

(12)

Österreichische Patentanmeldung

(21)

Anmeldenummer:

A 177/2019

(22)

Anmeldetag:

15.05.2019

(43)

Veröffentlicht am:

15.11.2020

(51)

Int. Cl.:

G01R 33/12 (2006.01)

(56)

Entgegenhaltungen:

GB 824773 A
PFÜTZNER H., SCHÖNHUBER P.: "On the problem of the field detection for single sheet testers." In: IEEE Transactions on Magnetics, Band 27, Ausgabe 2, 03.1991, S. 778–785, DOI: 10.1109/20.133291
JP 2006258480 A
AT 520391 A1

(71)

Patentanmelder:

VIENNAMAGNETICS GMBH
1020 Wien (AT)

(72)

Erfinder:

Pfützner Helmut Dr.
5640 Bad Gastein (AT)
Shilyashki Georgi Dr.
1220 Wien (AT)

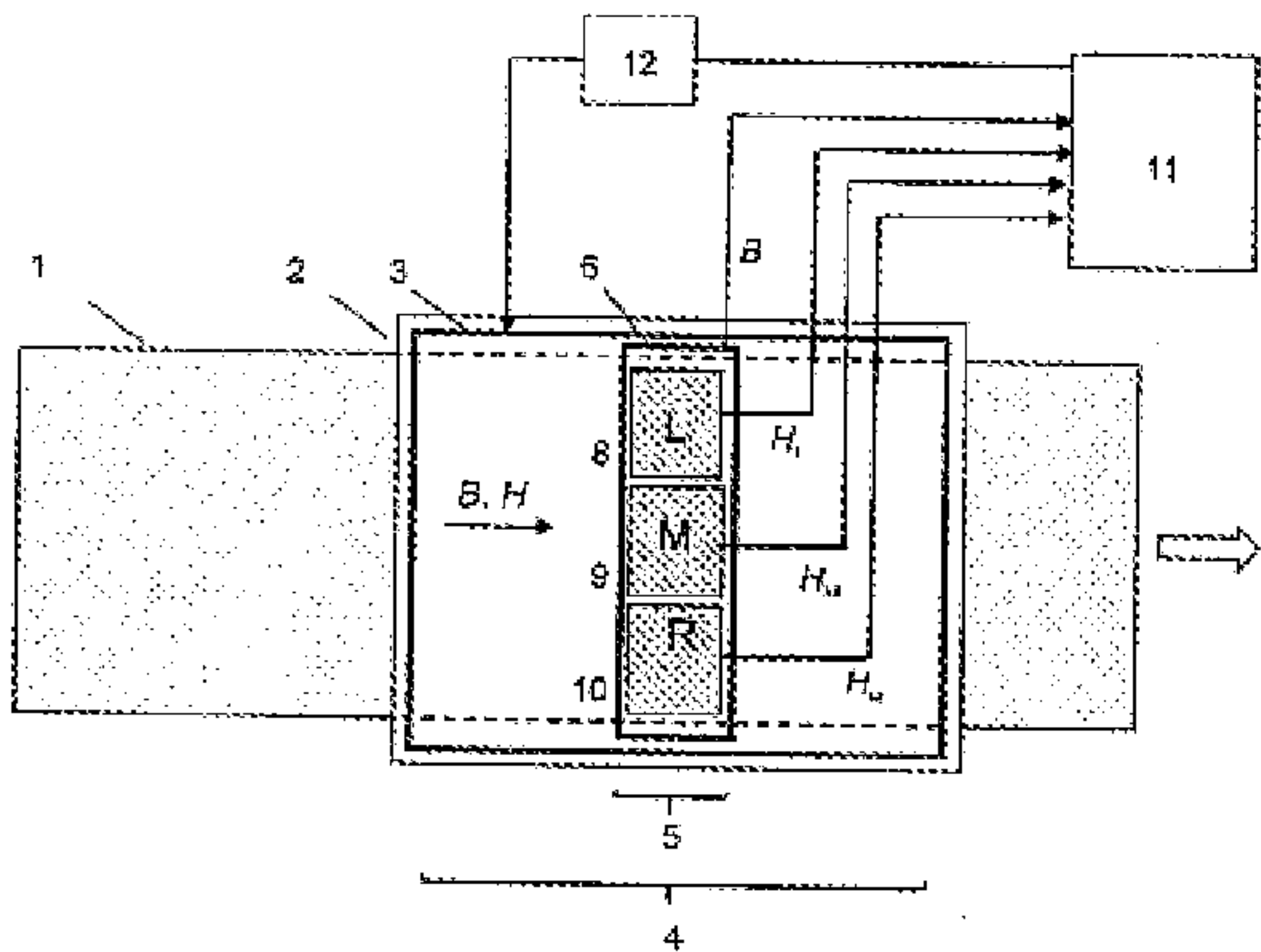
(54)

