



(11) **EP 1 420 072 B1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des  
Hinweises auf die Patenterteilung:  
**03.01.2007 Patentblatt 2007/01**

(51) Int Cl.:  
**C21D 8/12 (2006.01) C22C 38/02 (2006.01)**

(21) Anmeldenummer: **03024299.4**

(22) Anmeldetag: **24.10.2003**

(54) **Verfahren zum Herstellen eines für die Verarbeitung zu nicht kornorientiertem Elektroband bestimmten Warmbands und daraus hergestelltes nicht kornorientiertes Elektroblech**

Process of making hot rolled strip for manufacturing non oriented electrical steel strip and non-oriented electrical steel sheet thereby obtained

Procédé de fabrication de bandes laminées à chaud pour la production de bandes d'acier électrique à grains non-orientés et tôle d'acier électrique à grains non-orientés ainsi obtenue

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**DE ES IT NL**

(30) Priorität: **14.11.2002 DE 10253339**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:  
**19.05.2004 Patentblatt 2004/21**

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

(72) Erfinder:

- **Hammer, Brigitte, Dr.-Ing.**  
**46562 Voerde (DE)**
- **Friedrich, Karl, Ernst, Dipl.-Ing.**  
**47447 Moers (DE)**
- **Rasim, Wolfgang, Dr.-Ing.**  
**46509 Xanten (DE)**
- **Telger, Karl, Dipl.-Phys.**  
**48653 Coesfeld (DE)**
- **Fischer, Olaf, Dipl.-Ing. Dr.**  
**44879 Bochum (DE)**
- **Wuppermann, Carl-Dieter, Dr.-Ing.**  
**Dipl.-Wirtsch.-I**  
**47803 Krefeld (DE)**

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

(56) Entgegenhaltungen:  
**EP-A- 0 357 800 EP-A- 0 367 831**  
**EP-A- 0 655 509 DE-A- 19 807 122**

- **PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 2002, no. 12, 12. Dezember 2002 (2002-12-12) & JP 2002 220643 A (NIPPON STEEL CORP), 9. August 2002 (2002-08-09)**
- **PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 1997, no. 07, 31. Juli 1997 (1997-07-31) & JP 09 067656 A (NKK CORP), 11. März 1997 (1997-03-11)**
- **HENDRICKS C ET AL: "INBETRIEBNAHME UND ERSTE ERGEBNISSE DER GIESSWALZANLAGE DER THYSSEN KRUPP STAHL AG COMMISSIONING AND FIRST RESULTS OF THE CASTING ROLLING PLANT OF THYSSEN KRUPP STAHL AG" STAHL UND EISEN, VERLAG STAHLISEN GMBH. DUSSELDORF, DE, Bd. 120, Nr. 2, 15. Februar 2000 (2000-02-15), Seiten 61-68, XP000933035 ISSN: 0340-4803**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

**EP 1 420 072 B1**

**Beschreibung**

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Herstellen eines für die Verarbeitung zu nicht kornorientiertem Elektroband bestimmten Warmbands. Darüber hinaus betrifft die Erfindung ein nicht kornorientiertes Elektroband.

**[0002]** Unter dem Begriff "nichtkornorientiertes Elektroblech" werden hier unter die DIN EN 10106 ("schlussgeglühtes Elektroblech") und DIN EN 10165 ("nicht schlussgeglühtes Elektroblech") fallende Produkte verstanden. Darüber hinaus werden auch stärker anisotrope Sorten einbezogen, solange sie nicht als kornorientierte Elektrobleche gelten. Insoweit werden im Folgenden die Begriffe "Stahlband für elektromagnetische Zwecke" und "Stahlblech für elektromagnetische Zwecke" sowie "Elektroband" und "Elektroblech" synonym verwendet.

**[0003]** " $J_{2500}$ " bezeichnet im Folgenden die magnetische Polarisierung bei einer magnetischen Feldstärke von 2500 A/m und einer Frequenz von 50 Hz. Unter " $P_{1,5}$ " wird der Ummagnetisierungsverlust bei einer Polarisierung von 1,5 T und einer Frequenz von 50 Hz verstanden.

**[0004]** Von der verarbeitenden Industrie wird die Forderung gestellt, nicht kornorientierte Elektrobleche zur Verfügung zu stellen, bei denen die magnetischen Polarisierungswerte gegenüber herkömmlichen Elektroblechen nicht nur angehoben sind, sondern bei denen ebenso verbesserte Verlustwerte realisiert sind. Eine Absenkung der Werte der magnetischen Verluste ist stets vorteilhaft, wenn die Gesamtverluste von elektrischen, auf Basis von Elektroblechen der in Rede stehenden Art hergestellten elektrischen Maschinen abgesenkt und damit einhergehend der Wirkungsgrad dieser Maschinen verbessert werden soll.

**[0005]** Durch die Erhöhung der magnetischen Polarisierung wird der für die äquivalente Magnetisierung erforderliche Feldbedarf reduziert. In allen Anwendungsfällen, in denen der Aufbau des magnetischen Feldes auf Basis einer elektrischen Erregung erfolgt, lassen sich auf diese Weise neben den Eisenverlusten vor allem auch die Kupferverluste senken, so dass im Ergebnis ebenfalls ein verbesserter Wirkungsgrad erreicht wird.

**[0006]** Üblicherweise umfasst die Herstellung von nicht kornorientiertem Elektroblech (NO-Elektroblech) die Schritte:

- Erschmelzen des Stahls,
- Vergießen des Stahls zu Brammen oder Dünnbrammen,
- soweit erforderlich, Wiedererwärmen der Brammen oder Dünnbrammen,
- Einsetzen der Brammen oder Dünnbrammen in eine Warmwalzstraße,
- Vorwalzen der Brammen oder Dünnbrammen,
- Fertigwarmwalzen der Brammen oder Dünnbrammen zu einem Warmband, dessen Enddicke typischerweise zwischen 2 mm und 3 mm liegt,
- soweit erforderlich Glühen und Beizen des Warmbands, wobei diese Warmbandbehandlungen als kombiniertes Glühbeizen ausgeführt werden können,
- ein- oder mehrstufig mit zwischengeschalteter Glühung erfolgendes Kaltwalzen des Warmbands zu einem Kaltband, und
- Schlusssglühen solcher Kaltbänder, die mit einem > 65 % betragenden Gesamtumformgrad kaltgewalzt worden sind, oder
- Glühen und Nachwalzen solcher Kaltbänder, die mit einem höchstens 20 % betragenden Gesamtumformgrad kalt nachgewalzt worden sind.

**[0007]** Die große Zahl der bei solch konventioneller Vorgehensweise durchzuführenden Arbeitsschritte führt zu hohem apparativen und kostenmäßigen Aufwand. Daher wird seit jüngerer Zeit verstärkt daran gearbeitet, das Vergießen des Stahls und die anschließenden Walzprozesse bei der Warmbandherstellung so aufeinander abzustimmen, dass eine kontinuierliche Abfolge des Gieß- und des Walzvorgangs unter Einsparung des Wiedererwärmens und des Vorwalzens bei gleichzeitig optimalem Arbeitsergebnis ermöglicht ist.

**[0008]** Zu diesem Zweck sind so genannte "CSP-Anlagen" errichtet worden. In diesen auch "Gieß-Walz--Anlagen" genannten Vorrichtungen wird der Stahl zu einem kontinuierlich abgezogenen Strang vergossen, von dem "in-line" Dünnbrammen abgeteilt werden, die dann ebenso "in-line" zu Warmband warmgewalzt werden. Die beim Betrieb von Gieß-Walz-Anlagen gewonnenen Erfahrungen und die Vorteile des "in-line" erfolgenden Gieß-Walzens sind beispiels-

weise in W. Bald u. a. "Innovative Technologie zur Bänderzeugung", Stahl und Eisen 119 (1999) Nr. 3, Seiten 77 - 85, oder C. Hendricks u. a. "Inbetriebnahme und erste Ergebnisse der Gießwalzanlage der Thyssen Krupp Stahl AG", Stahl und Eisen 120 (2000) Nr. 2, Seiten 61 - 68, dokumentiert worden.

