wird zu einem Kaltband mit einer Dicke kaltgewalzt, die typischerweise im Bereich von 0,15 - 1,1 mm, insbesondere 0,2 - 0,65 mm, liegt.

[0031] Die abschließende Schlussglühung trägt entscheidend zur Bildung der erfindungsgemäß zur Festigkeitssteigerung genutzten Fe-Si-Zr-Partikel bei. Dabei ist es durch Variation der Glühbedingungen der Schlussglühung möglich, die Werkstoffeigenschaften wahlweise zu Gunsten einer höheren Festigkeit oder eines geringeren Ummagnetisierungsverlustes zu optimieren.

[0032] Erfindungsgemäße nicht kornorientierte Elektrobleche oder -bänder mit Streckgrenzen, die im Bereich von 350 - 500 MPa liegen, und Ummagnetisierungsverlusten $P_{1,0/400}$, die bei einer Banddicke von 0,3 mm kleiner 35 W/kg und bei einer Banddicke von 0,5 mm kleiner 45 W/kg betragen, lassen sich besonders betriebssicher dadurch erzielen, dass das erfindungsgemäß zusammengesetzte Kaltband im Zuge der Schlussglühung einer im Durchlauf absolvierten zweistufigen Glühung unterzogen wird.

[0033] In der ersten Stufe wird das Kaltband bei einer Glühtemperatur von 900 - 1150 °C für 1 - 300 s geglüht. Anschließend wird das Kaltband in einer zweiten Glühstufe bei einer Temperatur von 600 - 800 °C für 50 - 120 s gehalten. Dann wird das Kaltband auf eine Temperatur unter 100 °C abgekühlt. Bei einem in der voranstehend erläuterten Weise durchgeführten Schlussglühen werden in der ersten Glühstufe die möglicherweise bereits vorhandenen Fe-Si-Zr-Ausscheidungen aufgelöst und eine vollständige Rekristallisation des Gefüges erzielt. In den weiteren Glühstufen erfolgt dann die gezielte Ausscheidung der Fe-Si-Zr-Teilchen.

[0034] Des Weiteren kann das erhaltene, nicht kornorientierte Elektroband oder -blechmaterial abschließend einer konventionellen Entspannungsglühung unterzogen werden. Abhängig von den Verarbeitungsabläufen beim Endverarbeiter kann diese Entspannungsglühung noch beim Hersteller des erfindungsgemäßen NO-Elektrobands oder -blechs im Coil durchgeführt werden, oder es können zunächst die beim Endverarbeiter verarbeiteten Zuschnitte von dem in erfindungsgemäßer Weise erzeugten Elektroband oder -blech abgeteilt werden, die dann der Entspannungsglühung unterzogen werden.

[0035] Nachfolgend wird die Erfindung von Ausführungsbeispielen näher erläutert.

[0036] Fig. 1 zeigt ein Diagramm, in dem der Soll-Temperaturverlauf beim Schlussglühen der in der nachfolgend erläuterten Weise erzeugten Elektrobänder und -bleche dargestellt ist.

[0037] Die nachfolgend erläuterten Versuche wurden jeweils unter Laborbedingungen durchgeführt. Dabei sind zunächst zwei erfindungsgemäß zusammengesetzte Stahlschmelze Zr1 und Zr2 sowie zwei Referenzschmelzen Ref1 und Ref2 erschmolzen und zu Blöcken vergossen worden. Die Zusammensetzungen der Schmelzen Zr1, Zr2, Ref1, Ref2 sind in Tabelle 1 angegeben. Mit Ausnahme des jeweils fehlenden wirksamen Gehalts an Zr stimmen die Legie-

rungelemente und, im Rahmen der üblichen Toleranzen auch deren Gehalte, der Referenzschmelze Ref1 mit der erfindungsgemäßen Schmelze Zr1 und der Referenzschmelze Ref2 mit der erfindungsgemäßen Schmelze Ref2 überein.

[0038] Die Blöcke wurden auf eine 1250 °C betragende Temperatur gebracht und mit einer Warmwalzanfangstemperatur von 1020 °C und einer Warmwalzendtemperatur von 840 °C zu einem 2 mm dicken Warmband warmgewalzt. Das jeweilige Warmband ist auf eine Haspeltemperatur T_{Haspel} von 620 °C abgekühlt worden. Anschließend ist eine typische Abkühlung im Coil simuliert worden.

