



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 600 04 244 T2 2004.04.15**

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 200 636 B1**

(51) Int Cl.⁷: **C21D 8/12**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **600 04 244.8**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/EP00/04577**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **00 940 258.7**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 00/73517**

(86) PCT-Anmeldetag: **19.05.2000**

(87) Veröffentlichungstag
der PCT-Anmeldung: **07.12.2000**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **02.05.2002**

(97) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung beim EPA: **30.07.2003**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **15.04.2004**

(30) Unionspriorität:

RM990334 26.05.1999 IT

(84) Benannte Vertragsstaaten:

**AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT,
LI, LU, MC, NL, PT, SE**

(73) Patentinhaber:

Acciai Speciali Terni S.p.A., Terni, IT

(72) Erfinder:

BAN, Gabor, I-00129 Roma, IT

(74) Vertreter:

Notarbartolo & Gervasi GmbH, 80336 München

(54) Bezeichnung: **VERFAHREN ZUR VERBESSERUNG DER MAGNETISCHEN EIGENSCHAFTEN VON KORNI-
ENTIERTEN ELEKTROSTAHLBLECHEN DURCH LASERBEHANDLUNG**

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).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

Beschreibung

Technischer Bereich

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Verbesserung der magnetischen Kenngrößen von kornorientierten Elektro-Siliziumstahlblechen durch Laserstrahlritzen und insbesondere eine Strahlungsbehandlung des Stahlblechs nach dem Fertigglühen, um seine Induktionskenngrößen, seine Verluste und seine Magnetostriktion gegenüber dem unbehandelten Stahlblech zu verbessern.

Stand der Technik

[0002] Kornorientierte Elektro-Siliziumstahlbleche werden hauptsächlich bei der Herstellung von Kernen für Transformatoren verwendet. Bei dieser Anwendung ist die am häufigsten untersuchte magnetische Kenngröße des Materials, insbesondere nach der Ölkrise in den siebziger Jahren und in jüngster Zeit infolge der zunehmenden Bedeutung der Energieeinsparung, diejenige Kenngröße, welche die sogenannten Kernverluste oder Verluste betrifft, also sozusagen diejenige Kenngröße, welche sich auf die Menge an Energie bezieht, die während des Betriebs des Transformators verloren geht. Diese Verluste werden in Watt pro Kilogramm des Kerngewichts ausgedrückt und hängen von verschiedenen Faktoren und insbesondere von der Bewegung der magnetischen Blochwände ab, die als solche Gebiete im Material definiert sind, in denen die Elektronen, die für den Ferromagnetismus verantwortlich sind, parallele Spins und daher ein magnetisches Moment aufweisen, welches nicht gleich Null ist. In magnetischen Siliziumstahlblechen ist das magnetische Moment innerhalb eines einzelnen Bezirks entsprechend den Richtungen der einfachen Magnetisierung ausgerichtet, d. h. nach den kristallografischen Richtungen $\langle 100 \rangle$. Blochwände sind Gebiete inmitten angrenzender Bezirke, durch die hindurch das magnetische Moment sich dreht, und sie werden durch den Wert dieser Drehung gekennzeichnet. Daher sprechen wir von 180° -Wänden und Nicht- 180° -Wänden (bei diesem Material 90°).

[0003] Im entmagnetisierten Zustand ist die Vektorsumme der magnetischen Momente gleich Null, und in einem von außen angelegten Feld erfolgt die anfängliche Magnetisierung im Wesentlichen durch die Bewegung der Blochwände, wobei diejenigen, die bezüglich des angelegten Feldes günstig orientiert sind, weniger Energie aufnehmen und zu Lasten der anderen Bezirke durch seitliche Bewegung der Wände bei 180° wachsen. Eine höhere Beweglichkeit der Wände macht die Magnetisierung leichter, und folglich erfordert die Bewegung der Wände weniger Energie. Der Energieverbrauch, der mit der Bewegung der Wände bei 180° im Zusammenhang steht, ist auf die elektromotorischen Kräfte zurückzuführen, die durch die Bewegungen der Wände, die dieser Bewegung entgegen wirken, erzeugt werden.