**[0009]** Im Gegensatz dazu wird bei der konventionellen Produktion von Elektroblech über Brammenguss, wie in der EP 0 367 831 A1 beschrieben, ein geeignet zusammengesetzter Stahl zu Brammen vergossen, anschließend vorgewalzt und dann erst fertig warmgewalzt. Beim aus der EP 0 367 831 A1 beschriebenen Verfahren wird während des Vorwalzens eine Mindestverformung von 10 %, insbesondere 20 %, und zwischen dem Vorwalzen und dem Fertigwalzen eine Pause von mindestens 30 Sekunden bei einer Oberflächentemperatur von mehr als 950 °C eingehalten, um im fertig warmgewalzten Warmband AlN-Ausscheidungen zu bilden, deren Größe oberhalb von 500 nm liegen. Bei Einhaltung dieser Bedingungen lassen sich gemäß der EP 0 367 831 A1 warmgewalzte Warmbänder herstellen, die sich zur Erzeugung von kaltgewalzten Elektroblechen mit besonders guten elektromagnetischen Eigenschaften eignen. Allerdings ist die aus der EP 0 367 831 A1 bekannte Vorgehensweise nicht dazu geeignet, auf modernen Gießwalzanlagen verwirklicht zu werden.

**[0010]** Der Erfindung lag die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren anzugeben, mit dem sich kostengünstig ein Vorprodukt für ein nicht kornorientiertes Elektroblech oder -band erzeugen lässt, das gegenüber dem Stand der Technik weiter verbesserte magnetische Eigenschaften besitzt. Darüber hinaus sollte ein nicht kornorientiertes Elektroblech entwickelt werden, das gegenüber den aus dem Stand der Technik bekannten Elektroblechen regelmäßig überlegene magnetische Eigenschaften besitzt.

**[0011]** In Bezug auf das Herstellungsverfahren wird diese Aufgabe gemäß der Erfindung dadurch gelöst, dass ein für die Verarbeitung zu nicht kornorientiertem Elektroband bestimmtes Warmband erzeugt wird, wobei dazu folgende Schritte durchlaufen werden:

- Erschmelzen einer Stahlschmelze, die (in Massen-%) C:  $\leq 0,010$  %, Si: 1,0 - 1,5 %, Al:  $< 0,4$  %, mit Si + 2Al  $\leq 1,85$  %, Mn:  $\leq 0,5$  %, Cu:  $< 0,05$  %, Ti:  $< 0,01$  %, P:  $< 0,1$  %, Sn:  $< 0,15$  %, Sb:  $< 0,15$  %, wahlweise S, O und N, wobei die Summe der Gehalte dieser Elemente  $\leq 0,02$  % ist, und als Rest Eisen und unvermeidbare Verunreinigungen enthält,
- Vergießen der Schmelze zu einer Dünnbramme,
- unmittelbar anschließend erfolgreiches Ausgleichswärmebehandeln der Dünnbramme bei einer 1040 °C bis 1160 °C betragenden Ofentemperatur  $T_E$ , wobei sich die jeweils eingehaltene Behandlungsdauer  $t_H$  in Minuten wie folgt berechnet:

$$t_H[\text{min}] = -1/0,01873 * \ln((T_E - 870,934 \text{ °C}) + \Delta T)/528,83 \text{ °C}),$$

mit:  $-40 \text{ °C} \leq \Delta T \leq 40 \text{ °C}$ ,

- unmittelbar auf die Ausgleichswärmebehandlung folgendes Warmwalzen und
- Haspeln des Warmbandes.

**[0012]** Genauso wird die oben genannte Aufgabe in Bezug auf das Herstellungsverfahren auch durch ein Verfahren zum Herstellen eines für die Verarbeitung zu nicht kornorientiertem Elektroband bestimmten Warmband gelöst, bei dem folgende Schritte durchlaufen werden:

- Erschmelzen einer Stahlschmelze, die (in Massen-%) C:  $\leq 0,010$  %, Si: 1,0 - 1,5 %, Al:  $< 0,4$  %, mit Si + 2Al  $\leq 1,85$  %, Mn:  $\leq 0,5$  %, Cu:  $< 0,05$  %, Ti:  $< 0,01$  %, P:  $< 0,1$  %, Sn:  $< 0,15$  %, Sb:  $< 0,15$  %, wahlweise S, O und N, wobei die Summe der Gehalte dieser Elemente  $\leq 0,02$  % ist, und als Rest Eisen und unvermeidbare Verunreinigungen enthält,
- Vergießen der Schmelze zu einer Dünnbramme,
- unmittelbar anschließend erfolgreiches Ausgleichswärmebehandeln der Dünnbramme bei einer 25 bis 70 Minuten betragenden Behandlungsdauer  $t_H$ , wobei sich die jeweils eingehaltene Ofentemperatur  $T_E$  in Grad Celsius der Ausgleichswärmebehandlung wie folgt berechnet:

$$T_E [^{\circ}\text{C}] = 528,82 \cdot \exp(-0,01873 \cdot t_H) + 870,934 - \Delta T,$$

5 mit:  $-40^{\circ}\text{C} \leq \Delta T \leq 40^{\circ}\text{C}$

- unmittelbar auf die Ausgleichswärmebehandlung folgendes Warmwalzen und
- Haspeln des Warmbandes.

10

**[0013]** Beide Ausgestaltungen des erfindungsgemäßen Verfahrens entsprechen einander. Während jedoch im ersten Fall die Behandlungsdauer in Abhängigkeit von der Ofentemperatur ermittelt wird, ist im zweiten Fall die betreffende Berechnungsformel so umgestellt worden, dass die erforderliche Ofentemperatur  $T_E$  basierend auf einer vorgegebenen Behandlungsdauer ermittelt werden kann. Auf diese Weise ist einerseits der praktischen Vorgehensweise Rechnung  
 15 getragen worden, bei der üblicherweise eine Ofentemperatur bekannt ist, nach der sich die Behandlungsdauer richtet. Andererseits gibt der zweite Ansatz die Möglichkeit, den Gesamtablauf des erfindungsgemäßen Verfahrens zeitlich zu optimieren, indem eine in den Prozessfluss passende Behandlungsdauer vorgegeben wird, nach der sich die Ofentemperatur zu richten hat.

**[0014]** Ein in erfindungsgemäßer Weise erzeugtes Warmband ist aus einem Stahl mit (in Massen-%) C:  $\leq 0,010$  %, Si: 1,0 - 1,5 %, Al:  $< 0,4$  %, mit  $\text{Si} + 2\text{Al} \leq 1,85$  %, Mn:  $\leq 0,5$  %, Cu:  $< 0,05$  %, Ti:  $< 0,01$  %, P:  $< 0,1$  %, Sn:  $< 0,15$  %, Sb:  $< 0,15$  %, wahlweise S, O und N, wobei die Summe der Gehalte dieser Elemente  $\leq 0,02$  % ist, und als Rest Eisen und unvermeidbaren Verunreinigungen hergestellt. Dabei ist in dem Warmband eine weitgehende Ausscheidung derart erfolgt, dass die vorhandenen Ausscheidungen im Mittel eine Partikelgröße von mindestens 300 nm besitzen. Die Größe der Partikel sollte dabei vorzugsweise so verteilt sein, dass unter den vorhandenen Ausscheidungen der Anteil der  
 25 Ausscheidungen mit Partikelgrößen von 50 bis 190 nm auf geringe Spuren reduziert ist. Dazu sollte die Partikelgröße der Ausscheidungen zum überwiegenden Teil mehr als 300 nm betragen.

**[0015]** Die Erfindung geht dabei von der Erkenntnis aus, dass sich deutlich verbesserte magnetische Eigenschaften bei Elektroblechen mit Silizium- und Aluminium-Gehalten der erfindungsgemäß ausgewählten Größenordnung einstellen lassen, wenn die Bildung von Ausscheidungen so gesteuert wird, dass die Anzahl feiner Ausscheidungen auf ein Minimum reduziert wird. Überraschend hat sich gezeigt, dass bei einer auf die Bildung von möglichst wenigen und gleichzeitig  
 30 möglichst großen Ausscheidungen mit Partikelgrößen von mehr als 300 nm gerichteten Verfahrensführung der Gefüge- und Ausscheidungszustand des erfindungsgemäßen Warmbandes so gestaltet ist, dass sich diese günstige Ausscheidungscharakteristik des Warmbandes über die zur Herstellung des fertigen Elektroblechs üblicherweise erfolgenden weiteren Schritte bis zur Fertigstellung des Produkts vererbt mit der Folge, dass ein Endprodukt mit hervorragenden magnetischen Eigenschaften erhalten wird.

