

(19)



(11)

EP 1 795 617 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
13.06.2007 Patentblatt 2007/24

(51) Int Cl.:
C21D 6/00 ^(2006.01) **C21D 8/02** ^(2006.01)
C21D 8/12 ^(2006.01) **C21D 9/52** ^(2006.01)
C21D 9/46 ^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **06125750.7**

(22) Anmeldetag: **08.12.2006**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR
 HU IE IS IT LI LT LU LV MC NL PL PT RO SE SI
 SK TR**
 Benannte Erstreckungsstaaten:
AL BA HR MK YU

(72) Erfinder:
 • **Schneider, Jürgen, Prof. Dr.-Ing.**
44807 Bochum (DE)
 • **Telger, Karl, Dipl.-Phys.**
48653 Coesfeld (DE)

(30) Priorität: **09.12.2005 DE 102005059308**

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

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

(54) Verfahren zum Wärmebehandeln eines Elektroblech-Stahlbands

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Wärmebehandeln von Elektroblech-Stahlbändern, bei dem die Stahlbänder zunächst durchlaufgeglüht und anschließend in mindestens drei Stufen kontrolliert abgekühlt werden. Die Entstehung von inneren Spannungen und Bandunebenheiten wird erfindungsgemäß dadurch vermieden, dass die erste Stufe der Abkühlung von der maximalen Bandtemperatur $T_{\max}$ bis zu einer um 50 °C über der Curie-Temperatur T_C liegenden Temperatur $T_{C+50^\circ\text{C}}$ reicht und das Stahlband während dieser ersten Stufe der Abkühlung mit einem Abkühlgradienten CR_1 von -38 °C/s bis -1 °C/s gekühlt wird, dass die zweite Stufe der Abkühlung von der Temperatur $T_{C+50^\circ\text{C}}$ bis zu einer um 80 °C unterhalb der Curie-Temperatur T_C liegenden Temperatur $T_{C-80^\circ\text{C}}$ reicht und das Stahlband während der zweiten Stufe der Abkühlung mit einem Abkühlgradienten CR_2 gekühlt wird, die in einem Bereich liegt, dessen obere Grenze $CR_{2\text{MAX}}$ und untere Grenze $CR_{2\text{MIN}}$ in Abhängigkeit wie folgt bestimmt werden:

$$CR_{2\text{MIN}} = 3 \cdot \pi \cdot \left(\cos \left(2 \cdot (T_{\text{Band}} - T_C) \frac{\pi}{2^6} \cdot \left((T_{\text{Band}} - T_C) \left(\frac{\pi}{2^6} \right)^2 + 1 \right) \right) - 1 \right) - \pi$$

$$CR_{2\text{MAX}} = \pi \cdot \left(\cos \left(2 \cdot (T_{\text{Band}} - T_C) \frac{\pi}{2^6} \cdot \left((T_{\text{Band}} - T_C) \left(\frac{\pi}{2^6} \right)^2 + 1 \right) \right) + 1 \right) - \pi$$

und dass in der unterhalb der Temperatur $T_{C-80^\circ\text{C}}$ beginnenden dritten Stufe der Abkühlung mit einem Abkühlgradienten CR_3 von bis zu -85 °C/s beschleunigt abgekühlt wird.

EP 1 795 617 A1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Wärmebehandeln von Stahlbändern, die aus einem Stahl, der Si und/oder Al mit der Maßgabe, dass für den Si-Gehalt %Si und den Al-Gehalt %Al gilt $\%Si + 2 \times \%Al \leq 6,6$ Gew.-%, bis zu 2,5 Gew.-% Mn, wahlweise ein oder mehrere Elemente aus der Gruppe "P, Cr, Ni" mit Gehalten von jeweils bis zu 1 Gew.-%, wahlweise eines oder mehrere Elemente aus der Gruppe "C, N, S" mit Gehalten von jeweils bis zu 0,1 Gew.-% und als Rest Eisen sowie unvermeidbaren Verunreinigungen enthält, erzeugt sind, bei dem die Stahlbänder zunächst durchlaufgeglüht und anschließend kontrolliert in mindestens drei Stufen abgekühlt werden. Ein solches Verfahren ist beispielsweise aus der EP 0 357 797 A1 bekannt.

[0002] In langen Bahnen und großen Breiten gefertigte Stahlbänder werden in einem sehr großen Bereich als Konstruktionswerkstoffe eingesetzt. In einem Dickenbereich von ca. 0,1 bis 2 mm sind für derartige Stahlbänder gleichmäßige mechanische Eigenschaften gefragt. Diese werden zum Teil erst nach einer Wärmebehandlung mit anschließender Umformung erreicht. Die Wärmebehandlung schließt dabei in der Regel ein Glühen und eine gesteuerte Abkühlung ein. Die Glühung und Abkühlung führen in der Praxis zu Unebenplanheiten und inneren Spannungen des Bandes.

[0003] Bei solchen Herstellverfahren, bei denen nach dem Glühen eine Umformung des Bandmaterials stattfindet, sind die im Glühprozess erzeugten Unplanheiten und inneren Materialspannungen bis zu einem gewissen Maß tolerabel. Problematisch sind sie jedoch bei solchen Stahlwerkstoffen, bei denen ein Glühprozess einen entscheidenden Einfluss auf die Ausprägung ihrer Eigenschaften hat. Ein Beispiel für derartige Verwendungen von Stahlband sind so genannte "Elektrobleche", die aufgrund ihrer besonderen elektromagnetischen Eigenschaften im Bereich der Elektrotechnik verwendet werden.

[0004] Bei den Blechen, bei denen das Glühen einen entscheidenden Einfluss auf die Eigenschaften hat, führt eine anschließende Umformung zu einer Verschlechterung der betreffenden Eigenschaft. Daher scheidet bei solchen Materialien ein anschließendes Umformen zur Verbesserung der Planheit in der Regel aus. Mit zunehmender Automatisierung, Erhöhung der Qualitätsanforderungen und dem Einsatz neuer Stähle ergibt sich daher die Notwendigkeit, beim Wärmebehandeln das Planheitsniveau zu verbessern sowie die Entstehung von inneren Spannungen zu minimieren.

[0005] Von besonderer Bedeutung ist dies bei Stählen für elektrotechnische Anwendungen. Diese Stähle sind besonders anspruchsvoll bezüglich des Planheitsniveaus, weil sie im schlussgeglühten Zustand keiner Nachverformung mehr ausgesetzt werden dürfen, um ihre im Zuge der Glühung eingestellten guten weichmagnetischen Eigenschaften nicht zu verlieren. Außerdem sind niedrige Eigenspannungsniveaus bei diesen Werkstoffen im Hinblick auf ihre magnetischen Eigenschaften besonders günstig. Daher ist bei der Weiterentwicklung dieser Werkstoffe ein besonderes Augenmerk auf das Glühverfahren zu richten.

[0006] Der Einsatz von elektrotechnischen Stählen liegt im Bereich der Motoren zum Antrieb von Maschinen und Fahrzeugen ebenso wie im Bereich der Transformation von Energie zwischen unterschiedlichen elektrischen Spannungsniveaus. Sie werden hier zur Führung des magnetischen Flusses in Form von gestapelten Elektroblechlamellen als Eisenkern eingesetzt. Für den Einsatzfall der Energieverteilung wurden besondere verlustarme Sorten entwickelt. Diese sind im Wesentlichen kornorientierte Werkstoffe, die durch in Bandrichtung Gossorientierte Texturen ausgezeichnet sind. Sie werden in aufwändigen Verfahren mit Silizium-Gehalten von ca. 3 Gew.-% hergestellt. Diese Werkstoffe sollen hier nur erwähnt, jedoch nicht weiter behandelt werden.

[0007] Der Einsatzfall im Bereich der Aktuatoren, also der Motoren, ist der weitaus häufigere Anwendungsfall und wird üblicherweise mit nichtkornorientierten Stählen abgedeckt. Hierbei ist Silizium mit Anteilen von bis zu 3,5 Gew.-% das Hauptlegierungselement.

