



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11) **EP 1 420 072 A1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
19.05.2004 Patentblatt 2004/21

(51) Int Cl.7: **C21D 8/12, C22C 38/02**

(21) Anmeldenummer: **03024299.4**

(22) Anmeldetag: **24.10.2003**

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

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

(71) Anmelder: **ThyssenKrupp Stahl 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)**

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

(57) Die Erfindung betrifft ein Warmband, das in besonderer Weise für die Herstellung von nicht kornorientiertem Elektroband mit verbesserten elektromagnetischen Eigenschaften geeignet ist. Dies wird dadurch erreicht, dass das Warmband aus einem Stahl, der (in Massen-%) C: $\leq 0,010$ %, Si: 1,0 - 1,5 %, Al: $< 0,4$ %, mit $Si + 2 Al \leq 1,85$ %, 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 unvermeidbare Verunreinigungen enthält, erzeugt ist und

dass in dem Warmband eine weitgehende Ausscheidung derart erfolgt ist, dass die vorhandenen Ausscheidungen im Mittel eine Partikelgröße von mindestens 300 nm besitzen. Darüber hinaus betrifft die Erfindung ein aus einem erfindungsgemäßen Warmband hergestelltes kaltgewalztes und schlussgeglühtes nicht kornorientiertes Elektroband. Darüber hinaus betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Warmbandherstellung des erfindungsgemäßen Elektrobandes.

EP 1 420 072 A1

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 zur Herstellung von nicht kornorientiertem Elektroband bestimmtes Warmband und ein daraus erzeugtes 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 Polarisationswerte 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
- Schlussglühen 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 sogenannte "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 beispielsweise 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] Der Erfindung lag die Aufgabe zugrunde, ein Warmband zu schaffen, welches sich in besonderer Weise zur Erzeugung von hochwertigem nicht kornorientiertem Elektroband eignet. Darüber hinaus sollte ein nicht kornorientiertes Elektroblech entwickelt werden, das gegenüber den aus dem Stand der Technik bekannten Elektroblechen überlegene magnetische Eigenschaften besitzt. Schließlich sollte ein Verfahren angegeben werden, 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.

[0010] In Bezug auf das Vorprodukt wird diese Aufgabe durch ein Warmband für die Herstellung von nicht kornorientiertem Elektroband gelöst, wobei das Warmband aus einem Stahl mit (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, erzeugt ist und in dem Warmband eine weitgehende Ausscheidung derart erfolgt ist, dass die vorhandenen Ausscheidungen im Mittel eine Partikelgröße von mindestens 300 nm besitzen. Die Größe der Partikel sollten dabei vorzugsweise 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.

[0011] Die Erfindung geht 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 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.

[0012] 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.

[0013] Hinsichtlich des nicht kornorientierten Elektroblechs wird die oben angegebene Aufgabe durch ein kaltgewalztes und schlussgeglühtes nicht kornorientiertes Elektroband oder -blech gelöst, welches aus einem erfindungsgemäß beschaffenen Warmband hergestellt ist und eine Enddicke von bis zu 0,75 mm und Polarisationswerte J_{2500} aufweist, die für ein 0,50 mm dickes Elektroband 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.

[0014] Dies wird durch den vom Warmband vererbten Ausscheidungszustand und die sich dadurch einstellende Korngrößenverteilung des Gefüges bewirkt. Dieser führt zu mittleren Korndurchmessern D_K des fertigen Elektrobandes von 50 μm bis 80 μm bei einem Medianwert von 35 μm bis 65 μm . Gleichzeitig erfüllen 90 % der Gefügekörner bei Betrachtung ihrer prozentualen Summenhäufigkeitsverteilung (SHV) die Bedingung:

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

[0015] Erfindungsgemäßes Elektroblech mit diesen Gefügeeigenschaften weist gegenüber herkömmlich erzeugtem nicht kornorientiertem Elektroblech gleicher Zusammensetzung deutlich verbesserte elektromagnetische Eigenschaften auf.