**[0016]** Das Gefüge des fertigen nicht kornorientierten Elektrobandes ist dabei infolge des erfindungsgemäß eingestellten Ausscheidungszustandes des Warmbandes über die gesamte Banddicke besonders homogen, da keine kleineren Ausscheidungen mehr vorhanden sind, die die Entstehung eines solchen homogenen Gefüges bei der Weiterverarbeitung des erfindungsgemäßen Warmbandes stören könnten. Dementsprechend liegen die guten Werte der Polarisierung und der magnetischen Verluste von erfindungsgemäßigem Elektroblech auch besonders gleichmäßig verteilt vor.

**[0017]** Hinsichtlich des nicht kornorientierten Elektroblechs wird die oben angegebene Aufgabe entsprechend durch ein kaltgewalztes und schlussgeglühtes nicht kornorientiertes Elektroband oder -blech gelöst, welches  
 - aus einem Stahl, der (in Massen-%)

45	C:	$\leq 0,010$ %,
	Si:	1,0 - 1,5 %,
	Al:	$< 0,4$ %, mit $\text{Si} + 2\text{Al} \leq 1,85$ %,
	Mn:	$\leq 0,5$ %,
50	Cu:	$< 0,05$ %,
	Ti:	$< 0,01$ %,
	P:	$< 0,1$ %,
	Sn:	$< 0,15$ %,
	Sb:	$< 0,15$ %,

55

wahlweise S, O und N, wobei die Summe der Gehalte dieser Elemente  $\leq 0,02$  % ist, und als Rest Eisen und unvermeidbare Verunreinigungen enthält,

- mit einer Enddicke  $\leq 0,75$  mm,
- und mit Polarisationswerten  $J_{2500}$ , die für ein 0,50 mm dickes Elektrobänd bei 50 Hz und Ummagnetisierungsverlusten  $P_{1,5}$  von 4,4 W/kg bis 5 W/kg mindestens 1,65 T und bei 50 Hz und Ummagnetisierungsverlusten  $P_{1,5}$  von weniger 4,4 W/kg mindestens 1,67 T betragen.

**[0018]** Diese Eigenschaften eines erfindungsgemäßen Kaltbands kommen durch den von einem erfindungsgemäß erzeugten Warmband, aus dem das Kaltband hergestellt ist, vererbten Ausscheidungszustand und die sich dadurch einstellende Korngrößenverteilung des Gefüges zustande. Dieser führt zu mittleren Korndurchmessern  $D_K$  des fertigen Elektrobandes von 50  $\mu\text{m}$  bis 80  $\mu\text{m}$  bei einem Medianwert von 35  $\mu\text{m}$  bis 65  $\mu\text{m}$ . Gleichzeitig erfüllen 90 % der Gefügekörner bei Betrachtung ihrer prozentualen Summenhäufigkeitsverteilung (SHV) die Bedingung:

$$1,3 \cdot D_K - 30 \mu\text{m} < \text{SHV} < 1,3 \cdot D_K + 15 \mu\text{m}.$$

**[0019]** Erfindungsgemäßes Elektrolech mit diesen Gefügeeigenschaften weist gegenüber herkömmlich erzeugtem nicht kornorientiertem Elektrolech gleicher Zusammensetzung deutlich verbesserte elektromagnetische Eigenschaften auf.

**[0020]** Die Dicke der im Zuge der Durchführung der erfindungsgemäßen Verfahrensvariante erzeugten Dünnbramme beträgt typischerweise 35 bis 100 mm.

**[0021]** Ein bei Befolgung der durch die Erfindung vorgegebenen Arbeitsschritte erzeugtes Warmband zeichnet sich erfindungsgemäß dadurch aus, dass in dem fertigen Warmband eine weitgehende Ausscheidung derart erfolgt ist, dass die im fertigen Warmband vorhandenen Ausscheidungen im Mittel eine Partikelgröße von mindestens 300 nm besitzen. Die Partikelgrößen sollten dabei so verteilt sein, dass unter den vorhandenen Ausscheidungen der Anteil der Ausscheidungen mit Partikelgrößen von 50 bis 190 nm auf geringe Spuren reduziert ist. Dazu sollte die Partikelgröße der Ausscheidungen zum überwiegenden Teil mehr als 300 nm betragen.

**[0022]** Die Erfindung geht von der Erkenntnis aus, dass sich deutlich verbesserte magnetische Eigenschaften bei Elektrolechen mit Silizium- und Aluminium-Gehalten der erfindungsgemäß ausgewählten Größenordnung einstellen lassen, wenn diese Elektroleche auf einer Gießwalzanlage erzeugt und im Zuge der Verarbeitung eine geeignete Ausgleichswärmebehandlung durchgeführt wird. Diese Wärmebehandlung hat dabei innerhalb von engen Grenzen einer präzise vorgegebenen Temperatur bzw. Zeitführung zu folgen. Auf diese Weise wird die Bildung von Ausscheidungen in dem erfindungsgemäß erzeugten Warmband so gesteuert, dass die Anzahl feiner Ausscheidungen auf ein Minimum reduziert wird.

**[0023]** Überraschend hat sich gezeigt, dass bei erfindungsgemäßer, auf die Bildung von möglichst wenigen und gleichzeitig möglichst großen Ausscheidungen mit Partikelgrößen von mehr als 300 nm gerichteter Verfahrensführung der Gefüge- und Ausscheidungszustand des erfindungsgemäßen Warmbandes so gestaltet ist, dass sich diese günstige Ausscheidungscharakteristik des Warmbandes über die zur Herstellung des fertigen Elektrolechs üblicherweise erfolgenden weiteren Schritte bis zur Fertigstellung des Produkts vererbt mit der Folge, dass ein Endprodukt mit hervorragenden magnetischen Eigenschaften erhalten wird.

**[0024]** Das Gefüge des fertigen nicht kornorientierten Elektrobands ist dabei infolge des erfindungsgemäß eingestellten Ausscheidungszustandes des Warmbandes über die gesamte Banddicke besonders homogen, da keine kleineren Ausscheidungen mehr vorhanden sind, die die Entstehung eines solchen homogenen Gefüges bei der Weiterverarbeitung des erfindungsgemäßen Warmbandes stören könnten. Dementsprechend liegen die guten Werte der Polarisation und der magnetischen Verluste von erfindungsgemäßigem Elektrolech auch besonders gleichmäßig verteilt vor.

**[0025]** Die Erfindung nutzt auf diese Weise die sich durch konsequenten Einsatz einer Gießwalzanlage bietenden Möglichkeiten einer hinsichtlich des Arbeitsaufwands und der Kosten optimierten Verfahrensweise, indem beginnend mit dem Guss der Dünnbramme die einzelnen Schritte der erfindungsgemäßen Warmbandherstellung "in-line" unmittelbar aufeinander folgend durchgeführt werden. Wesentlich ist dabei die Ausgleichswärmebehandlung der Dünnbrammen, die bei vorgegebener Dauer in einem bestimmten Temperaturfenster und bei vorgegebener Temperatur in einem definierten Zeitfenster durchzuführen ist. Der Korridor, innerhalb dessen die erfindungsgemäß genutzten Effekte eintreten, ist auf eine geringe Temperatur- bzw. Zeitspanne begrenzt, die sich durch die in den erfindungsgemäß vorgegebenen Formeln zur Bestimmung der Wärmebehandlungstemperatur bzw. -dauer enthaltenen Abweichungen  $\Delta T$  der Ofenzieltemperatur ausdrücken.

**[0026]** Erst durch Einhaltung der durch die Erfindung bestimmten Verfahrensparameter während der Wärmebehandlung der Dünnbramme wird die erfindungsgemäß angestrebte Entstehung möglichst weniger und, sofern vorhanden grober Ausscheidungen bei gleichzeitig weitgehender Unterdrückung der wegen ihres negativen Einflusses auf die magnetischen Eigenschaften besonders unerwünschten Ausscheidungen mit Partikelgrößen im Bereich von 50 nm bis 190 nm sicher erreicht.