[0008] Die weich- und ferromagnetischen Werkstoffe sind von großer Bedeutung in der Elektrotechnik und werden hier z.B. für die Energietransformation und im Bereich der Aktuatoren (Motoren) eingesetzt. Hierbei sind hochpermeable Werkstoffe in ihrem amorphen, nanokristallinen oder kristallinen Zustand zu nennen, die alle darauf abgestimmt erzeugt werden, gute Leiteigenschaften im weichmagnetischen Kern für den magnetischen Fluss bereitzustellen. Hierzu gilt es, die Koerzitivfeldstärke zu minimieren und die Polarisation bereits bei geringem Feldbedarf zu maximieren. Daraus resultieren niedrige Ummagnetisierungsverluste bei geringen Kerngrößen mit niedrigem Kupferbedarf für die Wicklungen. Einen besonderen wirtschaftlichen Stellenwert bei den weichmagnetischen Werkstoffen nehmen dabei die siliziumlegierten Stähle ein. Sie werden mit bis zu 3,5 Gew.-% Si in Standardblechstärken von 0,1 bis 1,0 mm als Band gefertigt und beispielsweise als Blechstapel im Flussleitern von Elektromaschinen bzw. Transformatoren eingesetzt. Da die jeweils verarbeiteten Elektrobleche den Energiebedarf der fertigen Pumpen, Lüfter, Verdichter, Drosseln und Motoren direkt beeinflussen, sind für den jeweiligen Anwendungsfall Stahlsorten mit speziell zugeschnittenem Magnetisierungsverhalten entwickelt worden.

[0009] Eine Gruppe dieser Stähle wird beim Stahlband-Produzenten zum Teil im Nachwalzgerüst und / oder im Streckrichter nachverformt und im so genannten Semi-Finished-Zustand an den Kunden ausgeliefert. Beim Kunden werden aus dem semi-finished Material Blechteile gestanzt oder geschnitten, die anschließend gegläht werden. Erst nach dieser Glühung stellen sich die geforderten guten weichmagnetischen Eigenschaften ein.

[0010] Die andere Gruppe dieser elektrotechnischen Stähle, die als "fully-finished" bezeichnet wird, wird schon beim

Stahlband-Produzenten vor der Auslieferung an den Kunden so wärmebehandelt, dass es die geforderten magnetischen Eigenschaften auch nach einem Stanzen bzw. Schneiden beim Kunden behält, ohne dass dazu eine abschließende Glühung beim Kunden durchgeführt werden muss. Gerade bei solchem "fully-finished-Material" erfordert die Steigerung der Effizienz der Weiterverarbeitung eine gute Planlage vor und nach dem Stanzvorgang.

[0011] Um dies zu erreichen, werden Stahlbänder benötigt, bei denen im Auslieferungszustand nur minimale Planlagefehler vorhanden sind. Von besonderer Bedeutung ist in diesem Zusammenhang die Randwelligkeit des Stahlbands, da nur bei minimierter Randwelligkeit eine optimale Materialausnutzung möglich ist. Aufgrund der zum Teil filigranen Stanzteile mit nur Millimeter großen Strukturen müssen zusätzlich die inneren Spannungen im Blech niedrig gehalten werden, damit diese Strukturen sich nicht verwerfen, wodurch das Stapeln der Stanzteile behindert würde.

[0012] Bei dem aus der eingangs bereits erwähnten EP 0 357 797 A1 bekannten Verfahren wird zur Vermeidung der Entstehung von inneren Wärmespannungen in einem nicht kornorientierten Elektroblech in Folge des Schlussglühens die Abkühlung des Blechs nach dem Glühen in drei Stufen durchgeführt. In der ersten, von 620 - 550 °C reichenden Stufe wird dabei eine Abkühlrate von höchstens 8 °C/s eingestellt. Die mittlere Abkühlgeschwindigkeit in der zweiten, von < 550°C - 300 °C reichenden Abkühlstufe soll zum einen größer als die Abkühlgeschwindigkeit der ersten Stufe, zum anderen jedoch auch kleiner als das Vierfache der Abkühlgeschwindigkeit der ersten Stufe sein. In der dritten, sich an die zweite Abkühlstufe anschließenden Stufe soll schließlich eine mittlere Abkühlgeschwindigkeit von mindestens 5 °C/s eingehalten werden. Die praktische Durchführung dieses Verfahrens hat zwar Elektrobleche ergeben, die verbesserte magnetische Eigenschaften hatten. Das Problem der für die Weiterverarbeitung häufig mangelhaften Planheit der in der aus der EP 0 357 797 A1 bekannten Weise wärmebehandelten Elektrobleche bestand jedoch weiter.

[0013] Die vorliegende Erfindung hat sich daher insbesondere mit der im Zuge der Herstellung von Fully-Finished-Elektrobändern durchgeführten Wärmebehandlung beschäftigt und die Frage beantwortet, wie eine Glühung mit anschließender Abkühlung durchzuführen ist, um bei niedrigen inneren Spannungen gute Planheitszustände bei Elektroblechmaterial zu gewährleisten.

[0014] Ausgehend von einem Verfahren der eingangs angegebenen Art ist diese Aufgabe erfindungsgemäß dadurch gelöst worden,

- dass die erste Stufe der Abkühlung von der maximalen Bandtemperatur $T_{\max}$ bis zu einer um 50 °C über der Curie-Temperatur T_C liegenden Temperatur $T_{C+50^\circ\text{C}}$ reicht und das Stahlband während dieser ersten Stufe der Abkühlung mit einem Abkühlgradienten CR_1 von -38 °C/s bis -1 °C/s gekühlt wird,
- dass die zweite Stufe der Abkühlung von der Temperatur $T_{C+50^\circ\text{C}}$ bis zu einer um 80 °C unterhalb der Curie-Temperatur T_C liegenden Temperatur $T_{C-80^\circ\text{C}}$ reicht und das Stahlband während der zweiten Stufe der Abkühlung mit einem Abkühlgradienten CR_2 gekühlt wird, die in einem Bereich liegt, dessen obere Grenze $CR_{2\text{MAX}}$ und untere Grenze $CR_{2\text{MIN}}$ wie folgt bestimmt werden:

$$CR_{2\text{MAX}} = \pi \cdot \left(\cos \left(2 \cdot (T_{\text{Band}} - T_C) \frac{\pi}{2^6} \cdot \left((T_{\text{Band}} - T_C) \left(\frac{\pi}{2^6} \right)^2 + 1 \right) \right) + 1 \right) - \pi$$

$$CR_{2\text{MIN}} = 3 \cdot \pi \cdot \left(\cos \left(2 \cdot (T_{\text{Band}} - T_C) \frac{\pi}{2^6} \cdot \left((T_{\text{Band}} - T_C) \left(\frac{\pi}{2^6} \right)^2 + 1 \right) \right) - 1 \right) - \pi$$

und

- dass in der unterhalb der Temperatur $T_{C-80^\circ\text{C}}$ beginnenden dritten Stufe der Abkühlung mit einem Abkühlgradienten CR_3 von bis zu -85 °C/s beschleunigt abgekühlt wird.

[0015] Mit den "Abkühlgradienten" CR_1 , CR_2 und CR_3 sind die Temperaturabnahmen pro Zeiteinheit [°C/s] bezeichnet, die in der jeweiligen Abkühlstufe erreicht werden (CR_1 , CR_2 , CR_3 jeweils < 0 °C/s).

[0016] Der Erfindung liegt die Erkenntnis zugrunde, dass bei der konventionellen Elektroblechherstellung inhomogene Temperaturverhältnisse über die Bandbreite beim Durchlaufglühen die primäre Ursache für die Entstehung von Planheitsabweichungen und inneren Spannungen sind. Diese sind nicht nur in begrenztem Maße auf Inhomogenitäten der Temperaturverteilung im Ofenquerschnitt zurückzuführen, sondern ergeben sich wesentlich aus der Oberflächenqualität

und dem angewendeten Stichplan beim Kaltwalzen. Hier spielen beim Aufheizen auf Grund hoher Wärmeübergangszahlen noch vorhandene partielle Oxidschichten aus dem Vorprozess (Warmband, Kaltband) eine starke Rolle.