[0004] Man hat herausgefunden, dass eine derartige Komponente der Verluste proportional dem Verhältnis zwischen der Entfernung unter den 180° -Wänden und der Stärke des Stahlblechs ist. Ferner hat man herausgefunden, dass die Verluste auch von der Größe der Körner des Stahlblechs und von der Orientierung des Kristallgitters des Korns bezüglich der Oberfläche des Stahlblechs abhängen.

[0005] Daher besteht die deutlichste und direkteste Wahl darin, dass man Siliziumstahlbleche hoher Kornorientierung nimmt, welche gegebene Korngrößen und eine geringen Stärke aufweisen.

[0006] Die Bemühungen, die man bislang angestellt hat, haben ausgezeichnete Ergebnisse geliefert, die vom Gesichtspunkt der Fertigung nicht mehr beträchtlich verbessert werden können. Insbesondere hat man herausgefunden, dass die optimale Größe der Körner bei 4 mm liegt, während bei dem, was die Dicke des Stahlblechs betrifft, es unzweckmäßig ist, einige Werte zu unterschreiten, und zwar wegen der Kosten dieser Verfahren und auch deswegen, weil das Verhältnis zwischen dem Volumen des Stahlblechs und demjenigen, das für die Isolationsüberzüge benötigt wird (der sogenannte Raumfaktor), zu groß wird, und daher ein beträchtlicher Teil des Kerns vom Isolierüberzug eingenommen würde.

[0007] Folglich sind weitere Faktoren, welche die Verluste des Kerns beeinflussen, in Betracht gezogen worden, insbesondere diejenigen, welche die Größen der magnetischen Bezirke betreffen.

[0008] Zunächst hat man herausgefunden, dass beim Anlegen einer Zugspannung an das Stahlblech in der Ebene des Stahlblechs eine Anisotropie erzeugt wird, welche bei Vorhandensein der typischen Struktur dieser Materialien (Goss-Textur) die Differenz in der Magnetisierungsenergie zwischen der kristallografischen Richtung $\langle 100 \rangle$ parallel zur Walzrichtung und der Richtung $\langle 011 \rangle$ rechtwinklig zur Walzrichtung vergrößert. Folglich verschiebt sich das Gleichgewicht zwischen der magnetostatischen Energie und derjenigen der Blochwände zu Gunsten der Wandenergie, wodurch die Bildung einer hohen Anzahl von Wänden verursacht wird, die dünner und enger werden. Auf solche Art und Weise erreicht man eine beträchtliche Abnahme des Anteils der Wirbelströme am Gesamtwert der Verluste. Daher sind spannungsausübende Isolierüberzüge entwickelt worden, welche ermöglichen, dass derartige Verbesserungen erzielt werden.

[0009] Seit 1924 fasst man die Möglichkeit ins Auge, dass derartige mechanische Spannungen auch durch die Erzeugung von lokalisierten Mikrodruckspannungen erzielt werden können. Unter diesem Aspekt ist vorgeschlagen worden, das Stahlblech einer Strahlverfestigung oder einer mechanischen Ritzbehandlung mit

Bohrern, Klingen oder Walzen, die mit Reliefs ausgestattet sind, zu unterziehen. Diese Methoden, obwohl sie effektiv und durchaus imstande sind, bei hohen Temperaturen Verbesserungen hinsichtlich der Warmbehandlung und der Festigkeit zu ergeben, haben die Nachteile, dass sie vom Gesichtspunkt der Herstellung schwierig anzuwenden sind und den Isolierüberzug des Stahlblechs zerstören, so dass selbiges einer schnellen Oxidation ausgesetzt wird, was daher einen weiteren Isolierüberzug erfordert und Grat oder Erhöhungen der Metalle an den Kanten der Ritz- oder Eindruckstellen bildet, wodurch der Raumwert des Kerns abnimmt und sich im Kern die Häufigkeit von Kurzschlüssen erhöht.

[0010] Ein weiterer Schritt, der gegangen wurde, betrifft die Behandlung der Oberfläche des Stahlblechs mit konzentrierten energiereichen Impulsen in Form von Laserstrahlen, Elektronenstrahlen, Plasma und dergleichen.