**[0027]** Die Anzahl, Größe und Verteilung der in erfindungsgemäßigem Warmband vorhandenen Ausscheidungen lässt

sich in bekannter Weise elektronenmikroskopisch oder mittels anderer geeigneter Erkennungs- und Auswertverfahren feststellen. So lässt sich der Ausscheidungszustand beispielsweise mit einem Transmissionselektronenmikroskop (TEM) über Kohlenstoffausziehabdrücke bei einer unteren Nachweisgrenze von 5 nm sowie bei Ausscheidungen ab einem Durchmesser von 30 nm mit einem Personal Scanning Electron Microscope (PSEM) per Bildanalyse über den Massenkontrast ermitteln. Für die Bestimmung der chemischen Zusammensetzung der Ausscheidungen steht beispielsweise die EDX-Analyse zur Verfügung.

**[0028]** Wird das erfindungsgemäß erzeugte Warmband zu nicht kornorientiertem Elektroblech fertig verarbeitet, so kann das Warmband dazu zunächst einer Warmbandglühung unterzogen werden. Diese zusätzliche Glühung des Warmbandes bewirkt eine Verbesserung der Textur. Sie sollte allerdings stets so durchgeführt werden, dass es zu keiner im Hinblick auf die angestrebte Verbesserung der magnetischen Eigenschaften unerwünschten Veränderung der Ausscheidungen kommt.

**[0029]** Gemäß einer besonders geeigneten Ausgestaltung der Erfindung wird das Warmband nach dem Walzen in der Fertigstaffel bei einer Haspeltemperatur von weniger als 600 °C, idealerweise insbesondere weniger als 530 °C, gehaspelt. Das Haspeln bei diesen Temperaturen führt bei den betreffenden Legierungen zu einem verfestigten Warmbandzustand, so dass im Ergebnis verbesserte magnetische Eigenschaften erzielt werden.

**[0030]** Alternativ kann es günstig sein, wenn die Haspeltemperatur mindestens 720 °C, idealerweise mindestens 750 °C beträgt. Bei Einhaltung derart hoher Haspeltemperatur kann eine Warmbandglühung ganz oder zumindest zum wesentlichen Teil eingespart werden. Das Warmband wird schon im Coil entfestigt, wobei die seine Eigenschaften bestimmenden Merkmale, wie Korngröße, Textur und Ausscheidungen, positiv beeinflusst werden. So lassen sich ge-  
glühte Warmbänder mit besonders guten magnetischen und technologischen Eigenschaften herstellen.

**[0031]** Vor oder nach der gegebenenfalls erfolgenden Warmbandglühung wird das Warmband üblicherweise gebeizt. Anschließend an die Beizung oder die Warmbandglühung wird das Warmband dann kaltgewalzt, wobei dieses Kaltwalzen in bekannter Weise zwei- oder mehrstufig mit zwischengeschalteter Glühung durchgeführt werden kann. An das Kaltwalzen schließt sich in der Regel eine Schlusswärmebehandlung an, die so durchgeführt wird, dass es zu keiner Austenitbildung kommt.

**[0032]** Zum Nachweis der sich bei erfindungsgemäßer Vorgehensweise einstellenden Verbesserungen wurden zwei Stahlschmelzen mit der in Tabelle I angegebenen Zusammensetzung erschmolzen (Gehaltsangaben in Massen-%):

Tabelle I

Rest jeweils Eisen und unvermeidbare Verunreinigungen		
Element	Stahl I	Stahl II
C	0,0019	0,0025
Si	1,14	1,42
Al	0,132	0,117
Mn	0,22	0,225
Cu	0,010	0,010
Ti	0,0034	0,0031
P	0,052	0,052
Sn	< 0,002	-
Sb	-	-
S	0,032	0,010
O	0,0006	-
N	0,0027	0,0034

**[0033]** Aus dem Stahl I sind dann in einer Gießwalzanlage in bekannter Weise drei Dünnbrammenproben I-P1, I-P2 und I-P3 erzeugt worden, während der Stahl II zu Dünnbrammenproben II-P1 und II-P2 vergossen worden ist. Anschließend sind die Dünnbrammenproben I-P1, I-P2, I-P3, II-P1 und II-P2 "inline" mit einer Temperatur  $T_{VO}$  in einen Ausgleichsofen eingelaufen, in dem sie für eine Haltezeit  $t_H$  auf eine Ofentemperatur  $T_E$  erwärmt worden sind.

**[0034]** Nach Beendigung der derart durchgeführten Ausgleichswärmebehandlung sind die Dünnbrammenproben I-P1, I-P2, I-P3, II-P1 und II-P2 wiederum unmittelbar anschließend in eine Warmwalzstaffel eingelaufen, in der sie ausgehend von einer Warmwalzanfangstemperatur  $W_{AT}$  und bei einer Warmwalzendtemperatur  $W_{ET}$  auf Warmban-

denndicke fertig warmgewalzt worden sind.

**[0035]** Die aus den Dünnbrammenproben I-P1, I-P2, I-P3, II-P1 und II-P2 fertig warmgewalzten Warmbänder sind dann im walzheißen Zustand geteilt worden. Die so erhaltene erste Hälfte der Warmbänder ist bei einer Temperatur  $T_H$  ausgelagert worden, um ein Haspeln bei höheren Temperaturen  $T_H$  zu simulieren.

**[0036]** Die zweite Hälfte der Warmbänder wurde dagegen direkt an Luft auf Raumtemperatur RT abgekühlt, um eine Haspelvariante zu simulieren, bei der mit Temperaturen unter 500 °C gehaspelt wird. Nach der Auslagerung sind die der Auslagerung unterzogenen Warmbandhälften gebeizt und in konventioneller Weise zu einem Elektrobänd EI-1, EI-2 und EI-3 sowie EII-1 und EII-2 mit einer Dicke von 0,50 mm kaltgewalzt worden.

**[0037]** Die derart kaltgewalzten Elektrobänder EI-1, EI-2 und EI-3 sowie EII-1 und EII-2 sind schließlich in einem Durchlaufofen in ebenso bekannter Weise einer Schussglühung unterzogen worden.

**[0038]** In Tabelle II sind die bei der Verarbeitung der Dünnbrammenproben I-P1, I-P2, I-P3, II-P1 und II-P2 zu den Elektrobändern EI-1, EI-2 und EI-3 sowie EII-1 und EII-2 jeweils eingestellten Betriebsparameter angegeben.

Tabelle II

Probe	$T_{VO}$ [°C]	$T_E$ [°C]	$t_H$ [min]	$W_{AT}$ [°C]	$W_{ET}$ [°C]	$T_H$ [°C]
I-P1	1000	1050	60	1045	830	RT
I-P2	900	1050	60	1040	830	RT
I-P3	800	1050	60	1040	825	RT
II-P1	980	1150	45	1040	830	750
II-P2	1000	1050	40	1040	810	750
RT = Raumtemperatur $T_{VO}$ = Temperatur vor dem Ausgleichsofen $T_E$ = Ofentemperatur im Ausgleichsofen $t_H$ = Haltezeit $W_{AT}$ = Warmwalzanfangstemperatur $W_{ET}$ = Warmwalzendtemperatur $T_H$ = Auslagerungstemperatur						

**[0039]** Die elektromagnetischen Eigenschaften der fertigen Elektrobänder EI-1, EI-2 und EI-3 sowie EII-1 und EII-2 in Längsrichtung sind in Tabelle III verzeichnet. Dabei sind mit  $P_{1,0}$  der Ummagnetisierungsverlust bei einer Polarisation von 1,0 T, mit  $P_{1,5}$  der Ummagnetisierungsverlust bei einer Polarisation von 1,5 T und mit  $P_{1,7}$  der Ummagnetisierungsverlust bei einer Polarisation von 1,7 T bei einer Frequenz von jeweils 50 Hz bezeichnet. Des weiteren sind in Tabelle III mit  $J_{800}$  die magnetische Polarisation bei einer magnetischen Feldstärke von 800 A/m, mit  $J_{1000}$  die magnetische Polarisation bei einer magnetischen Feldstärke von 1000 A/m, mit  $J_{2500}$  die magnetische Polarisation bei einer magnetischen Feldstärke von 2500 A/m, mit  $J_{5000}$  die magnetische Polarisation bei einer magnetischen Feldstärke von 5000 A/m und mit  $J_{10000}$  die magnetische Polarisation bei einer magnetischen Feldstärke von 10000 A/m bezeichnet.