[0017] Beim Kühlen gewinnt die Oberflächenrauheit neben den beim Glühprozess entstehenden Oxidschichten an Bedeutung. Die Rauheitskennzahl R_{Pc} (Rauheitsspitzenzahl) steuert neben der Legierungszusammensetzung der Oberfläche primär bei recht konstanten mittleren Rautiefen die Energieaufnahme der Materialoberfläche. Die dadurch hervorgerufenen geringen Änderungen der Emissionszahl reichen aus, um eine weitere Veränderung der Emissionszahl über die Temperaturabhängigkeit anzustoßen. Diese Effekte kumulieren rauheitsabhängig, so dass über größere Zeiträume (ca. 30 - 60 s) bei entsprechend steilen Kühlgradienten ohne Unterbrechungen in der Kühlung und ohne Anpassung der Kühlkurve deutliche Temperaturdifferenzen von bis zu 70 °C über die Bandbreite (abhängig von Ausgangstemperatur, Gradient und Zeit) auftreten.

[0018] Damit ergibt sich für die Gleichmäßigkeit der Materiallängung im Durchlaufofen eine Abhängigkeit von der Oberflächenqualität, wobei ein Ansprechen der plastischen Dehnung auf unterschiedliche Kühlkurven bei identischem Vormaterial mit inhomogenen Oberflächen nachgewiesen werden konnte.

[0019] In allen Fällen liefert der Kaltwalzprozess die Rekristallisationskeime und damit den Ausgangswert für eine gleichmäßige oder ungleichmäßige Rekristallisation. Inhomogene Gefügestände über die Bandbreite werden damit durch hohe Scherungen beim Kaltwalzen aufgrund hoher Reibungen an der Oberfläche hervorgerufen. Gute homogen gebeizte Oberflächen ohne Restoxidschichten sind damit wichtige Voraussetzungen für ein günstiges homogenes Kaltwalzen und ein niedriges Spannungsniveau des Materials nach dem Glühen.

[0020] Bereits aus der Homogenität des Warmwalzvorganges in Form einer gleichmäßigen Temperaturverteilung über die Bandbreite und damit ggf. eines Umformregimes in anderen kristallographischen Phasengebieten ergibt sich eine Veränderung der Startbedingungen beim Kaltwalzen. Auch der Oxidation nach dem Warmwalzen kommt hier gerade im Randbereich des Bandes eine besondere Bedeutung zu.

[0021] Der Kaltwalzschrift kann diese Gefügestände oder restzunderbehafteten Oberflächen nicht beseitigen. Vielmehr schafft er bei stark scherenden Kaltwalzbedingungen und hohen Walzkräften im Sinne von Versetzungsinhomogenitäten nur noch schlechtere Startbedingungen für die rekristallisierende Durchlaufglühung. All dies kann dazu führen, dass z. B. im Mitten- und Kantenbereich beim Durchlaufglühen Schwankungen von Korngrößenverteilungen aber auch von Koerzitivfeldstärkewerten entstehen, die dann ein Zeichen für hohe innere Spannungen sind.

[0022] Im Ergebnis konnte somit als maßgeblicher Einfluss für die Homogenität eines Bandes bezüglich niedriger innerer Spannungen und guter Planheit die jeweilige Oberflächenqualität und die Korngrößenverteilung des Kaltwalzprozess ausgemacht werden.

[0023] Aus leistungs- und anlagentechnischen Gründen ist es vielfach jedoch nur mit großem Aufwand und hohen Kosten möglich, den Kaltwalzprozess so zu ändern, dass ein optimiertes Flachprodukt der in Rede stehenden Art erzeugt werden kann.

[0024] Die Erfindung hat nun einen Weg gezeigt, wie die Entstehung von inneren Spannungen und Planheitsproblemen bei der Herstellung von Stahlbändern der in Rede stehenden Art minimiert werden können, ohne dass dazu der Kaltwalzprozess oder die anderen, voranstehend erwähnten, dem Wärmebehandlungsschritt vorgeschalteten Prozessschritte geändert werden müssen.

[0025] Indem die auf die Glühung folgende, noch im Auslauf des Durchlaufofens einsetzende Abkühlung erfindungsgemäß mindestens dreistufig mit einer exakt vorgegebenen Temperaturführung um die Curie-Temperatur herum durchgeführt wird, lassen sich überraschend solche Einflüsse ausgleichen, die das Stahlband aus dem Glühschritt selbst und den dem Glühen vorgeschalteten Prozessen mitbringt.

[0026] Im Zuge des erfindungsgemäßen Verfahrens wird beim Aufheizen ein Teil der Wärmeenergie zur Auflösung der ferro-magnetischen Ordnung benötigt. In diesem Bereich kommt es zur Temperaturkonvergenz der Bandtemperatur über die Bandbreite, so dass Volumenquerschnitte über die Bandbreite im unkritischen Oberflächenqualitätsfall alle ihre angestrebte Maximum-Temperatur erreichen und höchstens unterschiedliche Zeiten für die Rekristallisation bei dieser Temperatur zur Verfügung stehen. Im kritischen Fall mit inhomogener Oberfläche und nur kurzer oder keiner Haltezeit ist auch ein Erreichen der maximalen Bandtemperatur nicht gewährleistet. Damit können jedoch in beiden Fällen Korngrößendifferenzen über die Bandbreite auftreten, die vom Kühlprozess nur begrenzt homogenisiert werden können. Die Umformung im Bereich der Aufheizstrecke auf Grund stetig steigender Temperaturen mit erleichterter Umformfähigkeit schlägt sich in Bandednschnürungen und maximal zu verlängerten Kantenbereichen auf Grund kurzer oder homogener Längenverhältnisse der Bandkante zur Bandmitte nieder. Auch Bandlaufschwierigkeiten können hierzu beitragen.

[0027] Die kritischen Bereiche für Dehnungen beim Durchlaufglühen liegen in zwei Bereichen der Kühlung. Zum einen im Bereich der Curie-Temperatur, die durch die Anomalien der spezifischen Wärmekapazität und das Emissionszahlverhalten zur temperaturabhängigen Verwertung der eingestrahnten Wärmeenergie führt. Das Aufbauen der ferro-magnetischen Kopplung der Atome beim Kühlvorgang kostet Energie, die nicht zur Temperaturabsenkung zur Verfügung steht. Dadurch kann eine bis dahin bestehende kleine Temperaturdifferenz in Bandbereichen quer über die Bandbreite zu einer deutlichen Vergrößerung angeregt werden. Die beiden wesentlichen Einflussgrößen in der Temperaturübertragung, Emissionszahl und spezifische Wärmekapazität, sind hier temperaturabhängig und tragen im ungünstigen Fall

zu einer gegenseitigen Beeinflussung und zur Schaffung deutlich unterschiedlicher Werte über die Bandbreite bei. Durch die entstehende Temperaturdifferenz ergibt sich bei Auswertung der auf Grund der aus der lokalen Temperaturdifferenz über die Bandbreite entstehenden unterschiedlichen Ausdehnungen, die ebenfalls temperaturabhängig sind, und der Bandzüge, die sich in "kälteren", kürzeren Bandbereichen hinzuaddieren, eine Umformung des Materials.

[0028] Ansonsten ist von einem homogenen Längungsbild des Materials auszugehen. Beim Kühlen hingegen reduziert sich die Umformfähigkeit des Materials mit fallender Temperatur. Hierbei kann es im Bereich der Curie-Temperatur wegen recht hoher m -Werte ($m = d(\ln \sigma_F) / d(\ln \dot{\epsilon})$; $\dot{\epsilon}$ = Umformgeschwindigkeit; σ_F = Fließspannung (temperaturabhängig)) zu lokalen Umformeffekten kommen, wenn diese Umformgeschwindigkeiten sich von $0,1 \text{ s}^{-1}$ auf $1,0 \text{ s}^{-1}$ ändern (Scherungseffekte). Das hat Umformungen im jeweiligen Kristall (Korn) zur Folge und damit Spannungseinbringungen in das Gefüge, die nicht nur im Korngrenzenbereich stattfinden (Gitterbaufehler). Zwischen 550°C und 700°C sind bei niedrigen Umformgeschwindigkeiten ($< 0,01 \text{ s}^{-1}$) Ausheileffekte nur begrenzt möglich.