[0016] In Bezug auf das Herstellverfahren 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,

EP 1 420 072 A1

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.

[0017] 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 $\text{Si} + 2\text{Al} \leq 1,85$ %, 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 unvermeidbare Verunreinigungen enthält,
- Vergießen der Schmelze zu einer Dünnbramme,
- unmittelbar anschließend erfolgendes 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:

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

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

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

[0018] 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 getragen worden, bei der üblicherweise eine Ofentemperatur bekannt ist, nach der sich die Behandlungsdauer richtet. Andererseits gibt der zweite Ansatz die Möglichkeit, den Gesamt Ablauf des erfindungsgemäßen Verfahrens zeitlich zu optimieren, indem eine in den Prozessfluss passende Behandlungsdauer vorgegeben wird, nach der sich die Ofentemperatur zu richten hat.

[0019] Die Dicke der im Zuge der Durchführung der erfindungsgemäßen Verfahrensvariante erzeugten Dünnbramme beträgt typischerweise 35 bis 100 mm.

[0020] 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.

[0021] Die Erfindung geht von der Erkenntnis aus, dass sich deutlich verbesserte magnetische Eigenschaften bei Elektroblechen mit Silizium- und Aluminium-Gehalten der erfindungsgemäß ausgewählten Größenordnung einstellen lassen, wenn diese Elektrobleche 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.

[0022] 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 Elektroblechs üblicherweise erfolgenden weiteren Schritte bis zur Fertigstellung des Produkts vererbt mit der Folge, dass ein Endprodukt mit hervorragenden magnetischen Eigenschaften erhalten wird.

[0023] 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.

[0024] 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 ΔT der Ofenzieltemperatur ausdrücken.

[0025] 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 Partikelrößen im Bereich von 50 nm bis 190 nm sicher erreicht.

[0026] 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 Kohlenstoffausziehdrucke 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.

[0027] 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.

[0028] 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.

[0029] 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 geglühte Warmbänder mit besonders guten magnetischen und technologischen Eigenschaften herstellen.

[0030] 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

EP 1 420 072 A1

keiner Austenitbildung kommt.

[0031] 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

[0032] 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.

[0033] 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 Warmbanddicke fertig warmgewalzt worden sind.

[0034] 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.

[0035] 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.

[0036] 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.

[0037] 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						

EP 1 420 072 A1

Tabelle II (fortgesetzt)

Probe	T _{VO} [°C]	T _E [°C]	t _H [min]	W _{AT} [°C]	W _{ET} [°C]	T _H [°C]
T _{VO} = Temperatur vor dem Ausgleichsofen T _E = Ofentemperatur im Ausgleichsofen t _H = Haltezeit W _{AT} = Warmwalzanfangstemperatur W _{ET} = Warmwalzendtemperatur T _H = Auslagerungstemperatur						

[0038] 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 J₈₀₀ die magnetische Polarisation bei einer magnetischen Feldstärke von 800 A/m, mit J₁₀₀₀ die magnetische Polarisation bei einer magnetischen Feldstärke von 1000 A/m, mit J₂₅₀₀ die magnetische Polarisation bei einer magnetischen Feldstärke von 2500 A/m, mit J₅₀₀₀ die magnetische Polarisation bei einer magnetischen Feldstärke von 5000 A/m und mit J₁₀₀₀₀ 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

[0039] 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 J₂₅₀₀ dem Mischwert A_M und dem in Längsrichtung ermittelten Wert A_L der magnetischen Polarisation J₂₅₀₀ gegenübergestellt, die für konventionell ohne Warmbandglühung erzeugte nicht kornorientierte Bleche vergleichbarer Zusammensetzung ermittelt werden konnten.

[0040] 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.

[0041] 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.