[0039] Einige Proben den aus der erfindungsgemäßen Stahllegierungen Zr1, Zr2 bestehenden Warmbänder und Proben aus den Referenzstählen Ref1, Ref2 sind anschließend über eine Dauer von 2 h bei einer Temperatur von 740 °C einer Warmbandglühung unterzogen worden und daraufhin jeweils zu Kaltbändern mit einer Enddicke von 0,5 mm oder 0,3 mm kaltgewalzt worden.

[0040] Weitere Proben der aus den erfindungsgemäßen Stahllegierungen Zr1, Zr2 und aus den Referenzstählen Ref1, Ref2 bestehenden Warmbänder sind dagegen jeweils ohne Warmbandglühung zu 0,3 mm oder 0,5 mm dickem Kaltband kaltgewalzt worden.

[0041] Nach dem Kaltwalzen erfolgte jeweils eine Schlussglühung, bei der die jeweilige Kaltbandprobe zunächst mit einer Aufheizrate von 10 K/s über eine Dauer von 105 Sekunden von der Raumtemperatur auf eine Glühtemperatur von 1090 °C erwärmt worden ist. Anschließend sind die Proben über eine Dauer von 15 Sekunden bei der Glühtemperatur gehalten worden und daraufhin mit einer Abkühlrate von 20 K/s auf eine Zwischentemperatur, die 700 °C betrug, abgekühlt worden. Bei dieser Zwischentemperatur sind die Proben über 60 Sekunden gehalten worden. Anschließend erfolgte eine zweistufige Abkühlung, bei der die Proben zunächst langsam mit 5 °C/s auf eine zweite Zwischentemperatur von 580 °C und nach Erreichen der zweiten Zwischentemperatur beschleunigt mit einer Abkühlrate von 30 °C/s auf Raumtemperatur abgekühlt worden sind.

[0042] In Tabelle 2 sind die mechanischen und magnetischen Eigenschaften obere Streckgrenze R_{eH} , untere Streckgrenze R_{eL} , Zugfestigkeit R_m , das Verhältnis R_{eH}/R_m der mittleren Streckgrenze R_e zur Zugfestigkeit R_m , die Gleichmaßdehnung A_g , der jeweils bei einer Frequenz von 50 Hz gemessene Ummagnetisierungsverlust $P_{1,0}$ (Ummagnetisierungsverlust bei einer Polarisation von 1,0 T) und $P_{1,5}$ (Ummagnetisierungsverlust bei einer Polarisation von 1,5 T) sowie die ebenfalls jeweils bei 50 Hz gemessene jeweilige Polarisation J_{2500} (Polarisation bei einer magnetischen Feldstärke von 2500 A/m) und J_{5000} (Polarisation bei einer magnetischen Feldstärke von 5000 A/m), sowie die bei einer Frequenz von 400 Hz bzw. 1 kHz jeweils ermittelten Ummagnetisierungsverluste $P_{1,0}$ (Ummagnetisierungsverlust bei einer Polarisation von 1,0 T) für 0,5 mm dicke Proben, die aus den erfindungsgemäßen Stählen Zr1 oder Zr2 sowie aus den Referenzstählen Ref1 oder Ref2 bestehen und einer Warmbandglühung unterzogen worden sind, angegeben.

[0043] In Tabelle 3 finden sich dieselben Angaben für 0,5 mm dicke Proben, die aus den erfindungsgemäßen Stählen Zr1 oder Zr2 sowie aus den Referenzstählen Ref1 oder Ref2 bestehen und keiner Warmbandglühung unterzogen worden sind.

[0044] In Tabelle 4 sind die entsprechenden Werte für 0,3 mm dicke Proben angegeben, die aus dem erfindungsgemäßen Stahl Zr2 oder dem Referenzstahl Ref2 bestehen und einer Warmbandglühung unterzogen worden sind, wogegen in Tabelle 5 die entsprechenden Werte für 0,3 mm dicke Proben angegeben sind, die aus dem erfindungsgemäßen Stahl Zr2 oder dem Referenzstahl Ref2 bestehen und keine Warmbandglühung durchlaufen haben.