[0029] Für eine 1,3 Gew.-% Si und 0,15 Gew.-% Al enthaltende Elektroblechlegierung konnten die im Zuge der erfindungsgemäßen Wärmebehandlung entstehenden Spannungen anhand magnetischer Messungen, insbesondere der Koerzitivfeldstärke, nachgewiesen werden. Eine Anpassung der Glühkurve in diesem Temperaturbereich der Kühlung in Form einer um $730 - 750^\circ\text{C}$ (740°C beträgt die Curie-Temperatur dieser Legierung) liegenden Temperaturhaltestufe ergab eine deutliche Verbesserung bei den magnetischen Eigenschaften gegenüber der Fahrweise ohne den erfindungsgemäßen Kühlstopp. Dies gilt insbesondere, wenn inhomogene Rauheitsprofile über die Bandbreite gemessen wurden. Hierbei verhalten sich die Rauheitsprofile des kaltgewalzten Materials bezüglich mittlerer Rautiefe und Rauheitsspitzenzahl nahezu identisch, so dass nach dem nichtoxidierenden Glühvorgang die Tafelproben nach der Glühung zum Vergleich herangezogen werden konnten.

[0030] Entsprechende deutliche Verbesserungen der magnetischen Eigenschaften werden erzielt, wenn für eine 3,0 Gew.-% Si und 0,4 Gew.-% Al enthaltende Elektroblechlegierung, deren Curie-Temperatur bei 746°C liegt, die Glühkurve in Form einer um $730^\circ\text{C} - 765^\circ\text{C}$ liegenden Temperaturhaltekurve angepasst wird.

[0031] Bei einer Elektroblechlegierung mit 0,15 Gew.-% Si und 0,1 Gew.-% Al sowie einer Curie-Temperatur von 767°C können entsprechende Verbesserungen der magnetischen Eigenschaften mit einer um $750 - 775^\circ\text{C}$ liegenden Temperaturhaltestufe in der Glühkurve erzielt werden.

[0032] Nach dem Verlassen des kritischen Bereichs der zweiten Stufe der Abkühlung kann während der dritten Stufe die Abkühlung beschleunigt erfolgen. Dabei lässt sich zum jeweiligen Zeitpunkt der dritten Stufe der Abkühlung der dann jeweils optimale Abkühlgradient CR_3 mit einer Toleranz von $\pm 20^\circ\text{C}$ wie folgt bestimmen:

$$CR_3 = 3,4 \cdot t_{\text{schnell}} - 70$$

mit t_{schnell} [sec]: Jeweiliger Zeitpunkt der Abkühlung, für den der einzustellende Abkühlgradient CR_3 bestimmt werden soll; $CR_3 \leq 0^\circ\text{C/s}$.

Typischerweise beträgt dabei die Dauer der dritten Stufe der Abkühlung 14 - 30 Sekunden.

[0033] Eine weitere vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung ist dadurch gekennzeichnet, dass die Abkühlung ab einem 5 - 10 Sekunden vor Erreichen der Curie-Temperatur T_C liegenden Zeitpunkt und bis zu einem 5 - 10 Sekunden nach dem Erreichen der Curie-Temperatur T_C liegenden Zeitpunkt mit einem Abkühlgradienten CR_2 nahe dem minimalen Abkühlgradienten $CR_{2\text{MIN}}$ eingestellt wird. Auf diese Weise wird der Aufbau von thermischen Spannungen im Material sicher verhindert, zu dem es andernfalls aufgrund der im kritischen Temperaturbereich von T_C nicht linearen spezifischen Wärmekapazität des jeweils verarbeiteten Blechmaterials kommen kann. Der im Bereich der Curie-Temperatur stattfindende Aufbau der ferromagnetischen Ordnung benötigt Energie, die dann nicht zur Veränderung der Temperatur zur Verfügung steht. Indem erfindungsgemäß der Abkühlgradient in diesem Temperaturbereich reduziert wird, wird so das Potenzial für die Entstehung von inneren Spannungen minimiert.

[0034] Ebenso trägt es zur weiteren Optimierung der Eigenschaften des erfindungsgemäß verarbeiteten Stahlbandes bei, wenn die Abkühlung ab einem 5 - 15 Sekunden vor Erreichen der Temperatur $T_{C-80^\circ\text{C}}$ liegenden Zeitpunkt mit einem Abkühlgradienten CR_2 durchgeführt wird, der nahe dem minimalen Abkühlgradienten $CR_{2\text{MIN}}$ eingestellt wird. Durch diese Maßnahme werden hinsichtlich der Temperaturhomogenität optimale Startbedingungen über die Bandbreite für die anschließend absolvierte dritte Stufe der Abkühlung geschaffen. Im Ergebnis führt diese Maßnahme so zu einer optimalen Planheit des erfindungsgemäß wärmebehandelten Warmbands.

[0035] Eine Oxidation des Stahlbands während des Glühens kann auch bei erfindungsgemäßer Vorgehensweise dadurch vermieden werden, dass das Durchlaufglühen unter einer Schutzgas-Atmosphäre durchgeführt wird. Diese Schutzgas-Atmosphäre kann in ebenfalls an sich bekannter Weise entkohlend wirken, um minimierte C-Gehalte im fertigen Stahlband zu erreichen.

[0036] Gemäß einer ersten Variante des Glühschrittes wird das Stahlband beim Durchlaufglühen in einer einzigen Aufheizstufe auf die Glühtemperatur erwärmt. Dabei kann zum Erwärmen des Stahlbands eine Schnellheizeinrichtung

eingesetzt werden, die das Stahlband im Bereich von 20 - 450 °C in einer offen beheizten Verbrennungsgasatmosphäre mit einer Heizrate von mehr als 100 °C/s erwärmt. Durch die schnelle Aufheizung wird eine Oberflächenoxidation bewirkt, die die Energieaufnahme während des gesamten Glühprozesses vergleichmäßig und so die Temperaturunterschiede über die Bandbreite minimiert.

[0037] Gemäß einer alternativen Variante des Glühschrittes wird das Erwärmen des Stahlbands auf die Glühtemperatur in mindestens zwei Stufen durchgeführt. Hierdurch wird eine gleichmäßige Erwärmung des Stahlbands auf maximale Temperatur sichergestellt.

[0038] Es hat sich im Hinblick auf eine Optimierung der Eigenschaften des erhaltenen Stahlbands als besonders günstig erwiesen, wenn Temperaturhaltestufen um T_c und vor $T_{c-80^\circ C}$ durch Absenkung der Ofenraumtemperatur für 3 bis 10 s vor der jeweiligen Temperaturhaltestufe um 30 - 200 °C unter die Ofenraumtemperatur der nachfolgenden Ofenraumtemperaturen eingestellt werden. Auf diese Weise werden höhere Energieübergänge erzeugt, welche die Möglichkeiten der sich anschließenden erfindungsgemäßen Reduzierung der Abkühlgradienten im Material erweitern.

[0039] Die erfindungsgemäße Verfahrensweise eignet sich speziell für solche Stahlbänder, die aus Stählen mit Si-Gehalten %Si und Al-Gehalten %Al, für die gilt $\%Si + 2 \times \%Al \leq 6,6$ Gew.%, hergestellt sind und deren mittlere spezifische Wärmekapazität C_p bei T_c eine nichtlineare Überhöhung zeigt.

[0040] Das erfindungsgemäße Verfahren besitzt eine höhere Toleranzbreite gegenüber über der Bandbreite auf Ober- und Unterseite schwankenden Oberflächenrauheiten. So lassen sich mit der erfindungsgemäßen Vorgehensweise auch noch bei solchen Stahlbändern geringe innere Spannungen und eine gute Planheit gewährleisten, bei denen über die Breite des Bands die Rauheitsspitzenzahlen (R_{Pc}) von 100 bis 300 und R_z-Werte von 2 bis 7 µm schwanken.