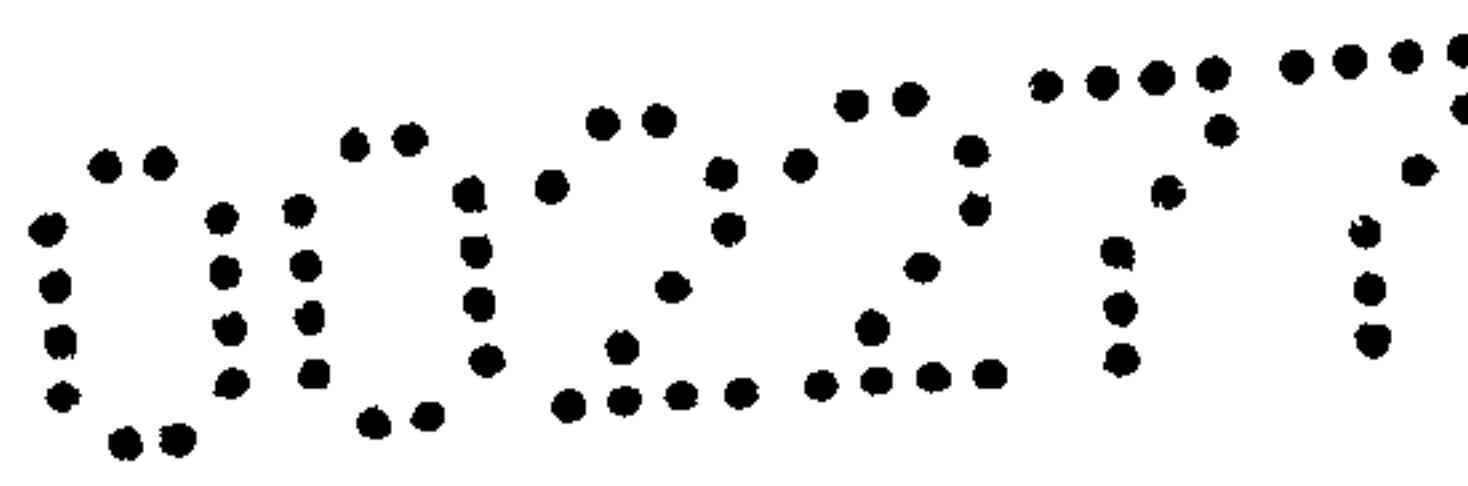
Vorrichtung zur Erfassung von Verlusten und Inhomogenitäten von Elektroblechen ohne Probennahme

(57)

Zu Bestimmungen magnetischer Verluste und Inhomogenitäten von Elektroblechen ohne Probennahme ist das Blech (1) durch eine einen Magnetisierungsabschnitt (3) umfassende, über Regelung mit einem Computer (11) angespeiste Magnetisierungsspule (3) einer regionalen Magnetisierung ausgesetzt. In einem kurzen, zentralen Messabschnitt (5) praktisch konstanter Magnetisierung erfolgt eine Bestimmung der Induktion über eine B-Spule (6) und in konsistenter Weise eine der Feldstärke über in Serie geschaltete H-Spulen (8), (9) und (10). Die regionalen Verluste werden aus der Verknüpfung von Feld und Induktion berechnet. Inhomogenitäten in Blech-Querrichtung werden aus den Einzelsignalen der H-Spulen (8), (9) und (10) erkannt, solche in Längsrichtung aus Schwankungen von Feld bzw. Verlusten für nach Blechverschiebungen in verschiedenen Regionen vorgenommene Messungen.