[0045] Es zeigt sich, dass die untere Streckgrenze R_{eL} bei den erfindungsgemäß zusammengesetzten und verarbeiteten Proben im Vergleich zu den aus den Referenzstählen Ref erzeugten Proben um jeweils 20 - 80 MPa höher ist. Zwischen den mit und ohne Warmbandglühung erzeugten Proben besteht dagegen kein signifikanter Unterschied.

[0046] Bei einer Frequenz von 50 Hz weisen die aus den erfindungsgemäßen Stählen erzeugten Proben etwas höhere Ummagnetisierungsverluste auf als die aus den Referenzstählen erzeugten Proben. Dagegen weichen bei den höheren Frequenzen von 400 Hz und 1 kHz, die für die Anwendungen, für die die erfindungsgemäßen Stähle bestimmt sind, von besonderer Bedeutung sind, die Ummagnetisierungsverluste der erfindungsgemäßen Proben und der Referenzproben kaum voneinander ab.

[0047] Mit der Erfindung lassen sich somit für Anwendungen in elektrischen Maschinen bestimmte Elektrobleche und -bänder zur Verfügung stellen, die bei deutlich erhöhten Festigkeiten optimale magnetische Eigenschaften aufweisen, ohne dass dazu teure oder schwer zu beschaffende Legierungselemente vorgesehen oder komplizierte Fertigungsverfahren durchlaufen werden müssen.

Tabelle 1

Variante	Si	Zr	Al	Mn	C	N	S	P
Ref1	3,1	-	0,4	0,07	0,004	0,002	0,003	0,005
Zr1	3,0	0,23	0,4	0,07	0,004	0,002	0,003	0,004
Ref2	3,0	-	0,006	0,64	0,006	0,002	0,001	0,004

EP 2 840 157 A1

(fortgesetzt)

Variante	Si	Zr	Al	Mn	C	N	S	P
Zr2	3,1	0,09	0,008	0,62	0,004	0,002	<0,001	0,003
Rest Eisen und unvermeidbare Verunreinigungen, Angaben in Gew.-%								

Tabelle 2 (Blechdicke 0,5 mm, mit Warmbandglühung)

Richtung	Stahl	R _{eH} [MPa]	R _{eL} [MPa]	R _m [MPa]	R _e /R _m [%]	A _g [%]	50 Hz				400Hz	1kHz
							P _{1,0} [W/kg]	P _{1,5} [W/kg]	J ₂₅₀₀ [T]	J ₅₀₀₀ [T]	P _{1,0} [W/kg]	P _{1,0} [W/kg]
Walzrichtung	Ref1	-	368 *)	515	71	13	1,44	3,20	1,62	1,71	-	177
	Zr1	413	391	567	69	14	2,30	4,93	1,62	-	44,1	191
	Ref2	329	321	472	68	17	1,72	3,78	1,61	1,70	43,9	205
	Zr2	413	395	569	69	18	2,28	5,04	1,58	1,67	43,1	184
Querrichtung	Ref1	-	380 *)	535	71	13	1,52	3,51	1,58	1,67	-	178
	Zr1	443	413	587	70	18	2,69	5,82	1,59	1,68	48,4	208
	Ref2	351	340	492	69	16	1,63	3,88	1,53	1,63	43,4	206
	Zr2	410	405	577	70	16	2,28	5,14	1,56	1,65	43,9	190
*) R _{P0,2}												

Tabelle 3 (Blechdicke 0,5 mm, ohne Warmbandglühung)