[0041] Auch zeigt sich, dass bei erfindungsgemäßer Vorgehensweise auch bei restspannungsbehafteten inhomogenen Gefügen nach dem Glühprozess niedrige magnetische Streuungen (Standardabweichung) unter 1,2 % für die Koerzitivfeldstärkenänderung durch eine anschließende Spannungsfreiglühung bei 650 °C gewährleistet werden können.

[0042] Auch bei restspannungsbehafteten homogenen Ausgangsgefügen nach dem Glühprozess ermöglicht die Erfindung niedrige magnetische Streuungen (Standardabweichung) unter 1,0 % für die Koerzitivfeldstärkenänderung durch eine anschließende Spannungsfreiglühung bei 650 °C gegenüber einer Glühung ohne Haltestufen. Zudem zeigt sich eine Verbesserung bei den Mittelwerten in der Koerzitivfeldstärkeänderung durch die Spannungsfreiglühung von < 5 % auf < 2,5 %.

[0043] Ebenso konnte nachgewiesen werden, dass bei erfindungsgemäßer Vorgehensweise 5 - 10 % niedrigere Ummagnetisierungsverluste $P_{1,5}$ bei (1,5 T Polarisation) für das geglühte Material gegenüber einer konventionell durchgeführten linearen Standardkühlung (ohne erfindungsgemäßen Kühlstopp) erzielt werden können. Auch lassen sich bis zu 1 % höhere Polarisationswerte bei 2500 und 5000 A/m für das erfindungsgemäß wärmebehandelte Material erreichen.

[0044] Des Weiteren ergab die Erfindung gegenüber konventionell verarbeitetem Stahlband höhere Permeabilitätswerte bei 1,0 und 1,5 T Polarisation.

[0045] Besonders vorteilhafte Permeabilitätswerte bei 1,0 und 1,5 T Polarisation mit einer Verbesserung um bis zu 20 % lassen sich bei erfindungsgemäßer Verarbeitung für Elektroblechlegierungen erzielen, für deren Si-Gehalt %Si und Al-Gehalt %Al gilt $0,9 \text{ Gew.}\% \leq \%Si + 2 \times \%Al \leq 1,8 \text{ Gew.}\%$.

[0046] Erfindungsgemäß wärmebehandeltes Stahlband weist darüber hinaus regelmäßig bis zu 40 % niedrigere Koerzitivfeldstärkewerte bei 2500 und 5000 A/m für das geglühte Material gegenüber der linear erfolgenden Standardkühlung (ohne erfindungsgemäßen Kühlstopp) auf.

[0047] Ebenso konnte nachgewiesen werden, dass sich bei erfindungsgemäßer Bearbeitungsweise allenfalls symmetrische Einschnürungen und damit verbundene Längungen in Glührichtung (Bandlängsrichtung) über die Bandbreite bei verminderter Randwelligkeiten für das geglühte Material einstellen.

[0048] Schließlich weist erfindungsgemäß nach dem Glühen abgekühltes Material gegenüber Material, das konventionell linear gekühlt worden ist, eine größere Toleranz bezüglich des Einflusses von Kohlenstoffrestgehalten auf die magnetische Alterung auf. So ergab sich bei einer vierjährigen Auslagerung bei Raumtemperatur bei erfindungsgemäß erzeugtem Material ein nur max. 5 % höherer Ummagnetisierungsverlust gegenüber einer bei konventionellem Kühlverfahren eintretenden Ummagnetisierungsverlusterhöhung von 10 - 20 %. Dies gilt insbesondere dann, wenn der Kohlenstoffgehalt auf weniger als 30 ppm begrenzt wird, wobei sich herausgestellt hat, dass bei Elektroblechen, für deren S-Gehalt %Si und Al-Gehalt %Al gilt $\%Si + 2 \times \%Al \geq 1,8 \text{ Gew.}\%$, die erfindungsgemäße Verbesserung sich auch bei Kohlenstoffgehalten von bis zu 50 ppm einstellt.

[0049] Nachfolgend wird die Erfindung anhand von Ausführungsbeispiele darstellenden Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen jeweils schematisch:

Fig. 1 eine Anlage zur Wärmebehandlung von kaltgewalztem Stahlband;

Fig. 2 einen in der Anlage gemäß Fig. 1 eingesetzten Durchlaufofen.

[0050] Die konventionell aufgebaute Anlage A zur Wärmebehandlung eines kaltgewalzten Stahlbands S umfasst in Bandlaufrichtung B aufeinander folgend eine Abhaspeleinrichtung C, einen Einlaufspeicher D, einen Durchlaufofen E, eine an den Durchlaufofen E angeschlossene Kühleinrichtung F, einen Auslaufspeicher G und eine Aufhaspeleinrichtung H.

[0051] Der Durchlaufofen E ist in 26 in Bandlaufrichtung B aufeinander folgend durchlaufene, jeweils unmittelbar ineinander übergehende Ofenzonen 1 bis 26 untergliedert, von denen die Ofenzone 1 dem Ofeneinlauf E_{ein} und die Ofenzone 26 dem Ofenauslauf E_{aus} zugeordnet ist. Die Ofenzonen 1 bis 12 bilden dabei einen Strahlrohr-Aufheizabschnitt E_A , während die Ofenzonen 13 - 26 gemeinsam einen Strahlungskühlungsabschnitt E_K bilden. Jede einzelne Ofenzone 1 - 26 ist hinsichtlich der in ihr herrschenden Temperaturen T_O regelbar.

[0052] Die unmittelbar an den Ausgang des Durchlaufofens E angeschlossene Kühleinrichtung F ist in an sich ebenfalls bekannter Weise als Schutzgas-Jet-Schnellkühleinrichtung ausgebildet. Zum Nachweis der Wirkung der Erfindung sind in der Anlage A 0,5 mm dicke und 1265 mm breite kaltgewalzte Elektroblech-Stahlbänder wärmebehandelt worden, die aus einer Stahllegierung erzeugt worden sind, die bei einem ersten Beispiel (Beispiel 1) 1,3 Gew.-% Si und 0,15 Gew.-% Al, bei einem zweiten Beispiel (Beispiel 2) 3,0 Gew.-% Si und 0,4 Gew.-% Al sowie bei einem dritten Beispiel (Beispiel 3) 0,15 Gew.-% Si und 0,1 Gew.-% Al enthielt, wobei jede der Stahllegierungen des Weiteren in Summe bis zu 1 Gew.-% Gehalte an Mn, P, Cr, Ni und in Summe bis zu 0,1 Gew.-% Gehalte an C, N, S, Rest Eisen und unvermeidbare Verunreinigungen aufwies. Die entsprechend zusammengesetzten Bänder sind in konventioneller Weise zunächst zu Warmbändern warmgewalzt worden und anschließend in ebenso konventioneller Weise auf Enddicke kaltgewalzt worden sind. Die als Coils I angelieferten, kaltgewalzten Elektroblech-Stahlbänder S sind in der Abhaspeleinrichtung C abgewickelt und über den Bandspeicher D in den Durchlaufofen E geleitet worden. Dort sind sie zunächst in den ersten 12 Ofenzonen 1 - 12 aufgeheizt worden, bis sie beim Verlassen der Ofenzone 12 über ihren Bandquerschnitt eine gleichmäßige Temperatur von mindestens 800 °C aufwiesen.

[0053] Die Steuerung der jeweiligen Ofentemperatur T_O in den Ofenzonen 1 bis 12 erfolgte dabei so, dass die Temperatur beim Eintritt des Stahlbands S in die Ofenzone 13 oberhalb der kritischen Curie-Temperatur T_C lag, die beim Beispiel 1 740 °C, beim Beispiel 2 746 °C und beim Beispiel 3 767 °C betrug.