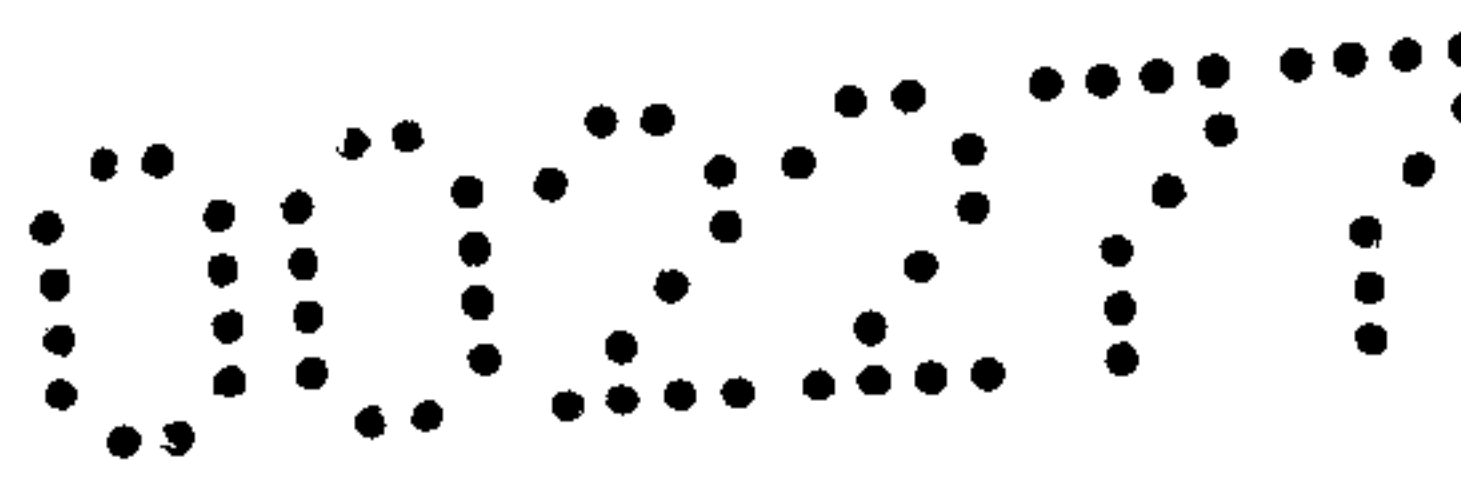
Abb.3





ZUSAMMENFASSUNG

Zu Bestimmungen magnetischer Verluste und Inhomogenitäten von Elektroblechen ohne Probennahme ist das Blech (1) durch einen Magnetisierungsabschnitt (3) umfassende, über Regelung mit einem Computer (11) angespeiste Magnetisierungsspule (3) einer regionalen Magnetisierung ausgesetzt. In einem kurzen, zentralen Messabschnitt (5) praktisch konstanter Magnetisierung erfolgt eine Bestimmung der Induktion über eine B-Spule (6) und in konsistenter Weise eine der Feldstärke über in Serie geschaltete H-Spulen (8), (9) und (10). Die regionalen Verluste werden aus der Verknüpfung von Feld und Induktion berechnet. Inhomogenitäten in Blech-Querrichtung werden aus den Einzelsignalen der H-Spulen (8), (9) und (10) erkannt, solche in Längsrichtung aus Schwankungen von Feld bzw. Verlusten für nach Blechverschiebungen in verschiedenen Regionen vorgenommene Messungen.