Tabelle III

Probe	Elektroblech	$P_{1,0}$ [W/kg]	$P_{1,5}$ [W/kg]	$P_{1,7}$ [W/kg]	$J_{800}$ [T]	$J_{1000}$ [T]	$J_{2500}$ [T]	$J_{5000}$ [T]	$J_{10000}$ [T]
I-P1	EI-1	2,07	4,32	5,69	1,608	1,619	1,698	1,773	1,871
I-P2	EI-2	2,09	4,36	5,78	1,617	1,627	1,702	1,780	1,878
I-P3	EI-3	1,95	4,12	5,50	1,621	1,629	1,707	1,783	1,883
II-P1	EII-1	2,21	4,53	5,92	1,590	1,608	1,691	1,768	1,864
II-P2	EII-2	1,97	4,13	5,44	1,589	1,604	1,684	1,759	1,855

**[0040]** Im beigefügten Diagramm 1 sind aufgetragen über den Ummagnetisierungsverlust  $P_{1,5}$  die für die Elektrobänder EI-1, EI-2 und EI-3 sowie EII-1 und EII-2 in Längsrichtung ermittelten Werte der magnetischen Polarisation  $J_{2500}$  dem Mischwert AM und dem in Längsrichtung ermittelten Wert  $A_L$  der magnetischen Polarisation  $J_{2500}$  gegenübergestellt, die für konventionell ohne Warmbandglühung erzeugte nicht kornorientierte Bleche vergleichbarer Zusammensetzung

ermittelt werden konnten.

**[0041]** Im beigefügten Diagramm 2 ist für die Elektrobänder EI-1 und EI-3 die Korngrößenverteilung dargestellt. Durch die senkrecht verlaufenden Geraden G1, G2 ist der gemäß der Erfindung als optimal festgelegte Bereich der Medianwerte eingegrenzt.

**[0042]** Im Diagramm 3 ist für die Elektrobänder EI-1 und EI-3 die sich dementsprechend ergebende Summenhäufigkeitsverteilung SHV dargestellt. Dabei ist der optimale Bereich der Summenhäufigkeitsverteilung ebenfalls durch Geraden G umgrenzt.

**[0043]** Im Diagramm 4 ist der Bereich dargestellt, innerhalb dessen die erfindungsgemäße Ausgleichswärmebehandlung durchgeführt wird. Dabei ist durch die obere waagerecht verlaufende Gerade  $G_o$  die maximal zulässige Temperatur von 1160 °C und durch die untere waagerecht verlaufende Gerade  $G_u$  die minimal erforderliche Temperatur von 1040 °C festgelegt. Die beiden gestrichelt dargestellten, von oben links nach unten rechts verlaufenden Linien L grenzen die Zeitspanne ein, innerhalb der sich bei gegebener Temperatur die erfindungsgemäße Wärmebehandlung durchführen lässt. Die jeweils optimale Behandlungsdauer ist durch die durchgezogene, mittig zwischen den Linien L verlaufende Linie  $L_{opt}$  verdeutlicht.

**[0044]** Schließlich ist im hinsichtlich der Geraden  $G_o$ ,  $G_u$  und der Linien L,  $L_{opt}$  mit dem Diagramm 4 übereinstimmenden Diagramm 5 für eine gegebene Zeitdauer  $t_1$  die sich bei Beachtung der erfindungsgemäßen Vorschriften ergebende optimale Temperatur  $T_{opt}$  sowie die innerhalb der Toleranz zulässigen Grenztemperaturen  $T_{min}$  und  $T_{max}$  angegeben. Ebenso sind in Diagramm 5 für eine gegebene Temperatur  $T_1$  die sich bei Beachtung der erfindungsgemäßen Vorschriften ergebende optimale Dauer  $t_{opt}$  und die innerhalb der Toleranz minimal zulässige Dauer  $t_{min}$  sowie die maximal zulässige Dauer  $t_{max}$  eingetragen.

**[0045]** In der Praxis wird im Allgemeinen die Temperatur des Ofens vorgegeben und ein bestimmtes Intervall der erforderlichen Dauer der Ausgleichswärmebehandlung unter Berücksichtigung der jeweiligen Taktzeit der eingesetzten Gießwalzanlage bestimmt werden.

## Patentansprüche

1. Verfahren zum Herstellen eines für die Verarbeitung zu nicht kornorientiertem Elektrobänder bestimmtem Warmbands, bei dem folgende Schritte durchlaufen werden:

- Erschmelzen einer Stahlschmelze, die (in Massen-%)

C:	≤	0,010 %,
Si:	1,0 -	1,5 %,
Al:	<	0,4 %, mit $Si + 2Al \leq 1,85 \%$ ,
Mn:	≤	0,5 %,
Cu:	<	0,05 %,
Ti:	<	0,01 %,
P:	<	0,1 %,
Sn:	<	0,15 %,
Sb:	<	0,15 %,

wahlweise S, O und N, wobei die Summe der Gehalte dieser Elemente  $\leq 0,02 \%$  ist, und als Rest Eisen und unvermeidbare Verunreinigungen enthält,

- Vergießen der Schmelze zu einer Dünnbramme,

- unmittelbar anschließend erfolgendes Ausgleichswärmebehandeln der Dünnbramme bei einer 1040 °C bis 1160 °C betragenden Ofentemperatur  $T_E$ , wobei sich die jeweils eingehaltene Behandlungsdauer  $t_H$  in Minuten wie folgt berechnet:

$$t_H [\text{min}] = -1/0,01873 * \ln(((T_E - 870,934 \text{ °C}) + \Delta T)/528,83 \text{ °C}),$$

mit:  $-40 \text{ °C} \leq \Delta T \leq 40 \text{ °C}$ ,

- unmittelbar auf die Ausgleichswärmebehandlung folgendes Warmwalzen und  
- Haspeln des Warmbandes.



## EP 1 420 072 B1

2. Verfahren zum Herstellen eines für die Verarbeitung zu nicht kornorientiertem Elektroband bestimmten Warmbands, bei dem folgende Schritte durchlaufen werden:

- Erschmelzen einer Stahlschmelze, die (in Massen-%)

C:		≤ 0,010 %
Si:	1,0	- 1,5 %,
Al:	<	0,4 %, mit $Si + 2Al \leq 1,85 \%$ ,
Mn:	≤	0,5 %,
Cu:	<	0,05 %,
Ti:	<	0,01 %,
P:	<	0,1 %,
Sn:	<	0,15 %,
Sb:	<	0,15 %,

wahlweise S, O und N, wobei die Summe der Gehalte dieser Elemente  $\leq 0,02 \%$  ist, und als Rest Eisen und unvermeidbare Verunreinigungen enthält,

- Vergießen der Schmelze zu einer Dünnbramme,

- unmittelbar anschließend erfolgreiches Ausgleichswärmebehandeln der Dünnbramme bei einer 25 bis 70 Minuten betragenden Behandlungsdauer  $t_H$ , wobei sich die jeweils eingehaltene Ofentemperatur  $T_E$  der Ausgleichswärmebehandlung in Grad Celsius wie folgt berechnet:

$$T_E [^\circ\text{C}] = 528,82 * \exp(-0,01873 * t_H) + 870,934 - \Delta T,$$

mit:  $-40^\circ\text{C} \leq \Delta T \leq 40^\circ\text{C}$ ,

- unmittelbar auf die Ausgleichswärmebehandlung folgendes Warmwalzen und

- Haspeln des Warmbandes.

3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Dicke der Dünnbramme 35 bis 100 mm beträgt.

4. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Haspeltemperatur weniger als  $600^\circ\text{C}$  beträgt.

5. Verfahren nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Haspeltemperatur weniger als  $530^\circ\text{C}$  beträgt.

6. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Haspeltemperatur mehr als  $720^\circ\text{C}$  beträgt.

7. Verfahren nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Haspeltemperatur mehr als  $750^\circ\text{C}$  beträgt.