[0054] In der Ofenzone 14 ist eine deutlich niedrigere Ofentemperatur T_O eingestellt worden als in den benachbarten Ofenzonen 13 und 15, um eine möglichst geringe Temperaturveränderung des Bandes beim Durchlauf durch diese Ofenzone 14 sicherzustellen. Die Folge davon war, dass die Bandtemperatur T_B bis etwa zur Ofenzone 19 im Wesentlichen konstant gehalten worden ist. Ab der Ofenzone 20 ist dann die dortige Ofentemperatur T_O bis zur Ofenzone 22 wieder deutlich abgesenkt worden, so dass etwa in der Ofenzone 22 auch die Bandtemperatur T_B auf eine um mehr als 80 °C unterhalb der Curie-Temperatur liegende Temperatur abgekühlt worden ist. Die Ofentemperatur T_O in den Ofenzonen 23 bis 26 lag gegenüber der Ofentemperatur T_O im Bereich der Ofenzone 22 auf einem deutlich höheren Niveau, so dass über die Ofenzonen 23 - 26 die Bandtemperatur T_B nur geringfügig abnahm. Nach Austritt aus dem Durchlaufofen E und Eintritt in die Kühleinrichtung F ist das Band dann durch Beaufschlagung mit einem Gasstrom beschleunigt gekühlt worden.

[0055] In Diag. 2 ist für ein erfindungsgemäß wärmebehandeltes Stahlband S_E die jeweilige Bandtemperatur T_B über die Ofenzonen 1 bis 26 aufgetragen. Die sich auf das erfindungsgemäß wärmebehandelte Stahlband S_E beziehenden Einträge sind durch ungefüllte Quadrate gekennzeichnet. Zusätzlich ist in Diag. 2 für ein auf konventionelle Weise linear abgekühltes Stahlband S_K die jeweilige Bandtemperatur T_B über die Ofenzonen 1 bis 26 aufgetragen. Die für das konventionell erwärmte und abgekühlte Stahlband S_K ermittelten Temperaturwerte sind durch Kreise gekennzeichnet. Die bei erfindungsgemäßer und konventioneller Wärmebehandlung eingestellten Temperaturgradienten CR_1 , CR_2 , CR_3 sind in der nachfolgenden Tabelle angegeben.

Gradient	Erfindungsgemäß	Konventionell
CR_1	-2 °C/s	- 4,8 °C/s
CR_2	Von T_C-80 bis T_C-66 : -0,9 °C/s Von T_C-80 bis T_C+10 : -1,1 °C/s	- 4,8 °C/s
CR_3	-9,14 °C/s	12,21 °C/s

In Diag. 1 sind für das erfindungsgemäß wärmebehandelte und das konventionell verarbeitete Stahlband S_E die jeweiligen Ofentemperaturen T_O über die jeweils zugeordnete Ofenzone 1 - 26 aufgetragen. Die für das erfindungsgemäß verarbeitete Stahlband S_E ermittelten Temperaturen T_O sind dabei durch ungefüllte Quadrate und die für das konventionell wärmebehandelte Stahlband S_K eingestellten Temperaturen T_O durch Kreise angezeigt.

[0056] Die Eigenschaften der erfindungsgemäß und konventionell wärmebehandelten Stahlbänder sind in der nachfolgenden Tabelle gegenüber gestellt:

	Erfindungsgemäß Wärmebehandelt			Konventionell wärmebehandelt		
Beispiel	1	2	3	1	2	3
Randwelligkeit [%]	< 1	< 1	< 1	< 1,5	< 1,5	< 1,5
P _{1,5} [W/kg]	4,8	4,2	7,3	5,2	4,8	7,8
J ₂₅₀₀ [T]	1,68	1,623	1,646	1,67	1,606	1,630
μ _{1,0}	5800	6000	3850	4800	3700	3400
μ _{1,5}	3200	2000	1800	2800	1400	1600

15 Es zeigt sich eine deutliche Überlegenheit der Planheit (Randwelligkeit) und der magnetischen Eigenschaften des erfindungsgemäß wärmebehandelten Stahlbands S_E.

Patentansprüche

- 20 1. Verfahren zum Wärmebehandeln von Stahlbändern, die aus einem Stahl, der Si und/oder Al mit der Maßgabe, dass für den Si-Gehalt %Si und den Al-Gehalt %Al gilt %Si + 2 x %Al ≤ 6,6 Gew.-%, bis zu 2,5 Gew.-% Mn, wahlweise ein oder mehrere Elemente aus der Gruppe "P, Cr, Ni" mit Gehalten von jeweils bis zu 1 Gew.-%, wahlweise eines oder mehrere Elemente aus der Gruppe "C, N, S" mit Gehalten von jeweils bis zu 0,1 Gew.-% und als Rest Eisen sowie unvermeidbaren Verunreinigungen enthält, erzeugt sind, bei dem die Stahlbänder zunächst durchlaufgeglüht und anschließend in mindestens drei Stufen kontrolliert abgekühlt werden, **dadurch gekennzeichnet**,

30 - d a s s die erste Stufe der Abkühlung von der maximalen Bandtemperatur T_{max} bis zu einer um 50 °C über der Curie-Temperatur T_C liegenden Temperatur T_{C+50°C} reicht und das Stahlband während dieser ersten Stufe der Abkühlung mit einem Abkühlgradienten CR₁ von -38 °C/s bis -1 °C/s gekühlt wird,
- d a s s die zweite Stufe der Abkühlung von der Temperatur T_{C+50°C} bis zu einer um 80 °C unterhalb der Curie-Temperatur T_C liegenden Temperatur T_{C-80°C} reicht und das Stahlband während der zweiten Stufe der Abkühlung mit einem Abkühlgradienten CR₂ gekühlt wird, die in einem Bereich liegt, dessen obere Grenze CR_{2MAX} und untere Grenze CR_{2MIN} wie folgt bestimmt werden:

$$CR_{2MIN} = 3 \cdot \pi \cdot \left(\cos \left(2 \cdot (T_{\text{Band}} - T_C) \frac{\pi}{2^6} \cdot \left((T_{\text{Band}} - T_C) \left(\frac{\pi}{2^6} \right)^2 + 1 \right) \right) - 1 \right) - \pi$$

$$CR_{2MAX} = \pi \cdot \left(\cos \left(2 \cdot (T_{\text{Band}} - T_C) \frac{\pi}{2^6} \cdot \left((T_{\text{Band}} - T_C) \left(\frac{\pi}{2^6} \right)^2 + 1 \right) \right) + 1 \right) - \pi$$

50 - und d a s s in der unterhalb der Temperatur T_{C-80°C} beginnenden dritten Stufe der Abkühlung mit einem Abkühlgradienten CR₃ von bis zu -85 °C/s beschleunigt abgekühlt wird.

- 55 2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass der während der dritten Stufe der Abkühlung zum jeweiligen Zeitpunkt t_{schnell} eingestellte Abkühlgradient CR₃ mit einer Toleranz von ± 20 °C wie folgt bestimmt wird:

$$CR_3 = 3,4 \cdot t_{\text{schnell}} - 70$$

mit t_{schnell} [sec] : Jeweiliger Zeitpunkt der Abkühlung, für den der einzustellende Abkühlgradient CR₃ bestimmt

werden soll; $CR_3 \leq 0 \text{ } ^\circ\text{C/s}$.

3. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Dauer der dritten Stufe der Abkühlung 14 - 30 Sekunden beträgt.
4. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Abkühlung ab einem 5 - 10 Sekunden vor Erreichen der Curie-Temperatur T_C liegenden Zeitpunkt und bis zu einem 5 - 10 Sekunden nach dem Erreichen der Curie-Temperatur T_C liegenden Zeitpunkt mit einem Abkühlgradienten CR_2 nahe dem minimalen Abkühlgradienten CR_{2MIN} eingestellt wird.
5. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Abkühlung ab einem 5 - 15 Sekunden vor Erreichen der Temperatur $T_{C-80^\circ\text{C}}$ liegenden Zeitpunkt mit einem Abkühlgradienten CR_2 durchgeführt wird, der nahe dem minimalen Abkühlgradienten CR_{2MIN} eingestellt wird.
6. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Durchlaufglühen unter einer Schutzgas-Atmosphäre durchgeführt wird.
7. Verfahren nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Schutzgas-Atmosphäre entkohlend wirkt.
8. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Stahlband beim Durchlaufglühen in einer Aufheizstufe auf die Glühtemperatur erwärmt wird.
9. Verfahren nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** zum Erwärmen des Stahlbands eine Schnellheizeinrichtung eingesetzt wird, die das Stahlband im Bereich von 20 - 450 $^\circ\text{C}$ in einer offen beheizten Verbrennungsgasatmosphäre mit einer Heizrate von mehr als 100 $^\circ\text{C/s}$ erwärmt.
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Erwärmen des Stahlbands auf die Glühtemperatur in mindestens zwei Stufen durchgeführt wird.
11. Verfahren nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** Temperaturhaltestufen um T_C und vor $T_C - 80^\circ\text{C}$ durch Absenkung der Ofenraumtemperatur für 3 bis 10 s vor der jeweiligen Temperaturhaltestufe um 30 - 200 $^\circ\text{C}$ unter die Ofenraumtemperatur der nachfolgenden Ofenraumtemperaturen eingestellt werden.
12. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** für den Si-Gehalt %Si und den Al-Gehalt %Al gilt $0,9 \text{ Gew.}\% \leq \%Si + 2 \times \%Al \leq 1,8 \text{ Gew.}\%$.