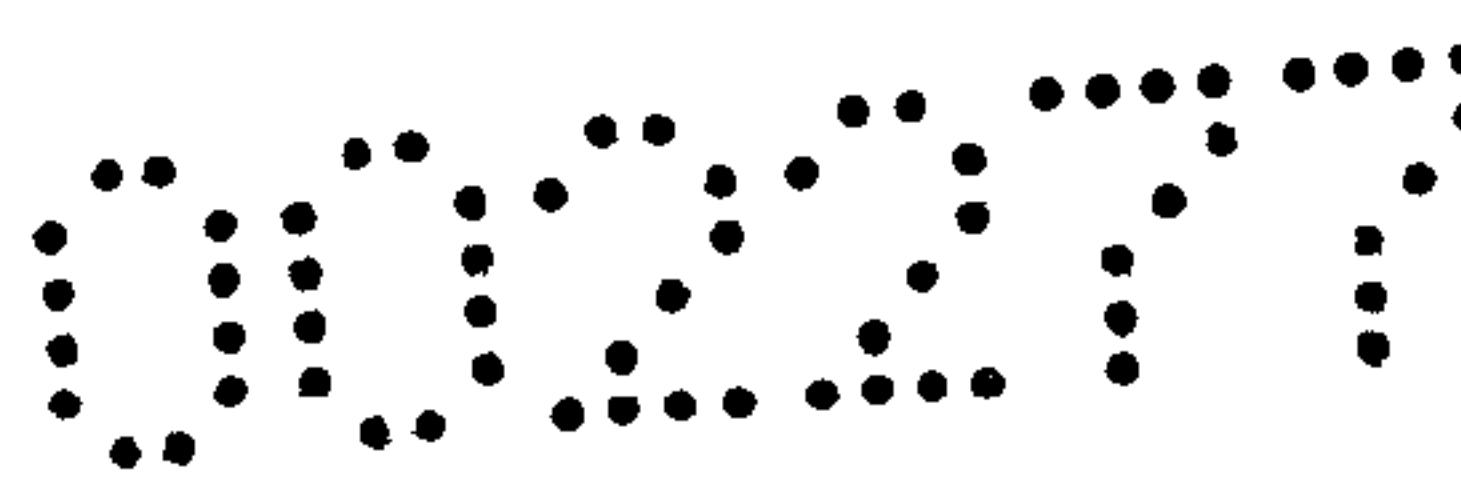
Vorrichtung zur Erfassung von Verlusten und Inhomogenitäten von Elektroblechen ohne Probennahme

(eingereichte Version von 2019 05 08)

Weichmagnetische Elektrobleche werden in verschiedenen Breiten hergestellt, welche die Größenordnung von 1,5 Metern erreichen können. Die wichtigsten magnetischen Kenngrößen sind die Ummagnetisierungsverluste P und die Permeabilität μ , als Verhältnis von Induktion B und der Feldstärke H . Für die industrielle Produktion und Anwendung ist von besonderer Bedeutung, dass das Elektroblech möglichst homogen aufgebaut ist, indem jeder Region unter anderem gleiche Verluste und auch gleiche Dicke zukommen. Alleine durch unvermeidbare Toleranzen von Walzvorgängen kann es zu relativ starken Dickenänderungen kommen, was sich in einer Inhomogenität auch der magnetischen Eigenschaften äußert. Die Folge sind Streuungen der Kennwerte innerhalb eines Bleches - als Rolle oder Tafel -, aber auch globale Unterschiede zwischen individuellen Blechen. Dies macht Qualitätskontrollen notwendig, die bedeutende Zeitaufwände und Kosten bedeuten können.

Qualitätskontrollen der typischerweise 0.2 mm bis 0.5 mm dicken Bleche geschehen unter Anwendung von zwei international standardisierten Messverfahren. Das ältere Verfahren ist der Epstein-Tester. Dabei werden vier Bündel von 0.28 m x 0.03 m großen Materialstreifen zu einem quadratischen "Epsteinrahmen" geschlichtet. Er wird durch vier Magnetisierungsspulen (M-Spulen) magnetisiert. Durch vier Induktionsmessspulen (B-Spulen) wird der zeitliche Induktionsverlauf $B(t)$ bestimmt. Der Verlauf $H(t)$ der Feldstärke wird zum Magnetisierungsstrom $i(t)$ linear proportional angenommen, was tatsächlich aber nur in Näherung gilt. Mit einem Wattmeter werden die gesamten magnetischen Energieverluste über die Verknüpfung von Induktionsspannung und Strom gemessen, und daraus die spezifischen Verluste P des Materials berechnet. Die erzielte Genauigkeit ist beschränkt, da die Verluste der Rahmenecken vom Materialtyp abhängen.