[0042] Im Diagramm 4 ist der Bereich dargestellt, innerhalb dessen die erfindungsgemäße Ausgleichswärmebehandlung durchgeführt wird. Dabei ist durch die obere waagrecht verlaufende Gerade G_o die maximal zulässige Temperatur von 1160 °C und durch die untere waagrecht 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.

[0043] 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 t₁ 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 T₁ 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.

[0044] 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.

5 **Patentansprüche**

1. Warmband für die Herstellung von nicht kornorientiertem Elektroband, wobei das Warmband aus einem Stahl, der (in Massen-%)

10

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

15

20

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

25

wobei in dem Warmband eine weitgehende Ausscheidung derart erfolgt ist, dass die vorhandenen Ausscheidungen im Mittel eine Partikelgröße von mindestens 300 nm besitzen.

30

2. Warmband nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** unter den vorhandenen Ausscheidungen der Anteil der Ausscheidungen mit Partikelgrößen von 50 nm bis 190 nm auf Spuren reduziert ist.

3. Warmband nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Partikelgröße zum überwiegenden Teil mehr als 300 nm beträgt.

35

4. Kaltgewalztes und schlussgeglühtes nicht kornorientiertes Elektroband oder -blech, hergestellt aus einem gemäß einem der Ansprüche 1 bis 3 beschaffenen Warmband,

40

- mit einer Enddicke ≤ 0,75 mm,
- und mit Polarisationswerten J_{2500} , die für ein 0,50 mm dickes Elektroband 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,
- indem der mittlere Korndurchmesser D_K des fertigen Elektrobandes 50 μm bis 80 μm mit einem Medianwert von 35 bis 65 μm beträgt und
- in der prozentualen Summenhäufigkeitsverteilung (SHV) 90 % der Körner folgende Bedingung erfüllen:

45

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

50

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

55

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

C	≤ 0,010 %,
Si	1,0 - 1,5 %,

EP 1 420 072 A1

(fortgesetzt)

Al	< 0,4 %, mit Si + 2Al ≤ 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 ≤ 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.

6. 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 ≤ 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 ≤ 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 25 bis 70 Minuten betragenden Behandlungsdauer t_H , wobei sich die jeweils eingehaltene Ofentemperatur T_E der Ausgleichswärmebehandlung in Grad Celsius wie folgt berechnet:

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

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

EP 1 420 072 A1

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

5 7. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 oder 6,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Dicke der Dünnbramme 35 bis 100 mm beträgt.

10 8. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 7,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Haspeltemperatur weniger als 600 °C beträgt.

15 9. Verfahren nach Anspruch 8, **dadurch**
gekennzeichnet, dass die
Haspeltemperatur weniger als 530 °C beträgt.

20 10. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 9,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Haspeltemperatur mehr als 720 °C beträgt.

25 11. Verfahren nach Anspruch 10, **dadurch**
gekennzeichnet, dass die
Haspeltemperatur mehr als 750 °C beträgt.