8. Kaltgewalztes und schlussgeglühtes nicht kornorientiertes Elektroband oder -blech,

- aus einem Stahl, der (in Massen-%)

C :		≤ 0,010 %,
Si:	1,0	- 1,5 %,
Al:	<	0,4 %, mit $Si + 2Al \leq 1,85 \%$ ,
Mn:	≤	0,5 %,
Cu:	<	0,05 %,
Ti:	<	0,01 %,
P:	<	0,1 %,
Sn:	<	0,15 %,

(fortgesetzt)

Sb: < 0,15 %,

- 5 wahlweise S, O und N, wobei die Summe der Gehalte dieser Elemente  $\leq 0,02$  % ist, und als Rest Eisen und unvermeidbare Verunreinigungen enthält,  
 - mit einer Enddicke  $\leq 0,75$  mm,  
 - und mit Polarisationswerten  $J_{2500}$ , die für ein 0,50 mm dickes Elektrobild bei 50 Hz und Ummagnetisierungsverlusten  $P_{1,5}$  von 4,4 W/kg bis 5 W/kg mindestens 1,65 T und bei 50 Hz und Ummagnetisierungsverlusten  
 10  $P_{1,5}$  von weniger 4,4 W/kg mindestens 1,67 T betragen,  
 - indem der mittlere Korndurchmesser  $D_K$  des fertigen Elektrobildes 50  $\mu\text{m}$  bis 80  $\mu\text{m}$  mit einem Medianwert von 35 bis 65  $\mu\text{m}$  beträgt und  
 - in der prozentualen Summenhäufigkeitsverteilung (SHV) 90 % der Körner folgende Bedingung erfüllen:

15

$$1,3 * D_K - 30 \mu\text{m} < \text{SHV} < 1,3 * D_K + 15 \mu\text{m}.$$

## 20 Claims

1. Method of producing hot rolled strip intended for processing into non-grain oriented electrical steel strip, in which the following steps are progressed through:

- 25 - melting of a steel melt which contains (in % by mass)

	C:	$\leq 0.01\%$
	Si:	1 - 1.5%
	Al:	$< 0.4\%$ , where $\text{Si} + 2\text{Al} \leq 1.85\%$
30	Mn:	$\leq 0.5\%$
	Cu:	$< 0.05\%$
	Ti:	$< 0.01\%$
	P:	$< 0.1\%$
35	Sn:	$< 0,15\%$
	Sb:	$< 0,15\%$

and, if desired, S, O and N, the sum of the contents of these elements being  $\leq 0.02\%$ , the remainder being iron and unavoidable contaminants,

- 40 - casting of the melt into a thin slab,  
 - equalising heat treatment of the thin slab, in immediate succession, at a furnace temperature  $T_E$  of  $1,040^\circ\text{C}$  to  $1,160^\circ\text{C}$ , the treatment period  $t_H$  to be observed in the given case being calculated as follows:

45

$$t_H[\text{min}] = -1/0.01873 * \ln((T_E - 870.934^\circ\text{C}) + \Delta T) / 528.83^\circ\text{C},$$

50 where  $-40^\circ\text{C} \leq \Delta T \leq 40^\circ\text{C}$

- hot rolling in immediate succession to the equalising heat treatment, and  
 - coiling of the hot strip.

- 55 2. Method of producing hot rolled strip intended for processing into non-grain oriented electrical steel strip, in which the following steps are progressed through:

- melting of a steel melt which contains (in % by mass)

# EP 1 420 072 B1

C:  $\leq 0.01\%$   
 Si: 1 - 1.5%  
 Al:  $< 0.4\%$ , where  $Si + 2Al \leq 1.85\%$   
 Mn:  $\leq 0.5\%$   
 Cu:  $< 0.05\%$   
 Ti:  $< 0.01\%$   
 P:  $< 0.1\%$   
 Sn:  $< 0.15\%$   
 Sb:  $< 0.15\%$

and, if desired, S, O and N, the sum of the contents of these elements being  $\leq 0.02\%$ , the remainder being iron and unavoidable contaminants,

- casting of the melt into a thin slab,

- equalising heat treatment of the thin slab, in immediate succession, for a treatment period  $t_H$  of 25 to 70 minutes, the furnace temperature  $T_E$  in degrees Celsius to be observed in the given case in the equalising heat treatment being calculated as follows:

$$T_E [^{\circ}C] = 528.82 * \exp(-0.01873 * t_H) + 870.934 - \Delta T,$$

where  $-40^{\circ}C < \Delta T \leq 40^{\circ}C$ ,

- hot rolling in immediate succession to the equalising heat treatment, and

- coiling of the hot strip.

3. Method according to either of Claims 1 and 2, **characterised in that** the thickness of the thin slab is 35 to 100 mm.

4. Method according to any one of the preceding claims, **characterised in that** the coiling temperature is less than  $600^{\circ}C$ .

5. Method according to Claim 4, **characterised in that** the coiling temperature is less than  $530^{\circ}C$ .

6. Method according to any one of the preceding claims, **characterised in that** the coiling temperature is more than  $720^{\circ}C$ .

7. Method according to Claim 6, **characterised in that** the coiling temperature is more than  $750^{\circ}C$ .

8. Cold-rolled and fully processed non-grain oriented electrical steel strip or sheet,

- made of a steel which contains (in % by mass)

C:  $\leq 0.01\%$   
 Si: 1 - 1.5%  
 Al:  $< 0.4\%$ , where  $Si + 2Al \leq 1.85\%$   
 Mn:  $\leq 0.5\%$   
 Cu:  $< 0.05\%$   
 Ti:  $< 0.01\%$   
 P:  $< 0.1\%$   
 Sn:  $< 0.15\%$   
 Sb:  $< 0.15\%$

and, if desired, S, O and N, the sum of the contents of these elements being  $\leq 0.02\%$ , the remainder being iron and unavoidable contaminants,

- of a final thickness of  $\leq 0.75$  mm,

## EP 1 420 072 B1

- and having  $J_{2500}$  polarisation values which, for 0.5 mm thick electrical steel strip at 50 Hz and for remagnetising losses  $P_{1.5}$  of 4.4 W/kg to 5 W/kg, are at least 1.65 T, and at 50 Hz and for remagnetising losses  $P_{1.5}$  of less than 4.4 W/kg, are at least 1.67 T,
- in which the mean grain diameter  $D_K$  of the finished electrical steel strip is 50  $\mu\text{m}$  to 80  $\mu\text{m}$  with a median value of 35 to 65  $\mu\text{m}$ , and
- in which 90% of the grains meet the following condition in respect of their percentage cumulative frequency distribution (CFD):

$$1.3 * D_K - 30 \mu\text{m} < \text{CFD} < 1.3 * D_K + 15 \mu\text{m}.$$

### Revendications

1. Procédé de préparation d'un feuillard à chaud destiné à la production de bandes d'acier électrique à grains non orientés, dans lequel on réalise les étapes suivantes :

- fusion d'une masse d'acier, qui contient (en % en masse)

C :	$\leq 0,010\%$
Si :	1,0-1,5%
Al :	$< 0,4\%$ , avec $\text{Si}+2\text{Al} \leq 1,85\%$ ,
Mn :	$\leq 0,5\%$
Cu :	$< 0,05\%$
Ti :	$< 0,01\%$
P :	$< 0,1\%$
Sn :	$< 0,15\%$
Sb :	$< 0,15\%$

S, O et N au choix, où la somme des teneurs en ces éléments est  $\leq 0,02\%$ , et le reste est du fer et les impuretés inévitables,

- coulée de la masse fondue en un brame fin,

- directement après, traitement d'équilibration thermique du brame fin à une température de four  $T_E$  se situant dans l'intervalle allant de 1040°C à 1160°C, où la durée de traitement  $t_H$  chaque fois maintenue est calculée de la manière suivante, en minutes :

$$t_H [\text{min}] = -1/0,01873 * \ln((T_E - 870,934^\circ\text{C}) + \Delta T) / 528,83^\circ\text{C})$$

avec  $-40^\circ\text{C} \leq \Delta T \leq 40^\circ\text{C}$ ,

- laminage thermique suivant directement le traitement d'équilibration thermique, et
- bobinage du feuillard à chaud.