[0011] Ein Artikel von J.W. Schoen und A.L. von Hollen mit dem Titel "Bezirksverfeinerung von ausgerichtetem Elektrostahl: Von den frühen Anfängen bis zu einer brauchbaren Technologie" für die 1986 ASM Material Week Conference" vom 4. bis 9. Oktober 1986 in Orlando, Florida, beschreibt alle Ergebnisse, welche die ersten Erfahrungen auf diesem Gebiet in die Erinnerung zurückrufen und bezieht sich insbesondere auf die Ritzbehandlung mit Laserstrahlen.

[0012] Zu dieser Thematik – **Fig. 7** und **9** und die diesbezügliche Diskussion im Text – wird festgestellt, dass die Verbesserung, die durch die Verfeinerung der magnetischen Bezirke erreicht wird, mit dem Zustand der Magnetostriktion nach der Laserbehandlung in Zusammenhang gebracht werden kann, da die Änderung der Magnetostriktion ein quantitatives Maß für den Anteil der Nicht – 180°-Wände ist, der in diejenigen Gebiete eingebracht wird, welche der Laserbehandlung ausgesetzt sind. Die besten Ergebnisse bei der Bezirksverfeinerung werden mit einer Zunahme der Magnetostriktion erhalten. Diese Situation findet man auch in anderen Dokumenten vor wie beispielsweise im europäischen Patent Nr. 87587 mit der Priorität 25. Januar 1980 "Verfahren zur Bestrahlung von elektromagnetischem Stahlblech mit Laserstrahl". Die Erfindung besteht darin, auf das Stahlblech nach der Laserbehandlung ein flüssiges Überzugsmittel zu bringen und diesen Überzug bei einer Temperatur, die nicht höher als 600°C liegt, geglüht wird. Diese Temperaturgrenze ist auf die Tatsache zurückzuführen, dass Verbesserungen hinsichtlich der Verluste, die auf Behandlungen vom Lasertyp zurückzuführen sind, bei Temperaturen höher als 500 bis 600°C völlig verschwinden. Dieses Patent stellt fest, dass die Effekte der Laserbehandlung nicht nur dazu benutzt werden, um Verluste zu vermindern, sondern auch dazu, die Magnetostriktion zu verbessern. Jedoch werden zu diesem Aspekt keine überzeugenden Darstellungen der erhaltenen Ergebnisse vorgelegt. In der Tat zeigt Tabelle 1 – die einzige Tabelle, in welcher Auswertungen zur Magnetostriktion angegeben werden – dass Messungen, welche die Magnetostriktion betreffen, als Größenveränderungen unter einer mechanischen Last von 17 kg ausgedrückt werden. Daher muss in dieser Hinsicht darauf hingewiesen werden, dass, wie bereits wohlbekannt ist, ein mechanischer Zug die Magnetostriktion verbessert. Darüber hinaus kann anhand der vorgelegten Daten festgestellt werden, dass die Ergebnisse gemäß der Erfindung schwächer ausfallen, was die Magnetostriktion betrifft, als diejenigen, die erhalten werden, wenn man einfach den endgültigen Isolierüberzug ohne Laserbehandlung aufbringt. Daher besteht der einzige Vorteil der Laserbehandlung darin, den Wert der gesamten Kernverluste zu verbessern.

[0013] Die europäischen Patentschriften 8.385 und 100.638 sowie die UK-Patentschrift 2128639A beschreiben alle die Laserbehandlungsprozesse von Elektrostahlstreifen, bei denen durch die Wahl einiger Prozessparameter ein richtiger Wert für die spezifische Strahlungsenergie für die Anwendung über den gesamten Laserbehandlungsprozess gewählt wird. Gemäß den oben gekennzeichneten Dokumenten können Verbesserungen bezüglich der Kernverluste widerspruchsfrei erhalten werden, während die Permeabilitätswerte unverändert bleiben oder gar niedriger ausfallen. Über Änderungen in den anderen endgültigen Kenndaten wie beispielsweise der Magnetostriktion liegen keine Informationen vor.

