

(12) **Österreichische Patentanmeldung**

(21) Anmeldenummer: A 359/2017
(22) Anmeldetag: 07.09.2017
(43) Veröffentlicht am: 15.03.2019

(51) Int. Cl.: **G01R 33/12** (2006.01)

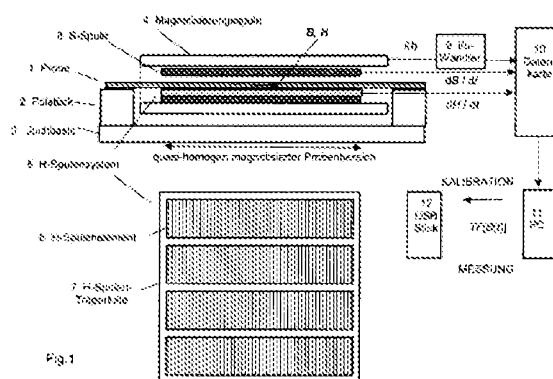
(56) Entgegenhaltungen:
JP H03221886 A
JP 2006258480 A
JP 2017142088 A

(71) Patentanmelder:
Pfützner Helmut Dr.
5640 Bad Gastein (AT)

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

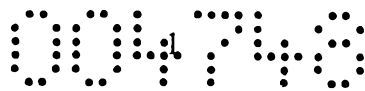
(54) **Verfahren zur physikalisch korrekten Messung von Ummagnetisierungsverlusten**

(57) Zur Messung von Ummagnetisierungsverlusten weichmagnetischer Lamine dienen vor allem so genannte Single Sheet Tester (SST), bei denen eine Materialprobe über ein massives Joch magnetisiert wird. Mittels Wattmeter werden aus Magnetisierungsstrom und Induktionsspannung die Gesamtverluste gemessen. Anhand der empirisch abgeschätzten effektiven Weglänge wird auf den Verlustanteil der Probe geschlossen. Für weniger Aufwand und exaktere Messung gibt die Erfindung ein durch dünne Jochbasis (3) gekennzeichnetes Verfahren an, bei dem die Feldstärke mit durch doppelseitig kaschierter Printtechnik definiert gefertigten Spulenelementen (6) erfasst wird. Bei einer Variante dienen diese Spulen nur zur Bestimmung von Transferfaktorfunktionen, welche den hier tatsächlich erfassten Magnetisierungsstromverlauf in den entsprechenden Feldstärkeverlauf transferieren.



Zusammenfassung

Zur Messung von Ummagnetisierungsverlusten weichmagnetischer Lamine dienen vor allem so genannte Single Sheet Tester (SST), bei denen eine Materialprobe über ein massives Joch magnetisiert wird. Mittels Wattmeter werden aus Magnetisierungsstrom und Induktionsspannung die Gesamtverluste gemessen. Anhand der empirisch abgeschätzten effektiven Weglänge wird auf den Verlustanteil der Probe geschlossen. Für weniger Aufwand und exaktere Messung gibt die Erfindung ein durch dünne Jochbasis (3) gekennzeichnetes Verfahren an, bei dem die Feldstärke mit durch doppelseitig kaschierter Printtechnik definiert gefertigten Spulenelementen (6) erfaßt wird. Bei einer Variante dienen diese Spulen nur zur Bestimmung von Transferfaktorfunktionen, welche den hier tatsächlich erfaßten Magnetisierungsstromverlauf in den entsprechenden Feldstärkeverlauf transferieren.

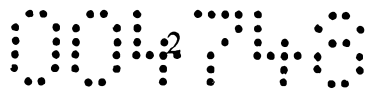


Verfahren zur physikalisch korrekten Messung von Ummagnetisierungsverlusten

Die Patentschrift betrifft ein Verfahren zur Messung von Ummagnetisierungsverlusten weichmagnetischer Materialien unter Einsatz eines Single Sheet Testers (SST). Beim herkömmlichen, nach IEC-Standard 60404-3 genormten SST (im Weiteren "IEC-SST") wird eine rechteckige, vorzugsweise 500 mm x 500 mm große, dünne Materialprobe durch ein doppeltes Magnetjoch zu einem geschlossenen Magnetkreis ergänzt. Die Gesamtverlustleistung P des Magnetkreises wird Wattmetrisch aus der Induktionsspannung u und dem Magnetisierungsstrom i bestimmt, im Rahmen der „Strom-Methodik“ (engl. MC-Method, magnetization current). Über eine empirisch bestimmte, so genannte effektive Weglänge l_m wird jener Verlustanteil abgeschätzt, welcher alleine der Materialprobe zukommt. Normgemäß wird angenommen, daß die Verluste des Magnetjoches vernachlässigt werden können. Angenommen wird $l_m = 450$ mm, was dem freien Bereich der Probe entspricht. Vernachlässigt werden damit sowohl die Verluste des Magnetjoches als auch die der damit kontaktierten Probenenden.