Richtung	Stahl	R _{eH} [MPa]	R _{eL} [MPa]	R _m [MPa]	R _e /R _m [%]	A _g [%]	50 Hz				400Hz	1kHz
							P _{1,0} [W/kg]	P _{1,5} [W/kg]	J ₂₅₀₀ [T]	J ₅₀₀₀ [T]	P _{1,0} [W/kg]	P _{1,0} [W/kg]
Walzrichtung	Ref1	-	383 *)	527	73	15	1,38	3,03	1,63	-	30,4	136
	Zr1	417	386	565	68	17	2,53	5,53	1,57	1,66	39,6	163
	Ref2	365	339	480	71	17	1,47	3,34	1,63	1,71	38,0	173
	Zr2	398	387	558	69	16	2,22	4,80	1,59	1,68	40,7	177
Querrichtung	Ref1	-	393 *)	536	73	13	1,54	3,32	1,56	1,66	33,9	162
	Zr1	445	415	597	70	17	2,59	5,80	1,55	1,64	42,1	179
	Ref2	382	362	500	72	14	1,55	3,68	1,53	1,63	40,4	191
	Zr2	415	406	582	70	17	2,27	4,95	1,59	1,68	43,5	194
*) R _{P0,2}												

Tabelle 4 (Blechdicke 0,3 mm, mit Warmbandglühung)

Richtung	Stahl	R _{eH} [MPa]	R _{eL} [MPa]	R _m [MPa]	R _e /R _m [%]	A _g [%]	50 Hz				400Hz	1kHz
							P _{1,0} [W/kg]	P _{1,5} [W/kg]	J ₂₅₀₀ [T]	J ₅₀₀₀ [T]	P _{1,0} [W/kg]	P _{1,0} [W/kg]
Walzrichtung	Ref2	322	316	459	69	15	1,32	3,10	1,59	1,68	26,5	118
	Zr2	403	393	566	69	17	2,03	4,55	1,57	1,66	29,1	117

(fortgesetzt)

Richtung	Stahl	R _{eH} [MPa]	R _{eL} [MPa]	R _m [MPa]	R _e /R _m [%]	A _g [%]	50 Hz				400Hz	1kHz
							P _{1,0} [W/kg]	P _{1,5} [W/kg]	J ₂₅₀₀ [T]	J ₅₀₀₀ [T]	P _{1,0} [W/kg]	P _{1,0} [W/kg]
Querrichtung	Ref2	353	342	491	70	15	1,39	3,44	1,52	1,61	27,2	122
	Zr2	430	417	588	71	16	2,07	4,71	1,54	1,64	30,0	123

Tabelle 5 (Blechdicke 0,3 mm, ohne Warmbandglühung)

Richtung	Stahl	R _{eH} [MPa]	R _{eL} [MPa]	R _m [MPa]	R _e /R _m [%]	A _g [%]	50 Hz				400Hz	1kHz
							P _{1,0} [W/kg]	P _{1,5} [W/kg]	J ₂₅₀₀ [T]	J ₅₀₀₀ [T]	P _{1,0} [W/kg]	P _{1,0} [W/kg]
Walzrichtung	Ref2	350	331	466	71	14	1,26	3,06	1,57	1,66	23,6	100
	Zr2	393	384	549	70	14	1,91	4,22	1,58	1,67	24,2	92
Querrichtung	Ref2	359	344	453	76	7	1,28	3,22	1,54	1,63	23,2	99
	Zr2	432	417	590	71	17	2,01	4,45	1,56	1,65	25,6	96

Patentansprüche

1. Nicht kornorientiertes Elektroband oder -blech für elektrotechnische Anwendungen, hergestellt aus einem Stahl, der neben Eisen und unvermeidbaren Verunreinigungen (in Gew.-%)
Si: 2,0 - 4,5 %,
Zr: 0,03 - 0,3 %,
Al: bis zu 2,0 %,
Mn: bis zu 1,0 %,
C: bis zu 0,01 %,
N: bis zu 0,01 %,
S: bis zu 0,001 %,
P: bis zu 0,015 %, enthält, wobei im Gefüge des Elektrobands oder -blechs ternäre Fe-Si-Zr-Ausscheidungen vorliegen.
2. Nicht kornorientiertes Elektroband oder -blech nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** sein Si-Gehalt mindestens 2,5 Gew.-% beträgt.
3. Nicht kornorientiertes Elektroband oder -blech nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** sein Si-Gehalt höchstens 3,5 Gew.-% beträgt.
4. Nicht kornorientiertes Elektroband oder -blech nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** sein Zr-Gehalt mindestens 0,08 Gew.-% beträgt.
5. Nicht kornorientiertes Elektroband oder -blech nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** sein Zr-Gehalt höchstens 0,25 Gew.-% beträgt.
6. Nicht kornorientiertes Elektroband oder -blech nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** sein C-Gehalt höchstens 0,006 Gew.-% beträgt.
7. Nicht kornorientiertes Elektroband oder -blech nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** sein N-Gehalt höchstens 0,006 Gew.-% beträgt.
8. Nicht kornorientiertes Elektroband oder -blech nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** sein S-Gehalt höchstens 0,006 Gew.-% beträgt.