[0014] Die europäische Patentschrift 611.829, angemeldet am 24. August 1994, betrifft die Elektronenstrahlbehandlung der Oberfläche eines kornorientierten Elektrostahlblechs, um ein Erzeugnis (Transformatorkern) zu erhalten, welches verbesserte Kenndaten hinsichtlich der Gestalt und der Schallemission hat. Die Erfindung besteht in der Tatsache, dass das Stahlblech, welches mit einer endgültigen Isolierverkleidung versehen ist, mit einem Elektronenstrahl bestrahlt wird, der auf das Stahlblech dergestalt gerichtet ist, dass er einem kontinuierlichen oder diskontinuierlichen Zickzackweg folgt, so dass die Spuren des Elektronenstrahls den Scheitelpunkten des Zickzackwegs entsprechen. Auch bei diesem Verfahren betreffen die erhaltenen Verbesserungen lediglich die Verluste, während Werte, die sich auf die Magnetostriktion (Anregungsleistung und Rauschen) beziehen, mit denjenigen des unbehandelten Streifens verglichen werden können, und sie sind lediglich für den Streifen besser, der mit einer linearen Strahlung des Elektronenstrahls behandelt wurde. Ein weiterer Nachteil bezüglich des Einsatzes des Elektronenstrahls besteht in der Tatsache, dass es notwendig ist, unter hohem Vakuum zu arbeiten, was ein kostenaufwendiger Zustand ist, der bei kontinuierlichen Behandlungsanlagen kaum zu erreichen ist. Schließlich muss angemerkt werden, dass in diesem Dokument die besten Ergebnisse bei einer Behandlungstemperatur des mit Elektronenstrahl behandelten Streifens zwischen 600°C und 800°C erhalten werden, also bei einer Temperatur, bei welcher bekanntlich die Gewinne infolge von Mikrospannungen, die durch die Behandlung induziert werden, verloren gehen. Daher kann abgeleitet werden,

dass in diesem Dokument die erhaltenen Verbesserungen im Wesentlichen auf die Spannwirkung des endgültigen Isolierüberzugs zurückzuführen sind, der wegen der Rillen, die in den Glasfilm durch den Elektronenstrahl eingeprägt werden, besser an das Stahlblech anknüpft.

[0015] Der Stand der Technik, so wie wir ihn kennen, zeigt, wie die Strahlungsbehandlung des kornorientierten Siliziumstahlblechs mit Laser- oder Elektronenstrahl zu wirksamen Verbesserungen der allgemeinen Kenndaten für die Verluste führen kann, während die Ergebnisse, sofern sie die Magnetostriktion und das Rauschen betreffen, höchstens vergleichbar mit denjenigen sind, die mit den üblichen Behandlungsmethoden erhalten werden, also ohne Bestrahlung der Oberfläche. Ferner muss in Betracht gezogen werden, dass Laser- oder Elektronenstrahlanlagen sehr hohe Investitions- und Betriebskosten haben und es daher für sie keine vollständige Rechtfertigung gibt, wenn sie nur Verbesserungen in den Verlusten bringen.

[0016] Daher ist es Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Laserbehandlung von magnetischen kornorientierten Stahlblechen zu entwickeln, die imstande ist, die Werte der Kernverluste, der Magnetostriktion und der Induktion, die bei 800 A/m gemessen werden (von jetzt an B_{800}), absolut zu verbessern.

[0017] Eine weitere Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, die zusätzlichen Kosten zu vermeiden, die bislang für einen endgültigen Isolierüberzug des Stahlblechs nach der Laserbehandlung erforderlich waren.