Parallel zum Epstein-Tester wird der ebenfalls standardisierte Single Sheet Tester verwendet. Beim Letzteren wird eine 0.5 m x 0.5 m große Probe durch ein Magnetjoch magnetisiert, von dem angenommen wird, dass es einen verlustfreien, vollkommenen Rückschluss liefert. Die Verlustbestimmung erfolgt analog zum Fall des Epstein-Testers. Die absolute Genauigkeit ist auch hier unbekannt. Sie gilt allerdings als besser, da die Verluste des

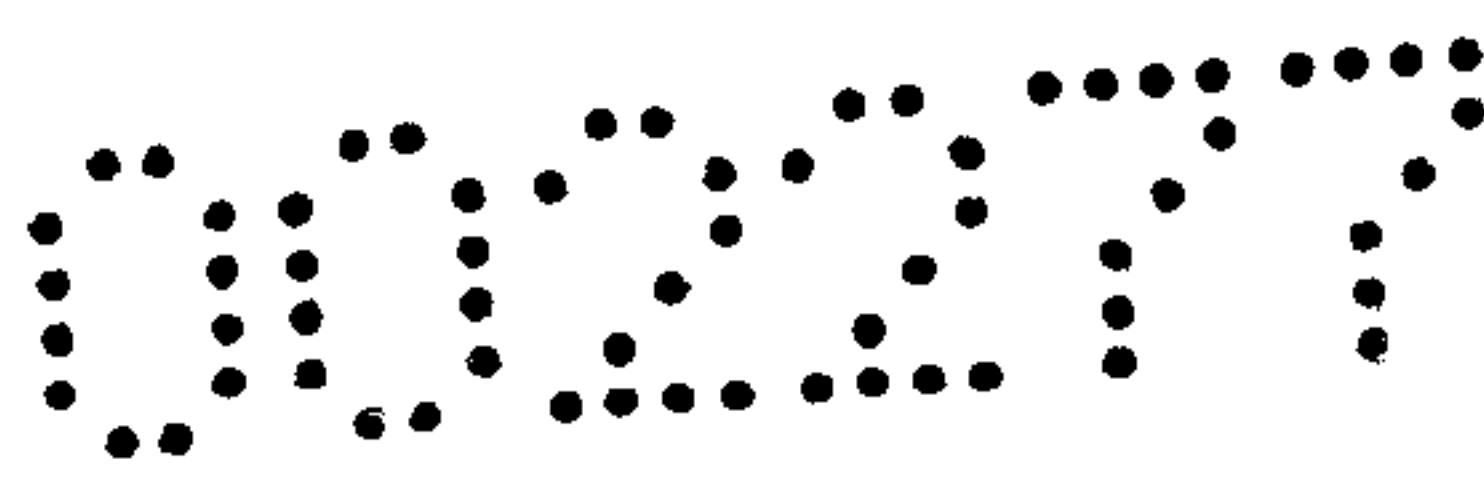


Joches durch seine äußerst massive Ausführung - mit Massen von mehreren hundert Kilogramm - stark begrenzt werden.

Die beiden standardisierten Verfahren haben den Vorteil sehr hoher Reproduzierbarkeit der wattmetrischen Messung. Andererseits haben sie den Nachteil, dass das Eingehen der Ecken beziehungsweise des Joches vom untersuchten Materialtyp abhängt, was nicht korrigierbare systematische Fehler ergibt. Weitere Nachteile ergeben sich aus dem benötigten Schneiden der Proben, wobei Schnittkanten und mechanische Verspannungen zu veränderten lokalen Materialeigenschaften führen können. Letztlich verbleibt auch die Frage, ob die derartig bereitete Probe für das Produkt repräsentativ ist, und ob nicht weitere Proben zu nehmen sind.