2. Procédé de préparation d'un feuillard à chaud destiné au traitement en bande d'acier électrique à grains non orientés, dans lequel on réalise les étapes suivantes :

- fusion d'une masse d'acier, qui contient (en % en masse)

C :	$\leq 0,010\%$
Si :	1,0-1,5%
Al :	$< 0,4\%$ , avec $\text{Si}+2\text{Al} \leq 1,85\%$ ,
Mn :	$\leq 0,5\%$
Cu :	$< 0,05\%$
Ti :	$< 0,01\%$

## EP 1 420 072 B1

(suite)

P : < 0,1%  
 Sn : < 0,15%  
 Sb : < 0,15%

S, O et N au choix, où la somme des teneurs en ces éléments est  $\leq 0,02\%$ , et le reste est du fer et les impuretés inévitables,

- coulée de la masse fondue en un brame fin,

- directement après, traitement d'équilibration thermique du brame fin pendant une durée de traitement  $t_H$  se situant dans l'intervalle allant de 25 à 70 minutes, où la température de four  $T_E$  chaque fois maintenue du traitement d'équilibration thermique est calculée de la manière suivante, en °C :

$$T_E \text{ [}^\circ\text{C]} = 528,83 * \exp(-0,01873 * t_H) + 870,934 - \Delta T$$

avec  $-40^\circ\text{C} \leq \Delta T \leq 40^\circ\text{C}$ ,

- laminage thermique suivant directement le traitement d'équilibration thermique, et

- bobinage du feuillard à chaud.

3. Procédé selon l'une des revendications 1 ou 2, **caractérisé en ce que** l'épaisseur des brames fins se situe dans l'intervalle allant de 35 à 100 mm.

4. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la température de bobinage est inférieure à  $600^\circ\text{C}$ .

5. Procédé la revendication 4, **caractérisé en ce que** la température de bobinage est inférieure à  $530^\circ\text{C}$ .

6. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la température de bobinage est supérieure à  $720^\circ\text{C}$ .

7. Procédé la revendication 6, **caractérisé en ce que** la température de bobinage est supérieure à  $750^\circ\text{C}$ .

8. Bande ou tôle d'acier électrique, à grains non orientés, laminé à froid et avec recuit final,

- avec un acier qui contient (en % en masse)

C :  $\leq 0,010\%$   
 Si : 1,0-1,5%  
 Al : < 0,4%, avec  $\text{Si} + 2\text{Al} \leq 1,85\%$ ,  
 Mn :  $\leq 0,5\%$   
 Cu : < 0,05%  
 Ti : < 0,01%  
 P : < 0,1%  
 Sn : < 0,15%  
 Sb : < 0,15%

S, O et N au choix, où la somme des teneurs en ces éléments est  $\leq 0,02\%$ , et le reste est du fer et les impuretés inévitables,

- avec une épaisseur finale  $\leq 0,75$  mm,

- et avec des valeurs de polarisation  $J_{2500}$ , qui s'élèvent pour un bande d'acier électrique de 0,50 mm d'épaisseur, à 50 Hz et des pertes par inversion magnétique  $P_{1,5}$  de 4,4 W/kg à 5 W/kg, à au moins 1,65 T et à 50 Hz et des pertes par inversion magnétique  $P_{1,5}$  d'au moins 4,4 W/kg, à au moins 1,67 T,

- en ce que le diamètre moyen des grains  $D_K$  de la bande d'acier électrique finie se situe dans l'intervalle allant de 50  $\mu\text{m}$  à 80  $\mu\text{m}$  avec une valeur médiane de 35 à 65  $\mu\text{m}$ , et

## EP 1 420 072 B1

- les conditions suivantes sont remplies pour 90% des grains dans la distribution de la fréquence cumulée en pour-cent :