Beschreibung der Erfindung

[0018] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren, bei welchem ein Blech aus kornorientiertem Siliziumstahl, welches bereits das sekundäre Rekristallisationsfertigglühen durchlaufen hat und mit einem Isolierüberzug versehen ist, mit einem kontinuierlichen CO_2 -Emissionslaser mit einer Wellenlänge von 10,46 μm behandelt wird, indem während seiner Bewegung der Streifen in einer im Allgemeinen querverlaufenden Richtung in Bezug auf die Bewegungsrichtung desselben Streifens kontinuierlich abgetastet wird. Dieser Vorgang zeichnet sich durch die Tatsache aus, dass die vorher gewählten Prozessparameter spezifische Strahlungsenergie, Verweilzeit und Abstand zwischen zwei aufeinander folgenden Spuren des Laserstrahls auf dem Stahlblech innerhalb der Bereiche zwischen 0,1 und 25 mJ/mm^2 , 1×10^{-6} s und 1×10^{-2} s bzw. 2 und 12 mm synchron und kontinuierlich eingestellt werden, um die Verbesserung von wenigstens einer der magnetischen Kenngrößen des Streifens zu optimieren, wobei die Wahl zwischen Magnetostriktion, Induktion und Kernverlusten besteht, die vor und nach der Laserstrahlbehandlung kontinuierlich gemessen werden, und um den genannten Überzug nicht zu beschädigen.

[0019] In diesem Zusammenhang ist unter Verweilzeit die Zeit zu verstehen, während der eine bestimmte Fläche des Streifens mit dem Laserstrahl bestrahlt wird, wobei die Verweilzeit eine Funktion der Bewegungsgeschwindigkeit des Streifens, der Abtastgeschwindigkeit des Laserstrahls und der Querabmessungen des Laserstrahls ist.

[0020] Die spezifische Energiedichte liegt vorzugsweise zwischen 2 und 8 mJ/mm^2 und insbesondere zwischen 3 und 5 mJ/mm^2 . Was die Verweilzeit betrifft, muss sie vorzugsweise zwischen 1×10^{-5} und 1×10^{-3} s liegen und insbesondere zwischen 1 und 8×10^{-4} s.

[0021] Der Abstand zwischen zwei aufeinanderfolgenden Linien muss vorzugsweise im Bereich zwischen 3,5 und 8 mm gemäß der Durchschnittsgröße des Korns liegen; in unserem Versuch sind sehr gute Ergebnisse bei Abstandswerten zwischen zwei aufeinanderfolgenden Linien erhalten worden, die 10–20% unter der durchschnittlichen Korngröße, gemessen in der Walzrichtung des Streifens, lagen.

[0022] Ein weiterer wichtiger Faktor ist die Abtastgeschwindigkeit des Laserstrahls auf der Streifenoberfläche, die von weiteren Parametern abhängt wie der Geschwindigkeit der translatorischen Bewegung des Stahlblechs in der Linie und dem Abstand zwischen den angeritzten Linien. Daher kann in verschiedenen Anlagen dieser Parameter verschiedene Werte haben, wobei die erhaltenen magnetischen Eigenschaften immer noch die optimalen Werte besitzen; bei dem im Laboratorium durchgeführten Versuch sind ausgezeichnete Ergebnisse mit Abtastgeschwindigkeiten zwischen 800 und 10.000 m/min erhalten worden. Bei der benutzten industriellen Anlage liegen die üblicherweise benutzten Werte zwischen 1500 und 6000 m/min.

[0023] Die Querabmessungen des Laserstrahls oder Länge des Flecks, von der/denen die Verweilzeit abhängt, liegen zwischen 1 und 60 mm, vorzugsweise zwischen 5 und 50 mm mit üblichen Werten zwischen 7 und 40 mm.

[0024] Da die Abtastbewegung des Laserstrahls durch die Drehung eines Polygonspiegels erfolgt, der den Strahl auf einen Parabolspiegel lenkt, von welchem er schließlich zum Streifen geschickt wird, hängen die Prozessparameter auch von der Rotationsgeschwindigkeit des Polygonspiegels ab. Daher liegt die Rotationsgeschwindigkeit gemäß der Erfindung zwischen 100 und 10.000 U/min, vorzugsweise jedoch zwischen 600 und 6.000 U/min. Die Prozessparameter können eingestellt werden, um die Verluste oder die Verbesserung der Magnetostriktion zu optimieren, wobei auch kleine Verbesserungen im Wert für die magnetische Permeabilität erhalten werden.