Schon vor Jahrzehnten wurden so genannte Ganztafel-Messgeräte entwickelt (s. z.B. G.Wollweber: Ermittlung von Ummagnetisierungsverlusten an Elektroblechen mit einem Ganztafel-Messgerät, 1957). Es handelt sich um Versuche, Messungen der Verluste ohne Probennahme vorzunehmen - sowohl an großen Blechtafeln, als auch am laufenden Band, im Rahmen des Produktionsprozesses. Auch dabei werden wattmetrische Messungen eingesetzt, als Hauptgrund dafür, dass die Messergebnisse auf Zwecke des Vergleiches und der Erkennung von regionalen, in Längsrichtung auftretenden Abweichungen vom Sollverhalten eingeschränkt sind. Die absolute Genauigkeit hingegen ist noch schlechter als bei standardisierten Verfahren.

In neuerer Zeit wurde vor allem von japanischen Forschern erkannt, dass wattmetrische Messungen prinzipiell ungeeignet sind, korrekte Verlustwerte zu bestimmen. Als alternative, physikalisch korrekte Methode wurden Tangentialfeldspulen (sogenannte H-Spulen) zur direkten Bestimmung der Feldstärke $H(t)$ eingeführt. Außerhalb Japans blieb diese Methode aber ohne Akzeptanz. Von Seiten der Standardisierung wird argumentiert, dass H-Spulen mechanische Beständigkeit fehlt und die Signale schwach und unverlässlich wären. Dagegen wurde schon vor langem in Pfützner et al.: IEEE Trans.Magn.27, 778-785 (1991) aufgezeigt, dass Single Sheet Tester mit 0.5 m breiten H-Spulen tatsächlich sehr stabile Resultate liefern. Auch hier verbleiben aber die Nachteile der Probennahme und die fragliche Repräsentativität einer Probe für das gegebene Blechprodukt.



Ziel der vorliegenden Erfindung ist es, eine Vorrichtung anzugeben, die alle oben erwähnten Nachteile bekannter Verfahren in weitgehender Weise vermeidet. Dies wird erzielt, indem das unzerteilte Blech ohne Probennahme über Verschieben in mehreren beschränkten Magnetisierungsabschnitten durch eine Magnetisierungsspule magnetisiert wird, in einem kurzen, zentralen Messbereich definierter sinusförmiger Induktionsverlauf eingeregelt wird, der entsprechende Feldstärkeverlauf in konsistenter Weise durch mehrere in Serie geschaltete H-Spulen bestimmt wird, und die Verluste aus der Verknüpfung von Induktion und Feld berechnet werden.

Das obige Konzept hat den Vorteil wenig aufwändiger Realisierbarkeit, nachdem die an den Magnetisierungsabschnitt zu beiden Seiten angrenzenden Blechregionen als "virtuelle" Joche fungieren, womit ein massives Rückschlussjoch entfallen kann. Voraussetzung ist aber, dass die Länge des Magnetisierungsabschnitts über der Breite des Bleches liegt. Um die Abmessungen der Vorrichtung zu verringern, ist für sehr hohe Blechbreiten als Option ein Rückschlussjoch vorgesehen, das die beiden den Magnetisierungsabschnitt begrenzenden Bandregionen außerhalb der Magnetisierungsspule miteinander verbindet. Bei Fertigung aus kristallinem oder amorphen Material liegt seine Dicke um eine Größenordnung über der Blechdicke. Anders als bei standardisierten SSTs hat es aber nur eine das "virtuelle Joch" unterstützende Funktion, ohne Forderung nach Verlustfreiheit.

Inhomogenität des Produktes kann dazu führen, dass der kurze Messabschnitt für eine effektive Charakterisierung der Blechqualität zu kurz ist. Erfindungsgemäß wird dem begegnet, indem die Verluste über mehrere nach Blechverschiebungen vorgenommene Messungen gemittelt werden. Ohne großen Aufwand liefern unterschiedliche Resultate der Teilmessungen Hinweise auf eine Inhomogenität des Produktes in seiner Längsrichtung.