$$5 \quad 1,3 * D_K - 0,30 \mu m < SHV < 1,3 * D_K + 15 \mu m.$$

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

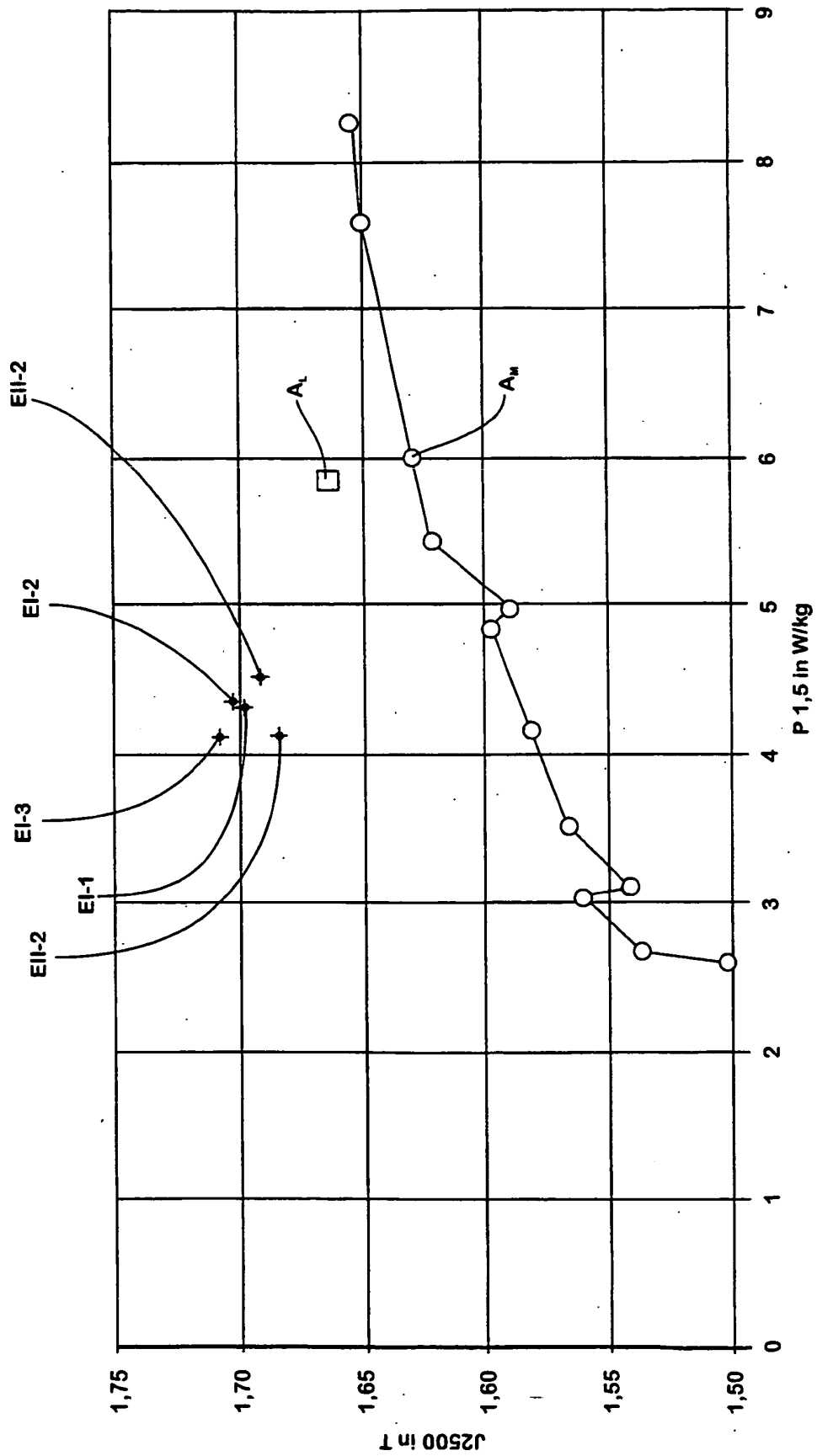


DIAGRAMM 1

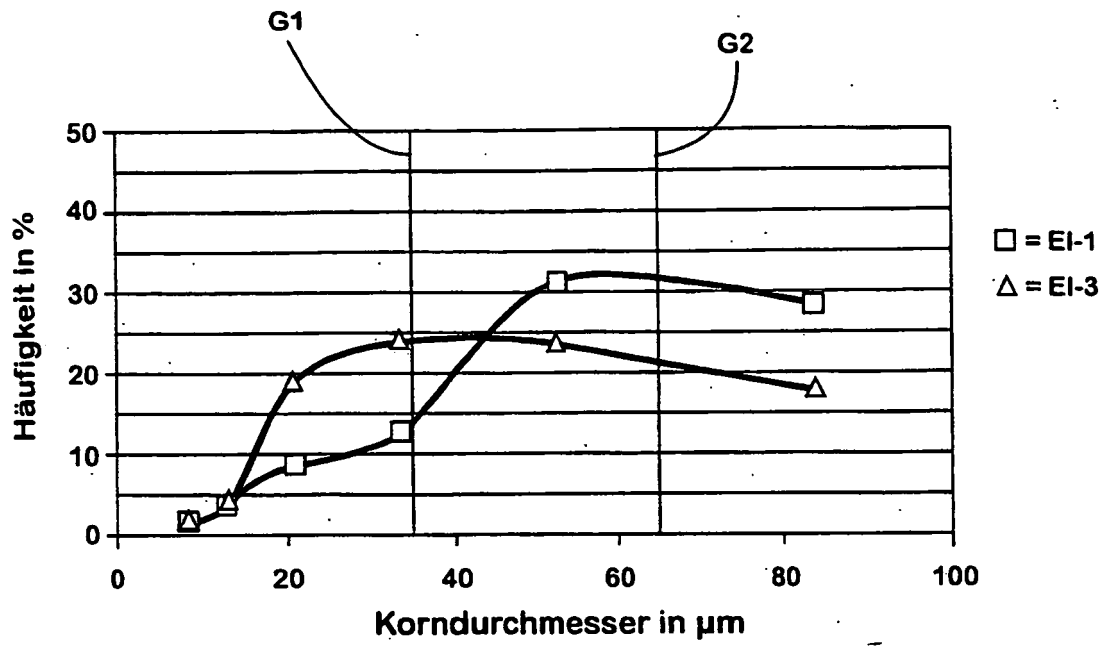


DIAGRAMM 2

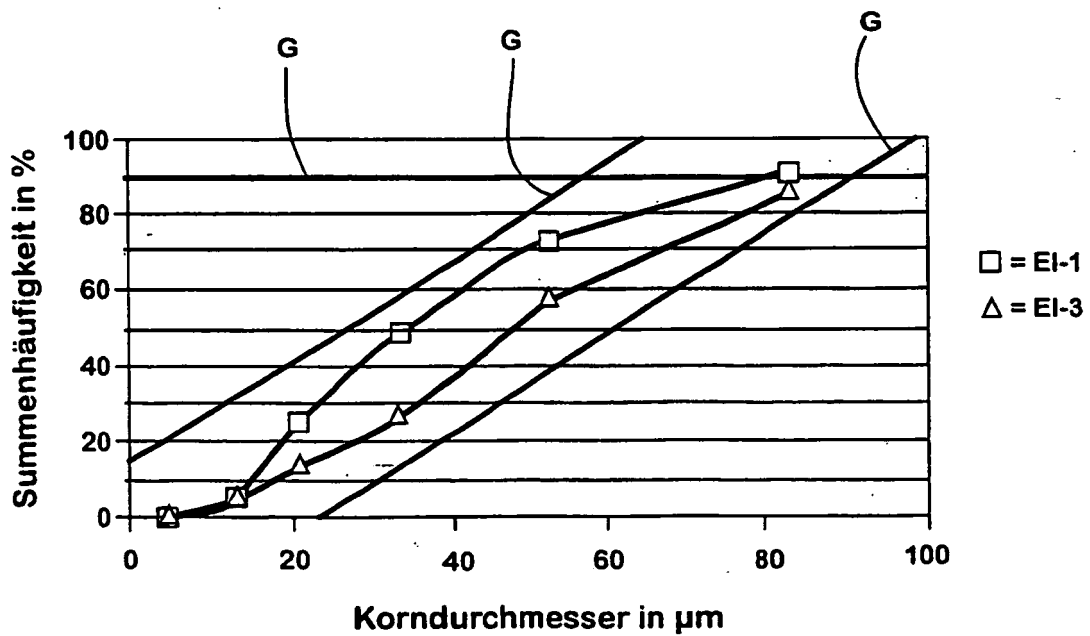


DIAGRAMM 3



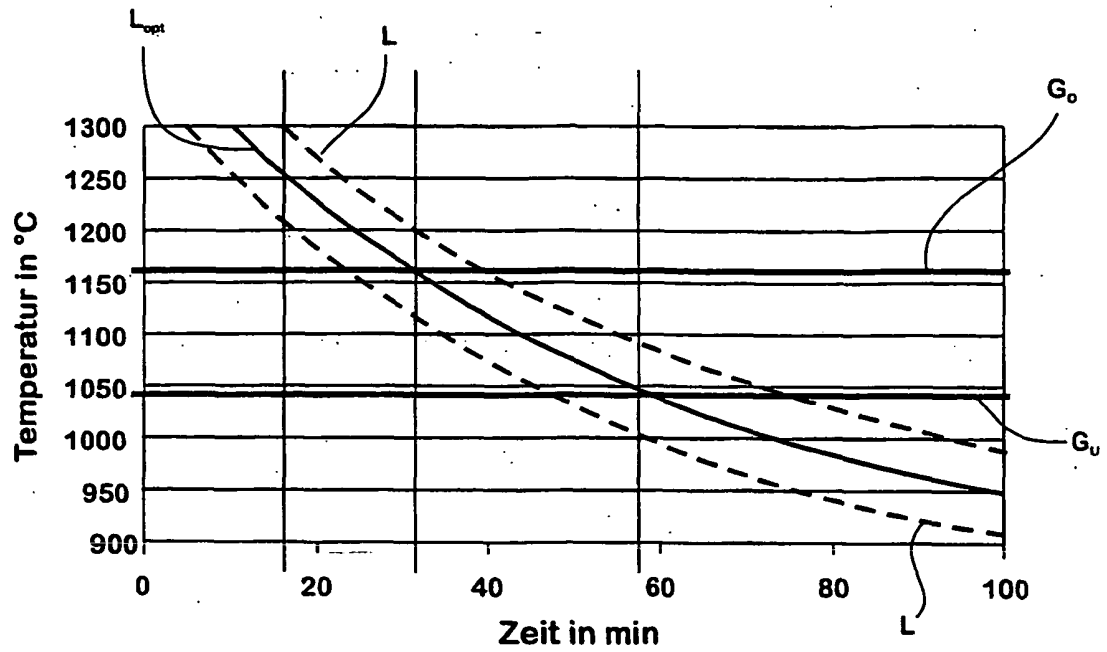


DIAGRAMM 4

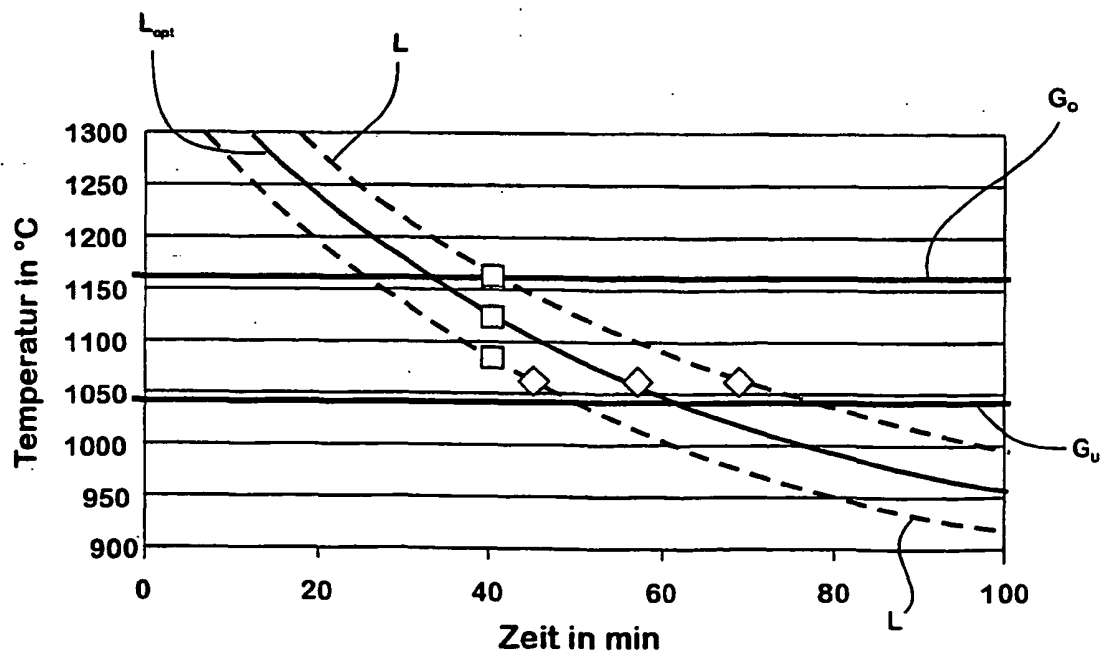


DIAGRAMM 5