EP 2 840 157 A1

9. Nicht kornorientiertes Elektrobands oder -blech nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** sein Ummagnetisierungsverlust $P_{1,0/400}$ bei einer Polarisation von 1,0 Tesla und einer Frequenz von 400 Hz bei einer Dicke des Elektrobands oder -blechs von 0,5 mm höchstens 65 W/kg und bei einer Dicke von 0,3 mm höchstens 45 W/kg beträgt.

10. Bauteil für elektrotechnische Anwendungen, hergestellt aus einem gemäß einem der Ansprüche 1 bis 9 beschaffenen Elektrobands oder -blech.

11. Verfahren zum Erzeugen eines nicht kornorientierten Elektrobands oder -blechs, das ternäre Fe-Zr-Si-Ausscheidungen in seinem Gefüge aufweist, wobei das Verfahren folgende Arbeitsschritte umfasst:

a) Bereitstellen eines Warmbands, das aus einem Stahl besteht, der neben Eisen und unvermeidbaren Verunreinigungen (in Gew.-%)

Si: 2,0 - 4,5 %,

Zr: 0,03 - 0,3 %,

Al: bis zu 2,0 %,

Mn: bis zu 1,0 %,

C: bis zu 0,01 %,

N: bis zu 0,01 %,

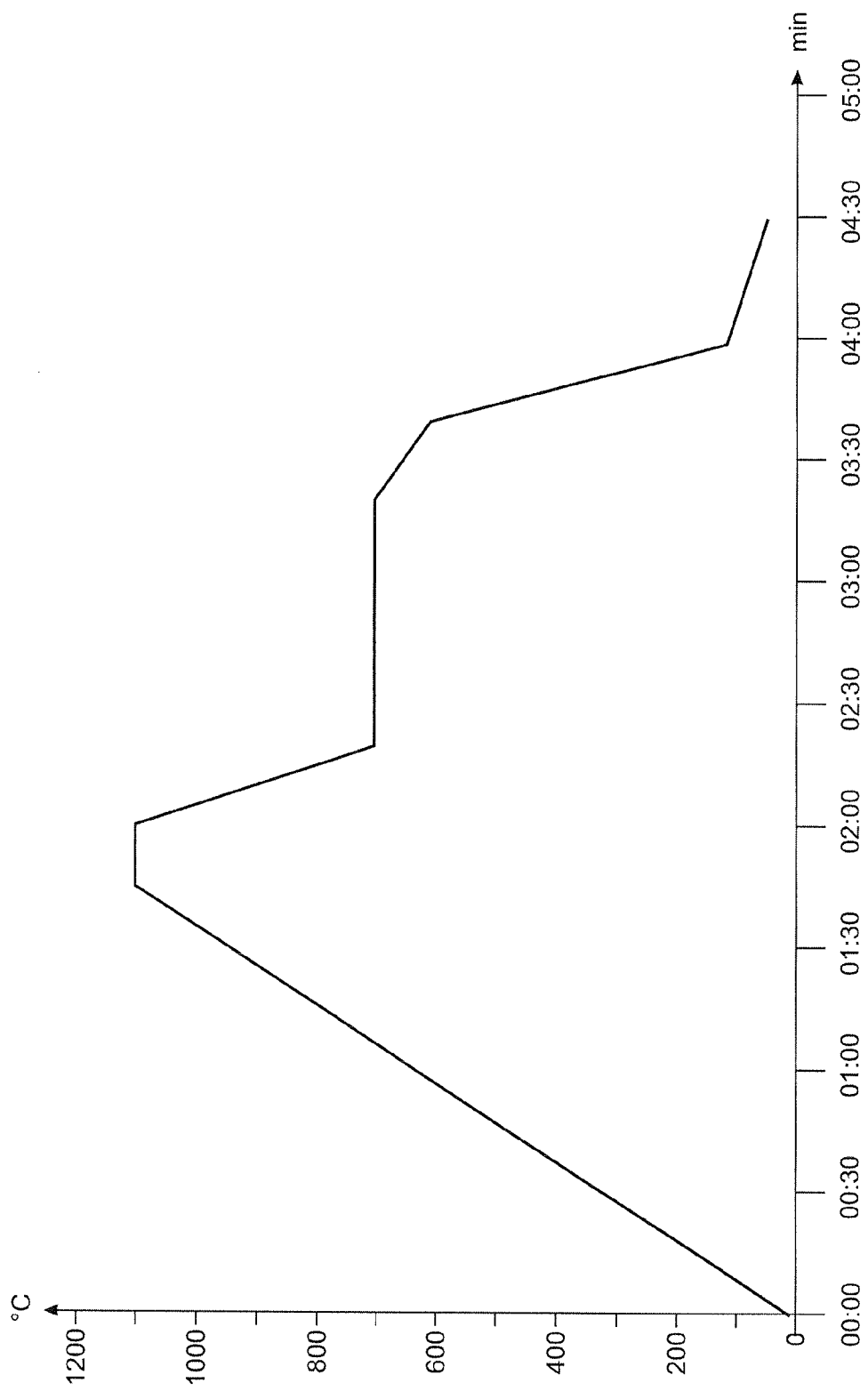
S: bis zu 0,01 %,

P: bis zu 0,015 %,

enthält;

b) Kaltwalzen des Warmbands zu einem Kaltband und

c) Schlussglühen des Kaltbands.





EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung
EP 13 18 0889

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)
X	JP H11 12701 A (NIPPON KOKAN KK) 19. Januar 1999 (1999-01-19) * Zusammenfassung * * Tabelle *	1-3,5-11	INV. C22C38/00 C22C38/02 C22C38/14 H01F1/147 C21D8/12
X	JP 2010 121150 A (SUMITOMO METAL IND) 3. Juni 2010 (2010-06-03) * Zusammenfassung * * Tabelle 1 *	1,3,5-11	
X	JP 2010 018857 A (SUMITOMO METAL IND) 28. Januar 2010 (2010-01-28) * Zusammenfassung * * Tabellen 1,3 *	1-3,5-11	