30

35

40

45

50

55

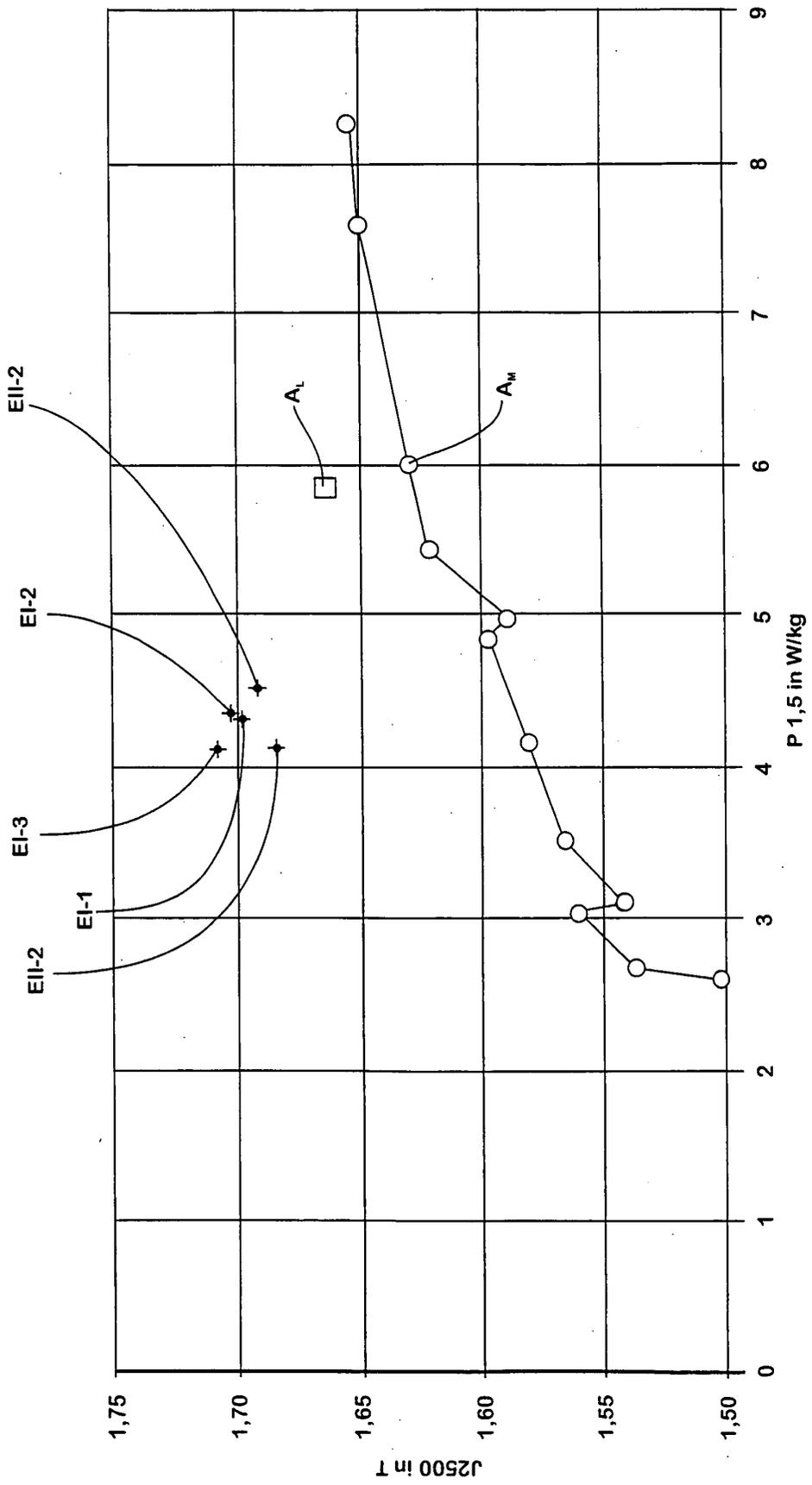


DIAGRAMM 1

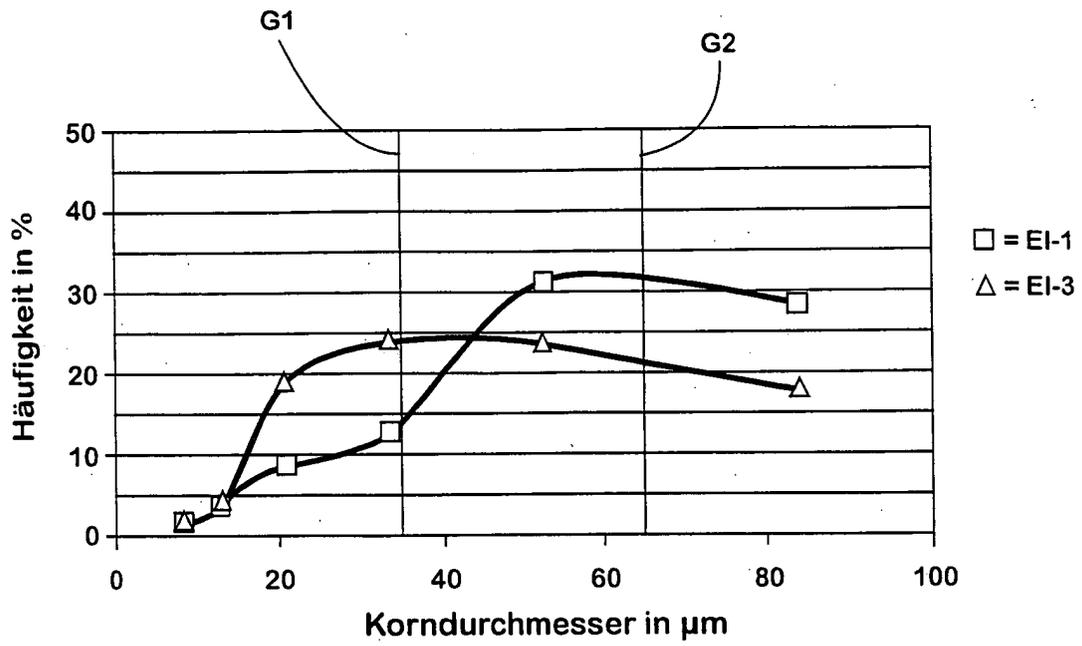


DIAGRAMM 2

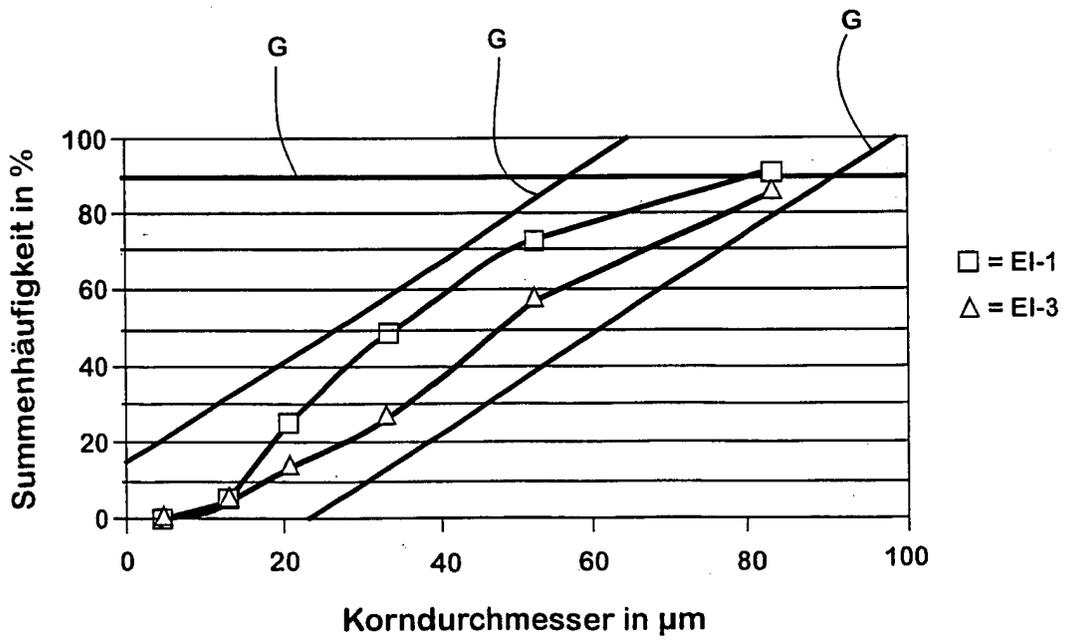


DIAGRAMM 3

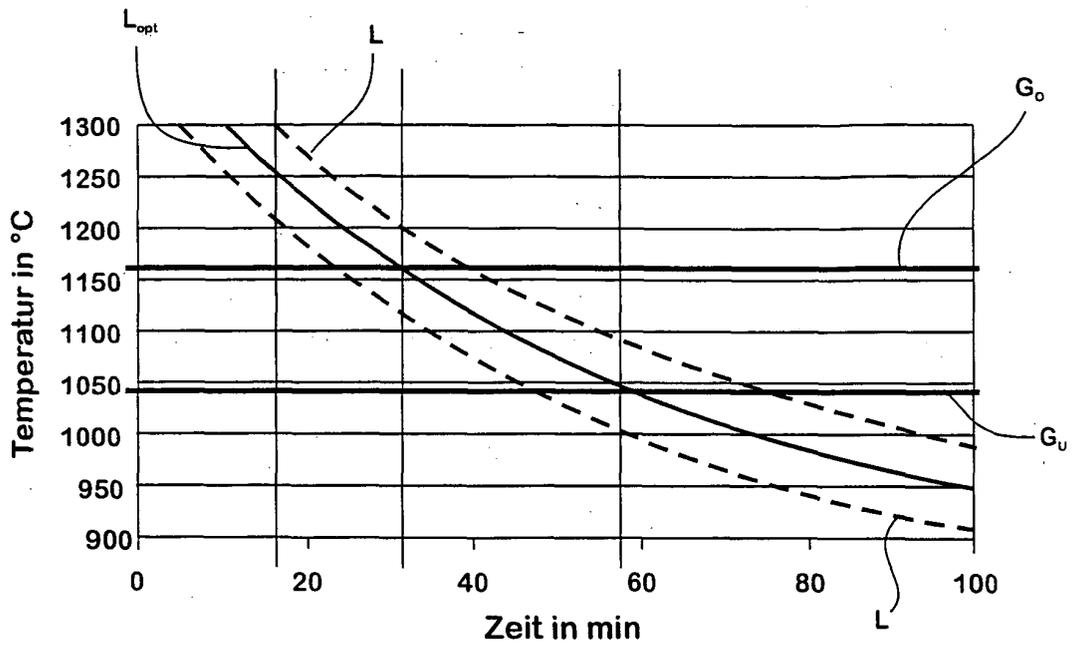


DIAGRAMM 4

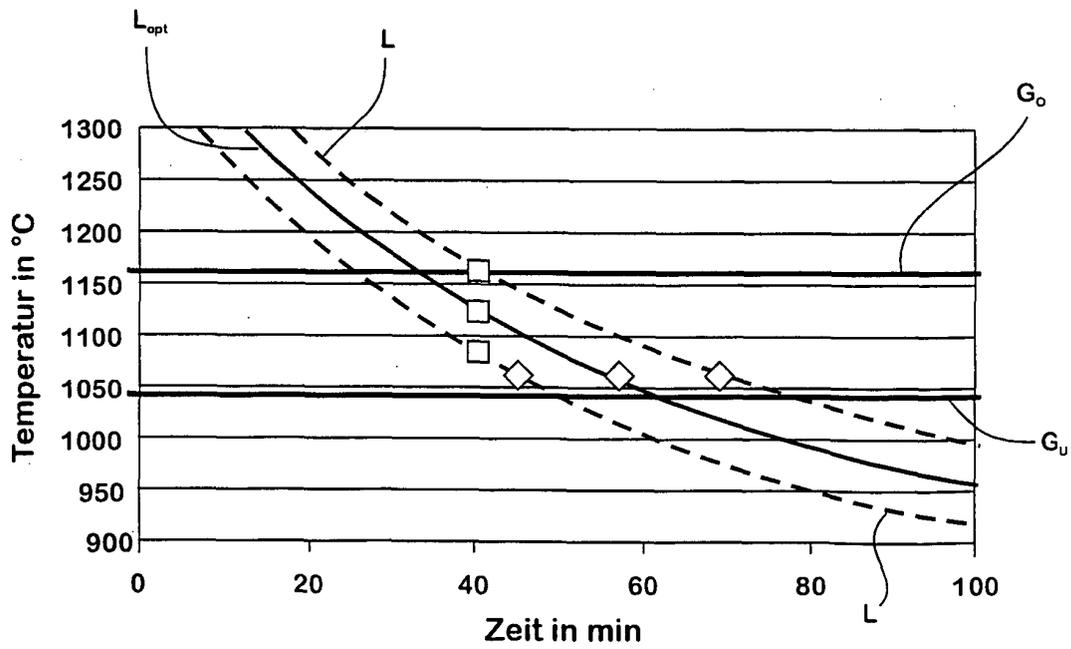


DIAGRAMM 5



Europäisches
Patentamt

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 03 02 4299

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.Cl.7)
X	EP 0 367 831 A (NIPPON KOKAN KK) 16. Mai 1990 (1990-05-16) * Ansprüche; Beispiele *	1-3	C21D8/12 C22C38/02
A	EP 0 655 509 A (KAWASAKI STEEL CO) 31. Mai 1995 (1995-05-31)		
A	EP 0 357 800 A (NIPPON KOKAN KK) 14. März 1990 (1990-03-14)		
A	DE 198 07 122 A (THYSSEN KRUPP STAHL AG) 9. September 1999 (1999-09-09)		
A	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) * Zusammenfassung *		