[0025] Da es für die Messung der Magnetostriktion keine Standardverfahren gibt, sind relevante Messungen

in diesem Zusammenhang nach demjenigen Verfahren durchgeführt worden, welches von G. Ban und F. Janosi in „Messsystem und Auswertemethode für das magnetostruktive Verhalten bei Gleichstrom- und Wechselstrom bei der Untersuchung von 3,2-%igen kornorientierten Elektro-Siliziumstählen, Konferenz über weiche magnetische Materialien, SMM 12. Konf. Proc. Journal of Magn. and Magn. Mat. Bd. 160 (1996), 167–170 angegeben wird.

[0026] Die vorliegende Erfindung soll nun unter Bezug auf die folgenden Ausführungsbeispiele, die den allgemeinen Erfindungsgedanken nicht einschränken, ausführlich beschrieben werden.

Beispiel 1

[0027] Ein Stahl mit 3,2 Gew.-% Silizium von der Art, wie er gewöhnlich für die Herstellung von Stahlblech mit guten magnetischen Kenndaten benutzt wird, ist nach den bekannten Verfahren zu Stahlblechen mit einer Stärke von 0,27 mm, bedeckt mit einem herkömmlichen Glühtrennmittel aus MgO, verarbeitet und umgewandelt und in einem Kammerofen geglüht worden.

[0028] Nach den erforderlichen Schlussbehandlungen wurde ein Erzeugnis mit den folgenden magnetischen Kenngrößen erhalten:

P (1,5 T) (W/kg)	P (1,7 T) (W/Kg)	B ₈₀₀ (mT)	$\lambda_{(p-p)}(1,7 \text{ T})$	$\lambda_{(p-p)}(1,9 \text{ T})$
0,71	0,94	1925	$2,73 \cdot 10^{-7}$	$8,48 \cdot 10^{-7}$

[0029] Mit einem Glasfilm und einem Isolierüberzug bedeckte Streifen (einer für die herkömmliche Behandlung und drei für die Behandlung nach der vorliegenden Erfindung) sind mit einem Laserstrahl unter den folgenden Bedingungen bestrahlt worden:

Tabelle 1

Methode der Laser- bestrahlung	Spezifische Bestrahlung s-energie (mJ/mm ²)	Leistung (W)	Abstand zwischen den Linien (mm)	Abtast- geschwindig- keit (m/min)	Verweilzeit (10 ⁻⁴ s)
Herkömmlich	5,80	1800	5,0	4000	3,30
Innovativ	A 2,49	600	4,8	3012	4,38
	B 3,32	600	4,8	3012	4,38
	C 4,15	600	4,8	3012	4,38
	D 30	600	4,8	3012	4,38
	E 0,1	600	4,8	3012	4,38
	F 35	600	4,8	3012	4,38

Demzufolge sind auf den erhaltenen Materialien die magnetischen Kenngrößen, die Rostanfälligkeit entsprechend den bestrahlten Flächen (angegeben als oxidierte Länge in cm pro Meter Spur), die Sichtbarkeit der Spuren des Laserstrahls auf dem Stahlblech (angegeben als Verhältnis zwischen der sichtbaren Länge und der Spurlänge), die Magnetostruktion $\lambda_{(p-p)}$ (als maximale Veränderung der Streifenlänge) gemessen worden. Die gemessenen Werte sind in Tabelle 2 angegeben.

Tabelle 2

	Herkömmlich	Innovativ					
		A	B	C	D	E	F
$\Delta P(1,5T) (\%)$	11,19	5,8	10,5	11,3	10,6	0,8	11,2
$\Delta P(1,7T) (\%)$	12,74	7,4	10,1	10,8	10,9	0,7	12,7
$\Delta B_{800} (mT)$	-7	7	2	0	-3	-1	-7
$\lambda_{(p-p)}(1,7 T) (10^{-7})$	4,38	4,09	2,02	2,32	5,15	4,65	4,39
$\lambda_{(p-p)}(1,9 T) (10^{-7})$	8,58	5,15	5,76	7,37	10,6	4,80	8,59
Korrosion in 1 % NaCl	100	8	0	0	60	0	100
Sichtbarkeit der Spuren (%)	1	0	0	0,5	0,75	0	1

Beispiel 2

[0030] Ein Streifen ist auch unter Veränderung der Verweilzeit behandelt worden. Die den Versuch betreffenden Daten sind in der folgenden Tabelle 3 wiedergegeben. Es ist klar, dass hier eine starke Abhängigkeit der magnetischen Qualität des Enderzeugnisses von der Verweilzeit vorliegt, insbesondere weisen all die in Betracht gezogenen magnetischen Kenngrößen nur in einigen Fällen eine Verbesserung auf.