X	JP S59 83723 A (KOBE STEEL LTD) 15. Mai 1984 (1984-05-15) * Zusammenfassung * * Tabelle 1 *	1,3,9-11	
X	GB 2 057 500 A (BRITISH STEEL CORP) 1. April 1981 (1981-04-01) * Spalte 1, Zeilen 3-16 * * Spalte 1, Zeilen 42-62 * * Spalte 2, Zeilen 79-113 * * Ansprüche 1,14,15 *	1,3,4,9-11	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC) C22C H01F C21D
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort Den Haag		Abschlußdatum der Recherche 17. Januar 2014	Prüfer Stocker, Christian
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	

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

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

EP 13 18 0889

5

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentedokumente 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.

17-01-2014

10

Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
JP H1112701 A	19-01-1999	KEINE	
JP 2010121150 A	03-06-2010	KEINE	
JP 2010018857 A	28-01-2010	JP 5126787 B2 JP 2010018857 A	23-01-2013 28-01-2010
JP S5983723 A	15-05-1984	KEINE	
GB 2057500 A	01-04-1981	KEINE	

15

20

25

30

35

40

45

50

55

EPO FORM P0461

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

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

- US 5084112 A [0004] [0005] [0006] [0007]
- JP 2005264315 A [0008]

In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur

- **EISEN ; ZIRKONIUM ; SILIZIUM.** gebildete ternäre Ausscheidungen treten. *Materials Science International Team, MSIT* [0016]
- **DU, YONG ; XIONG, WEI ; ZHANG, WEIWEI ; CHEN, HAILIN ; SUN, WEIHUA.** Iron - Silicon - Zirconium. SpringerMaterials, 2009 [0016]