A	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) * Zusammenfassung *		
A,D	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 STAHL EISEN GMBH. DUSSELDORF, DE, Bd. 120, Nr. 2, 15. Februar 2000 (2000-02-15), Seiten 61-68, XP000933035 ISSN: 0340-4803		
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort	Abschlußdatum der Recherche	Prüfer	
DEN HAAG	24. Februar 2004	Mollet, G	
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE		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	
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			

EPO FORM 1503 03 82 (P04C03)

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

EP 03 02 4299

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.

24-02-2004

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 0367831	A	16-05-1990	JP 1225726 A	08-09-1989
			JP 2080910 C	09-08-1996
			JP 5071652 B	07-10-1993
			DE 68908345 D1	16-09-1993
			DE 68908345 T2	16-12-1993
			EP 0367831 A1	16-05-1990
			WO 8908721 A1	21-09-1989
			KR 9206582 B1	10-08-1992
			US 5062906 A	05-11-1991

EP 0655509	A	31-05-1995	JP 2744581 B2	28-04-1998
			JP 7188752 A	25-07-1995
			CA 2133168 A1	30-03-1995
			DE 69433002 D1	11-09-2003
			DE 69433002 T2	22-01-2004
			EP 0655509 A1	31-05-1995
			JP 2992201 B2	20-12-1999
			US 5676771 A	14-10-1997

EP 0357800	A	14-03-1990	JP 1225723 A	08-09-1989
			JP 1843275 C	12-05-1994
			JP 4033851 B	04-06-1992
			CA 1318576 C	01-06-1993
			DE 68917393 D1	15-09-1994
			DE 68917393 T2	02-02-1995
			EP 0357800 A1	14-03-1990
			WO 8908151 A1	08-09-1989
			KR 9206581 B1	10-08-1992
			US 5009726 A	23-04-1991

DE 19807122	A	09-09-1999	DE 19807122 A1	09-09-1999
			AT 204917 T	15-09-2001
			AU 2927699 A	06-09-1999
			BR 9908106 A	31-10-2000
			CA 2320124 A1	26-08-1999
			DE 59900223 D1	04-10-2001
			WO 9942626 A1	26-08-1999
			EP 1056890 A1	06-12-2000
			ES 2163329 T3	16-01-2002
			JP 2002504624 T	12-02-2002
			PL 342361 A1	04-06-2001
			US 6503339 B1	07-01-2003

JP 2002220643	A	09-08-2002	KEINE	

EPO FORM P0461

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

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

EP 03 02 4299

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.

24-02-2004

Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
JP 09067656 3 A		KEINE	
<hr style="border-top: 1px dashed black;"/>			

EPO FORM P0461

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