[0031] Obwohl die Verweilzeit innerhalb der festgelegten Werte lag, war es für die Streifen G und H in der speziellen Anlage nicht möglich, weitere Parameter wie die Geschwindigkeit des Streifens und die Abtastgeschwindigkeit des Laserstrahls bestmöglich einzustellen.

[0032] Für die Streifen I und J sind für all die in Betracht gezogenen magnetischen Kenngrößen gute Ergebnisse erhalten worden.

[0033] Schließlich sind für die Streifen K und L, auch wenn Nullwerte hinsichtlich der Spurensichtbarkeit und der Korrosion erhalten wurden, kleine und auch negative Verbesserungen im Zusammenhang mit den Verlusten, negative Verbesserungen in Bezug auf die Permeabilität und zu hohe Werte für die Magnetostraktion beobachtet worden.

Tabelle 3

	Probe					
	G	H	I	J	K	L
Verweilzeit (s)	$4,04 \cdot 10^{-5}$	$9,71 \cdot 10^{-5}$	$5,93 \cdot 10^{-4}$	$1,02 \cdot 10^{-3}$	$2,74 \cdot 10^{-3}$	$3,56 \cdot 10^{-3}$
ΔP (%) (1,5T)	9,7	7,0	5,1	5,1	0,5	1,3
ΔP (%) (1,7T)	12,3	11,2	7,9	7,9	0,9	-0,1
ΔB_{800}	10,4	5,6	2,6	2,6	-3,4	-9,4
$\lambda_{(p-p)}(1,7 \text{ T})$	2,8	2,0	2,7	2,7	7,2	9,0
$\lambda_{(p-p)}(1,9 \text{ T})$	8,6	6,6	7,8	7,8	11,4	16,6
Sichtbarkeit der Spuren (%)	1	0	0	0	0	0
Korrosion in 1 % NaCl	100	20	0	0	0	0

Beispiel 3

[0034] Ein Streifen, der wie im Beispiel 1 behandelt worden ist, wurde einer weiteren Bearbeitung durch Änderung des Abstands zwischen den Spuren unterzogen. In diesem Streifen betrug die Durchschnittsgröße des Korns in der Walzrichtung 8,53 mm mit einer Streuung von 30%. Die erhaltenen Ergebnisse sind in Tabelle 4 dargestellt. In diesem Fall kann man auch feststellen, dass akzeptable Werte über das gesamte untersuchte Feld innerhalb der für die Betriebsparameter festgelegten Grenzen (mit Ausnahme der Magnetostraktion mit einem Minimalwert für die Proben P und Q) erhalten werden und dass optimale Werte für einen Abstand zwischen den Linien, der zwischen 7 und 8 mm, d. h. 8 – 18% niedriger als die durchschnittliche Größe des Korns liegt, erhalten werden können.

Tabelle 4

	Probe							
	M	N	O	P	Q	R	S	T
Abstand zwischen den Spuren (mm)	4	5	6	7	8	9	11	13
ΔP (1,5 T) (%)	12,6	12,8	11,9	13,0	16,4	13,2	9,3	11,1
ΔP (1,7 T) (%)	13,5	11,4	11,8	14,5	14,1	12,0	8,9	10,0
ΔB_{800}	3,2	3,7	4,8	8,1	9,4	3,1	5,0	5,3
$\lambda_{(p-p)}(1,7 \text{ T}) (10^{-7})$	8,6	7,0	5,0	3,2	2,2	11,0	10,0	9,0
$\lambda_{(p-p)}(1,9 \text{ T}) (10^{-7})$	13,3	12,0	9,2	5,4	4,8	14,0	14,1	13,2
Sichtbarkeit der Spuren (%)	0	0	0	0	0	0	0	0
Korrosion in 1 % NaCl	0	0	0	0	0	0	0	0

Beispiel 4

[0035] Erfindungsgemäß wurde die Magnetostriktion vor und nach der Laserbehandlung auf einem Stahlstreifen 0 mit einem Polarisationsfeld zwischen 0,8 und 1,9 T gemessen.