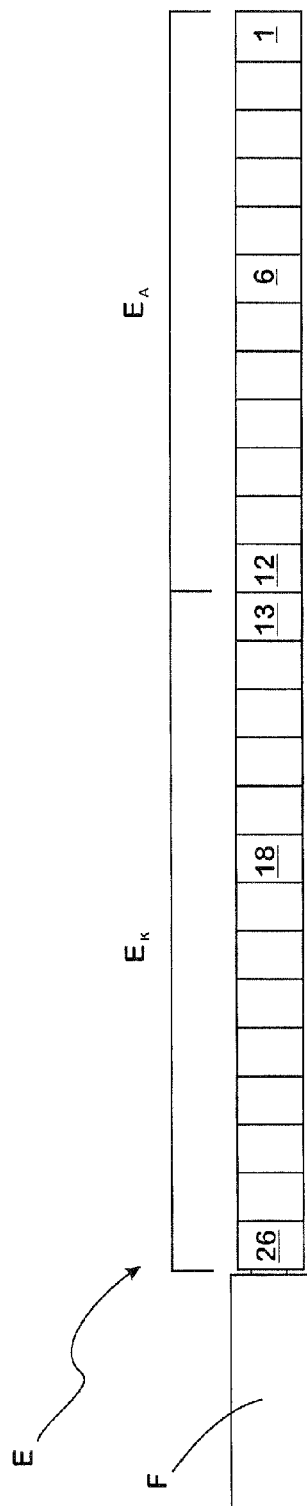


Fig. 2

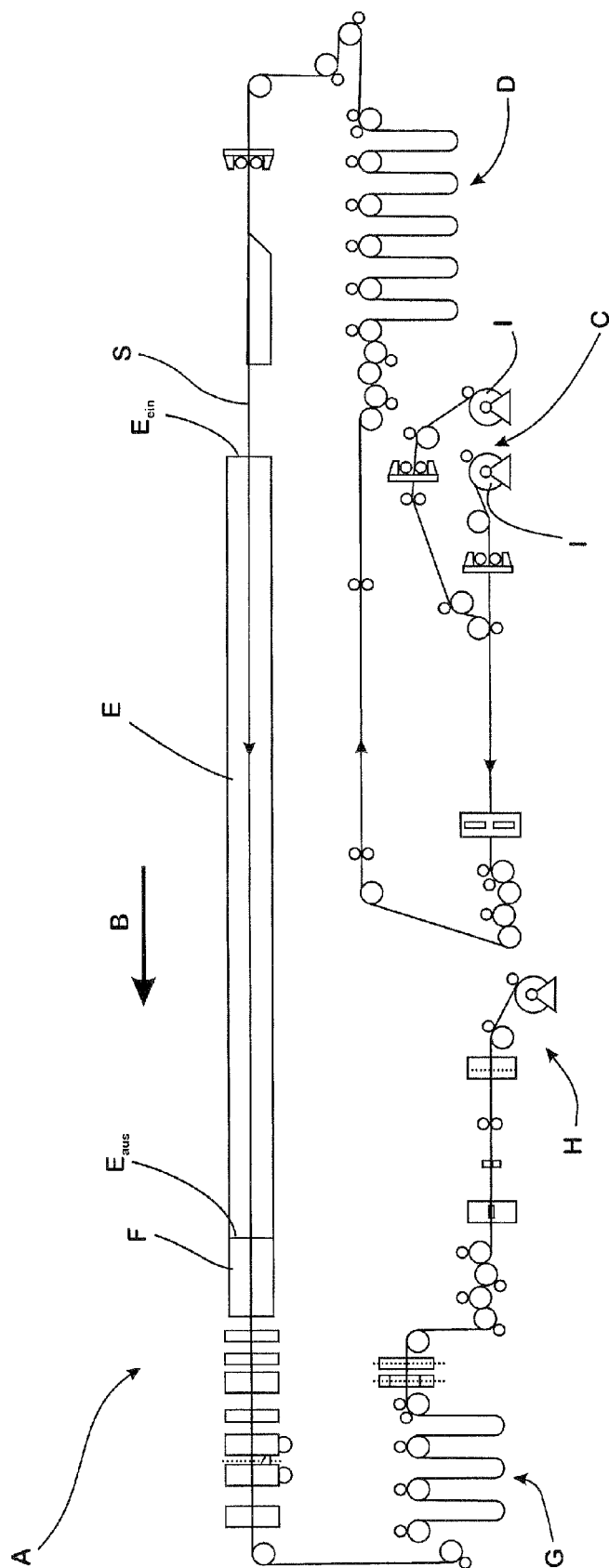
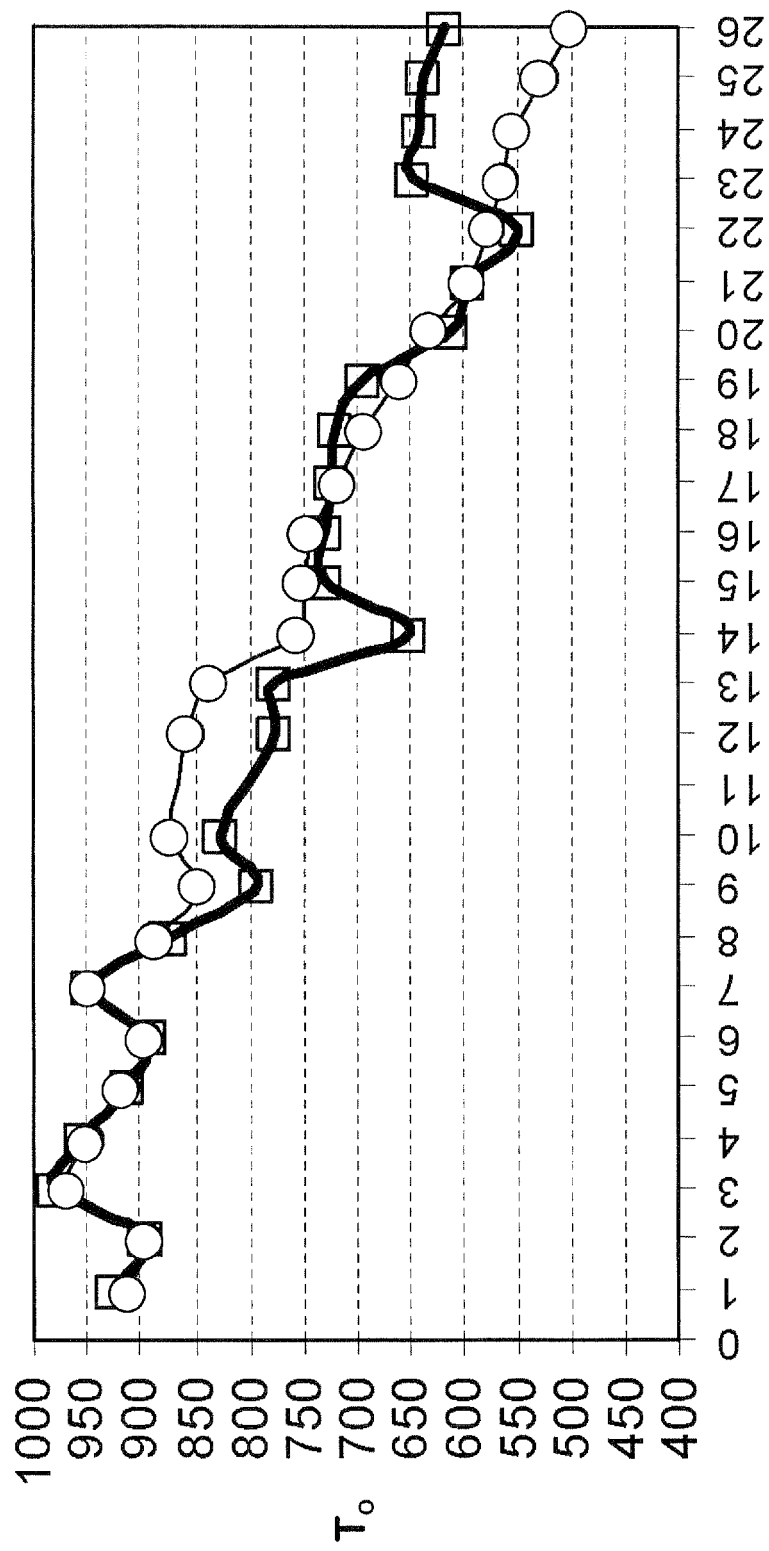
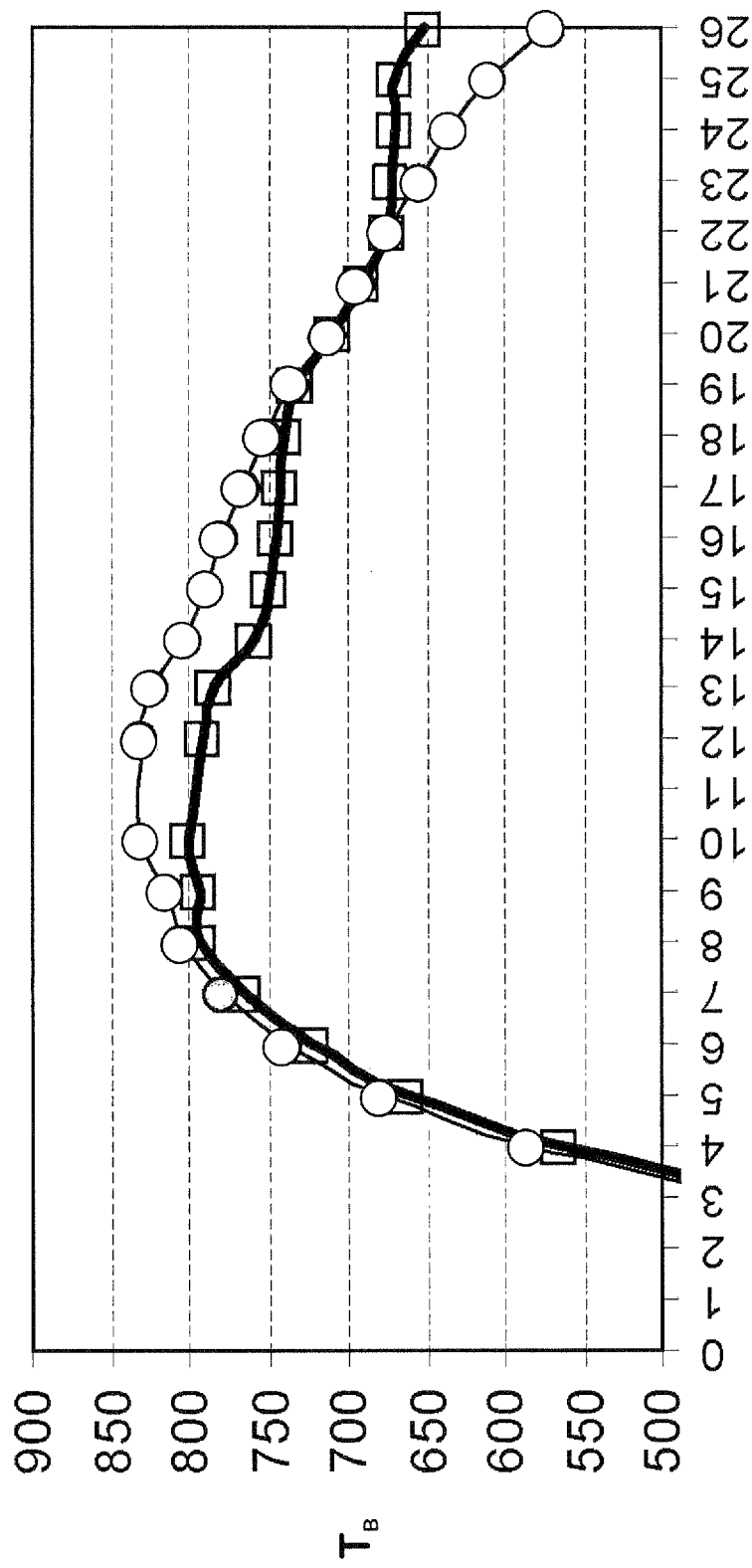


Fig. 1



Diag. 1



Diag. 2



Europäisches
Patentamt

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 06 12 5750

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	JP 52 096919 A (KAWASAKI STEEL CO) 15. August 1977 (1977-08-15) * Zusammenfassung; Abbildung 1; Tabellen 1-4 *	1,4-8	INV. C21D6/00 C21D8/02 C21D8/12 C21D9/52
D,A	EP 0 357 797 A1 (NIPPON KOKAN KK [JP]) 14. März 1990 (1990-03-14) * das ganze Dokument *	1-12	ADD. C21D9/46
A	EP 0 538 519 A1 (ARMCO INC [US]) 28. April 1993 (1993-04-28) * das ganze Dokument *	1-12	
A	JP 04 221019 A (SUMITOMO METAL IND) 11. August 1992 (1992-08-11) * das ganze Dokument *	1-12	
A	US 3 130 088 A (COOK LOWELL L) 21. April 1964 (1964-04-21) * das ganze Dokument *	1-12	
A	DE 15 83 349 A1 (CREUSOT LOIRE) 16. August 1973 (1973-08-16) * das ganze Dokument *	1-12	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC) C21D
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort Den Haag		Abschlußdatum der Recherche 25. April 2007	Prüfer Rischart, Marc
KATEGORIE DER GENANNTE DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche 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 06 12 5750

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.

25-04-2007

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
JP 52096919	A	15-08-1977	KEINE		

EP 0357797	A1	14-03-1990	JP	1225724 A	08-09-1989
			JP	1848692 C	07-06-1994
			JP	4004370 B	28-01-1992
			WO	8908152 A1	08-09-1989
			US	5108522 A	28-04-1992

EP 0538519	A1	28-04-1993	CN	1071960 A	12-05-1993
			DE	69128624 D1	12-02-1998
			DE	69128624 T2	23-04-1998

JP 4221019	A	11-08-1992	JP	2082254 C	23-08-1996
			JP	8003126 B	17-01-1996

US 3130088	A	21-04-1964	DE	1140891 B	13-12-1962
			FR	1244097 A	21-10-1960
			GB	882756 A	22-11-1961

DE 1583349	A1	16-08-1973	BE	701460 A	02-01-1968
			GB	1189696 A	29-04-1970
			SE	339373 B	04-10-1971
			SU	393834 A3	10-08-1973

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

- EP 0357797 A1 [0001] [0012] [0012]