Um die Jochverluste äußerst gering zu halten, wird ein Doppeljoch angesetzt, dessen Dicke mit insgesamt 50 mm die Probendicke der Größenordnung 0.3 mm um zwei Größenordnungen überschreitet. Der Tester fällt damit äußerst massiv aus, mit Massen von hunderten Kilogramm - gegenüber einer Probenmasse von nur einem Kilo. Bei Einsatz hydraulischer Bewegung des oberen Jochteils ergibt sich ein schwer zu transportierendes, komplexes System sehr hoher Erstehungskosten.

Trotz des hohen Aufwandes liefern standardisierte, nach der Strom-Methodik betriebene Tester nur näherungsweise Resultate der Verluste V , die in Watt pro Kilogramm als Funktion des Spitzenwertes B_s der Induktion B angegeben werden. Als eine Fehlerquelle können moderne Probenmaterialien in Augenblicken mittlerer Induktionsbereiche (B nahe 1 T) sehr starke Anisotropie aufweisen. Damit wird der Fluß durch die Probe in den Einspannbereich der Joche hinein getragen, und die



Verluste der Probenenden sind nicht vernachlässigbar. Umgekehrt kann in Augenblicken hoher Werte B Streufluß hin zum Joch auftreten. Die somit tatsächlich zeitabhängige, effektive Probenlänge reduziert sich damit, und damit auch der gemessene Gesamtverlust. Eine Erhöhung hingegen resultiert aus planaren Wirbelstromverlusten der Probenenden, durch die senkrechte Flußeinkopplung von Seiten der Joche.

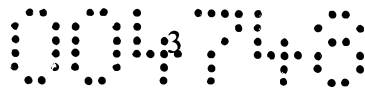
Die aus den Fehlerquellen resultierenden absoluten Meßfehler sind kaum bekannt, da ein „golden Standard“ nicht existiert. Bezeichnend ist aber, daß gegenüber dem zweiten international standardisierten Verfahren, dem Epstein Tester (IEC Standards 60404-2), Abweichungen der Meßergebnisse um bis zu etwa 10% auftreten können (z.B. Prz.Elekt. / El.Review 89, pp.1-3, 2013).

Wegen der offensichtlichen physikalischen Fehlerhaftigkeit der standardisierten Strom-Methodik wird speziell in Japan seit langem auch die „Feld-Methodik“ verwendet, bei der die indirekte Bestimmung der Verluste V aus der über u und i ermittelten Gesamtverlustleistung P entfällt. Vielmehr werden in direkter, gezielter Weise die Verluste alleine der Probe aus den beiden Feldgrößen, der Induktion B und der Feldstärke H des freien Probenabschnitts bestimmt. In physikalisch klarer Weise liefern bekanntlich die Maxwell-Gleichungen (bzw. das Theorem von Poynting) die Verluste proportional zu einem einfachen Integral über die Periodendauer T einer Magnetisierungsperiode, entsprechend dem Ausdruck

$$V = 1/(\rho \cdot T) \cdot \int_0^T H(t) \cdot dB/dt \cdot dt \quad (1)$$

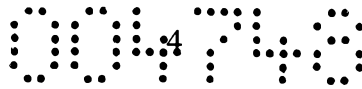
(mit ρ Dichte des Probenmaterials).

Bei allen Methoden wird die Induktion B über eine Induktionsspule detektiert, welche den gesamten freien Probenbereich in voller Breite umschließt. Bei der Feld-Methodik wird die Feldstärke H über eine Tangentialfeldspule (als „H-Spule“) detektiert (s. Revision of IEC Publ. 404-3 "Methods of measurement of the magnetic properties of magnetic sheet and strip by means of a single sheet tester," Draft IEC 68(Sec)59, 1988; Int.J.Appl.El magn.Mech.44, 285-293, 2014). Solche Tester lassen



vom Prinzip her physikalisch richtige Ergebnisse erwarten. Bei breiten Proben aber erstreckt sich die H-Spule aus Problemen von Fertigung und Spulenkalibration üblicherweise über einen viel kleineren Probenbereich als die B-Messung. Damit sind die Größen B und H nicht konsistent, indem sie einander nicht exakt entsprechen. Es resultieren systematische Meßfehler, wenn die Probe nicht exakt homogen ist, indem sie beispielsweise Dickenschwankungen aufweist. Schmale Proben haben a priori den Nachteil, daß sie das betreffende Material nur ungenügend repräsentieren.