[0036] Die erhaltenen Ergebnisse sind in Tabelle 5 dargestellt.

Tabelle 5

	Vor der Laserbehandlung	Nach der Laserbehandlung
Polarisation T	Magnetostriktion $\lambda_{(p-p)}$ (10^{-7})	
0,80	1,7	1,4
1,00	2,3	1,9
1,20	3,5	2,3
1,30	4,2	2,2
1,40	4,6	2,6
1,50	5,2	3,0
1,60	6,0	3,0
1,65	6,5	3,1
1,70	7,0	3,2
1,75	7,6	3,6
1,80	7,9	4,1
1,85	8,2	5,0
1,90	11,6	8,4
1,95	12,3	10,4

Patentansprüche

1. Verfahren zur Verbesserung der magnetischen Kenndaten von kornorientierten elektrischen Siliziumstahlblechen durch Laser-Behandlung, bei welchem ein kornorientierter Streifen aus Siliziumstahl, der bereits dem sekundären Rekristallisationsglühen unterzogen und mit einem Isolierüberzug versehen worden ist, mit einem kontinuierlichen CO₂-Emissionslaser mit einer Wellenlänge von 10,46 μm behandelt wird, um den Streifen, der sich in einer im Allgemeinen zur Bewegungsrichtung dieses Streifens quer verlaufenden Richtung bewegt, kontinuierlich abzutasten, **dadurch gekennzeichnet**, dass die folgenden, vorher gewählten Verfahrensparameter wie spezifische Energiedichte, Verweilzeit und Abstand zwischen zwei aufeinanderfolgenden Spuren des Laserstrahls auf dem Stahlblech innerhalb der Bereiche von 0,1 bis 25 mJ/mm^2 , 1×10^{-6} bis 1×10^{-2} bzw. 2 bis 12 mm gleichzeitig und kontinuierlich eingestellt werden, um eine Optimierung von mindestens einer der magnetischen Kenngrößen des Streifens, nämlich Magnetostriktion, Induktion und Kernverluste, die vor und nach der Laserstrahlbehandlung kontinuierlich gemessen werden, zu erzielen und den genannten Überzug nicht zu beschädigen.

2. Verfahren gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die spezifische Energiedichte zwischen 2 und 8 mJ/mm^2 liegt.

3. Verfahren gemäß Anspruch 2, bei welchem die spezifische Energiedichte zwischen 3 und 5 mJ/mm^2 liegt.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Verweilzeit zwischen 1×10^{-5} und 1×10^{-3} s liegt.

5. Verfahren gemäß Anspruch 4, bei welchem die Verweilzeit zwischen 1×10^{-4} und 8×10^{-4} s liegt.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Abstand zwischen zwei aufeinanderfolgenden Linien im Bereich zwischen 3,5 und 8 mm gehalten wird.

7. Verfahren gemäß Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass der Abstand zwischen zwei aufeinanderfolgenden Linien auf einem Wert gehalten wird, der um 10 bis 20% niedriger ist als die durchschnittliche Korngröße.

8. Verfahren gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Werte der folgenden weiteren Verfahrensparameter (i) Abtastgeschwindigkeit des Laserstrahls, (ii) Querabmessung des Laserstrahlflecks und (iii) Rotationsgeschwindigkeit des Polygonspiegels des optischen Lasersystems zwischen 800 und 10.000 m/min, 1 und 60 mm bzw. 100 und 10.000 U/min. liegen.

9. Verfahren gemäß Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Abtastgeschwindigkeit zwischen 1500 und 6000 m/min liegt.

10. Verfahren gemäß Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Querabmessungen des Laserstrahls zwischen 5 und 50 mm liegen.

11. Verfahren gemäß Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Querabmessungen zwischen 7 und 40 mm liegen.

12. Verfahren gemäß Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Rotationsgeschwindigkeit des genannten Polygonspiegels zwischen 600 und 6.000 U/min liegt.

Es folgt kein Blatt Zeichnungen