Um eine physikalisch korrekte Messung zu gewährleisten, sind $B(t)$ und $H(t)$ in für jeden Messabschnitt in konsistenter Weise zu erfassen. Dazu wird um den Messabschnitt eine Induktionsmessspule (B-Spule) angeordnet. Zur Erfassung des Feldes kann unmittelbar an der Blechdeckfläche eine einzige H-Spule angeordnet sein, welche exakt denselben Teilabschnitt der Probe bedeckt. Erfindungsgemäß werden aber vorzugsweise statt nur einer H-Spule mehrere in Serie geschaltete H-Spulen über die ganze Blechbreite so verteilt, dass sie de facto den gesamten Messabschnitt bedecken. Bezüglich der Verluste führt dies zum selben Resultat, ohne Vor- oder Nachteil. Die Aufteilung ermöglicht aber getrennte Bestimmungen des Feldes

für die einzelnen H-Spulen und damit für die entsprechenden Unter-Teilabschnitte des Messabschnitts. Um direkte Vergleichbarkeit zu garantieren, werden vorzugsweise durch automatische Drucktechnik gefertigte Spulen eingesetzt, womit definierter konstanter Gesamtwindungsquerschnitt gegeben ist. Neben einer Kontrolle von Inhomogenität in Längsrichtung des Bleches wird somit auch eine in Querrichtung ermöglicht. Dazu sei vermerkt, dass sich Inhomogenitäten des Materials erfahrungsgemäß durch äußerst starke Inhomogenitäten des Feldes abzeichnen und somit aus ihm mit höchster Empfindlichkeit detektiert werden können.

Die Bilder skizzieren eine mögliche Ausführung des Verfahrens für eine 1 m betragende Blechbreite. Abb.1 skizziert eine Ansicht des Testers, in Blech-Längsrichtung gesehen, Abb.2 eine in Querrichtung betrachtet. Das über Rollenführung eben gehaltene Blech 1 ist in eine auf einen Spulenkörper 2 gewickelte, etwa 1 m lange M-Spule 3 eingeführt. Als günstige Variante weist die Letztere eine lichte innere Weite von 1.01 m auf und eine lichte innere Höhe von 0.01 m. Abb.3 zeigt eine schematische Draufsicht, mit Andeutung des Bleches 1, sowie der verschiedenen an ihr anfallenden Spulen.

Während der Magnetisierungsabschnitt 4 des Bleches 1 also 1 m beträgt, beschränkt sich die Bestimmung der Verluste P auf einen viel kürzeren Messabschnitt 5. Er ist mit einer Länge von 0.2 m angesetzt, die einerseits klein genug ist, um praktisch homogene Induktion zu bieten, andererseits groß genug, um ausreichende Mittelung über die kristalline Struktur zu garantieren. Zur Erfassung des Induktionsverlaufes $B(t)$ liegt hier unter der M-Spule 3 eine einlagig gewickelte B-Spule 6 mit Abmessungen von 0.2 m Länge, ca. 1.02 m Breite und 0.03 m mittlerer Höhe. Abb.2 skizziert die Option eines Rückschlussjoches 7, das eine schleifende magnetische Verbindung zwischen dem Anfang und dem Ende des Magnetisierungsabschnittes 4 herstellt.

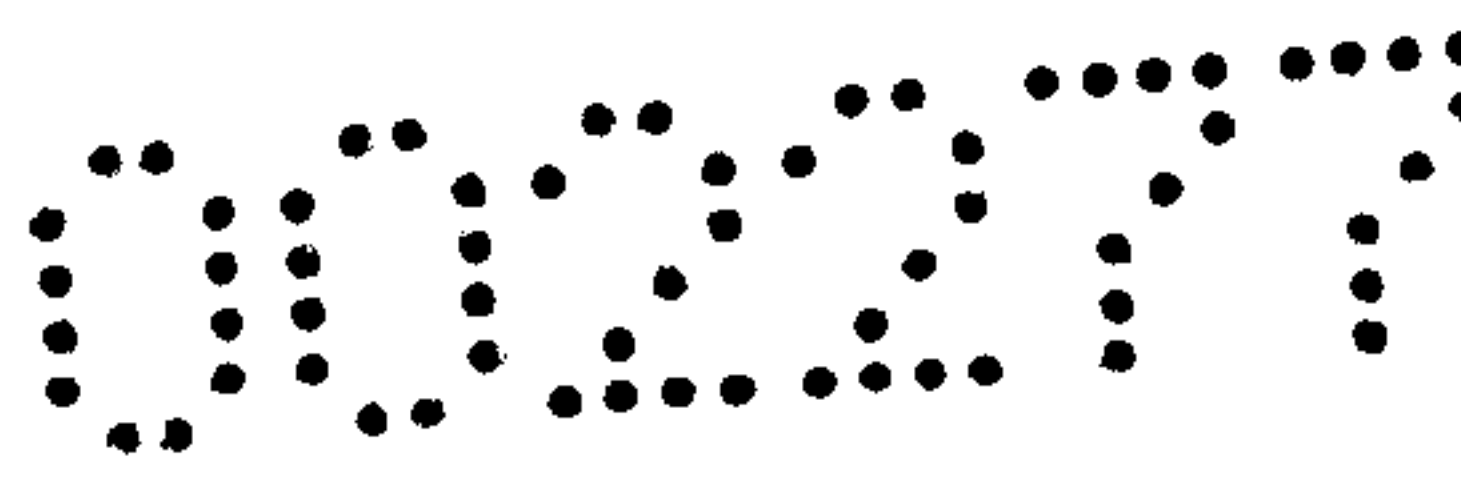
Abb.3 skizziert auch die Lage von drei H-Spulen 8, 9 und 10 mit jeweiligen Abmessungen von 0.2 m Länge, 0.3 m Breite und 0.002 m effektiver Höhe. Sie sind über die Blechbreite gleichmäßig mit Positionen links (L), Mitte (M) und Rechts (R) verteilt und liefern lokale Feldstärkeverläufe $H_L(t)$, $H_M(t)$ und $H_R(t)$.

Den Größen $B(t)$, $H_L(t)$, $H_M(t)$ und $H_R(t)$ entsprechende Spannungssignale werden über ein Kabel einem Computer 11 zugeführt. In bekannter Funktionsweise einer Rückkopplung regelt

5

er über einen Leistungsverstärker 12 die Spannung der M-Spule 3, entsprechend einer sinusförmigen Spannung der B-Spule 6 und somit auch sinusförmigen Induktionsverlaufes $B(t)$ des Messabschnittes 5 des Bleches. Für diesen optimierten Zustand werden die Verluste P vom Computer 11 durch auf eine Periode erstreckte Mittelung über das Produkt $H(t) \cdot dB/dt$ berechnet, mit $H(t) = [H_L(t) + H_M(t) + H_R(t)] / 3$.

Die Erkennung von Material-Inhomogenitäten in Längsrichtung erfolgt durch Messung in verschiedenen Teilabschnitten und Vergleich der entsprechenden Verlustwerte P und Feldstärkespitzenwerte H_s . Die Erkennung von Inhomogenitäten in Querrichtung für einen bestimmten Messabschnitt 5 erfolgt aus Vergleichen der Spitzenwerte $H_{L,s}$, $H_{M,s}$ und $H_{R,s}$ der von den drei H-Spulen 8, 9 und 10 für die Positionen L, M und R gelieferten Feldstärke.



ANSPRÜCHE

1. Vorrichtung zur Bestimmung der magnetischen Verluste von Elektroblechen ohne Probenahme, *dadurch gekennzeichnet*, dass das unzerteilte Blech 1 über Verschieben in mehreren beschränkten Magnetisierungsabschnitten (4) durch eine Magnetisierungsspule (3) magnetisiert wird, in einem kurzen, zentralen Messabschnitt (5) definierter sinusförmiger Induktionsverlauf eingeregelt wird, der entsprechende Feldstärkeverlauf in konsistenter Weise durch mehrere in Serie geschaltete H-Spulen (8),(9) und (10) bestimmt wird, und die Verluste durch einen Computer (11) aus der Verknüpfung von Induktion und Feld berechnet werden.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, *dadurch gekennzeichnet*, dass die am Anfang beziehungsweise am Ende des Magnetisierungsabschnittes (4) gelegenen Blechbereiche als Option durch ein schleifend kontaktiertes Rückschlussjoch (7) verbunden sind.
3. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 und 2, *dadurch gekennzeichnet*, dass zur Erkennung von Inhomogenitäten in Querrichtung Unterschiede der Signale der Tangentialfeldspulen (8), (9) und (10) angezeigt werden und in Längsrichtung für verschiedene Messabschnitte (5) gemessene Signale angezeigt werden.