Außerhalb Japans wird die Feld-Methodik kaum verwendet, da die H-Spule als ein nicht verlässliches Bauelement eingeschätzt wird. So können durch demagnetisierende Feldkomponenten Meßfehler auftreten, wenn der effektive, mittlere Abstand der Spule von der Probenoberfläche die Größenordnung von einem Millimeter überschreitet. Als übliche Spulenfertigung wird somit eine etwa 1 mm dicke Kunststoffplatte mit Windungen von etwa 100 μm dickem Draht bewickelt, mit Windungszahlen N der Größenordnung 1000. Besonders für Spulen, deren Breite einige Zentimeter überschreitet, resultieren erhebliche Probleme der Herstellung, z.B. bezüglich ausreichender mechanischer Spannung des Drahtes bzw. Drahttrissen. Kritisch sind auch Forderungen nach mechanischer und thermischer Stabilität, aber auch nach definierten magnetischen Eigenschaften. Undefinierte Abstände zwischen den einzelnen Drahtwindungs-Elementen und dem Spulenkörper ergeben Schwankungen der den erfaßten magnetischen Luft-Fluß bestimmenden effektiven, zu N proportionalen effektiven Spulenfläche. Um langzeitliche Veränderungen zu überprüfen, sind wiederholte Spulenkalibrationen notwendig, die bei breiten Spulen aber apparatetechnisch kaum möglich sind, da entsprechend große, homogene Feldräume nicht zur Verfügung stehen. Als Nachteil gilt auch, daß die Signale der Spulen schwach ausfallen. Dem gegenüber gilt die standardisierte Watt-metrische Messung über Strom i und Spannung u als äußerst robust und zuverlässig.

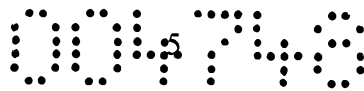


Ziel der vorliegenden Patentschrift ist es, ein Verfahren anzugeben, das die oben beschriebenen Nachteile sowohl der Tangentialfeldspule als auch des massiven Magnetisierungsjochs vermeidet. Erfindungsgemäß wird dies dadurch erzielt, daß unter dem Großteil des quasi-homogen magnetisierten Abschnitts einer durch ein Joch dünn gefertigter Jochbasis geringer Basisstärke magnetisierten Probe ein H-Spulensystem von in Serie geschalteten, mit doppelseitig kaschierter Printtechnik gefertigten H-Spulenelementen angeordnet wird und die Verluste durch Verknüpfung der so erfaßten Feldstärke mit der mittels B-Spule für denselben Abschnitt erfaßten Induktion berechnet werden.

Das Verfahren sieht drei Varianten der SST-Ausführung vor, die sich bezüglich der H-Erfassung unterscheiden:

- I. SSTs nach der Feld-Methodik, allerdings in physikalisch korrekterer Vorgangsweise mit konsistenter B/H-Erfassung und mit robusten Komponenten.
- II. SSTs nach der Strom-Methodik, in physikalisch korrekterer Vorgangsweise (durch Nutzung von abgespeicherten Transferfaktorfunktionen), und bei Anwendbarkeit eines kompakten Magnetisierungsjochs.
- III. Kombinierte SSTs, zur Bestimmung von Transferfaktorfunktionen, und zur wahlweisen Anwendung von I bzw. II (insbes. für SST-Erzeuger).

Nach dem Obigen wird beim IEC-SST versucht, aus den gemessenen Gesamtverlusten P des gesamten magnetischen Kreises den effektiven Anteil der Probe abzutrennen, wozu das massive Doppeljoch von funktionellem Vorteil ist. Alle drei Varianten der hier vorliegenden Erfindung hingegen machen von P keinerlei Gebrauch, indem die Verlustbestimmung über Glg.(1) erfolgt. Die Verluste des Joches sind nicht relevant, weshalb das Joch erfindungsgemäß mit wesentlich verringerter Masse gefertigt wird. Statt einem Doppeljoch wird ein Einfachjoch verwendet, was eine Halbierung der Masse ergibt. Das Joch wird aus drei

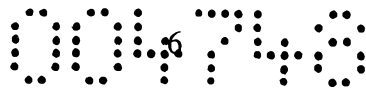


Komponenten gefertigt, einer horizontalen Jochbasis und zwei damit verbundenen vertikalen Polstücken. Die beiden Polstücke werden wie beim IEC-SST mit großem Querschnitt angesetzt. Gegenüber einem verringerten Querschnitt ergibt sich damit der Vorteil großflächiger, verlässlicher Kontaktierung zwischen Joch und Probe, bei geringen magnetischen Kontaktwiderständen an den Probenenden. Auch ergibt sich eine regionale Verteilung der 90-gradigen Flußumlenkung, mit dem Vorteil einer regionalen Verteilung planarer Wirbelströme, welche auch die Endbereiche der freien Probenregion erfassen können.

Während die Polstücke somit massiv ausgeführt werden, wird der Querschnitt der Jochbasis zumindest auf die Hälfte des üblichen Wertes reduziert. Die entsprechenden Induktionswerte bleiben auch damit in der Größenordnung von Milli-Tesla, womit eine effektive Schließung des Magnetkreises gesichert ist. Die Masse des Joches hingegen sinkt auf etwa ein Viertel jener des standardisierten Doppeljochs, und damit sinken auch Herstellungskosten und Aufwände des Transports.

Eine Voraussetzung der Anwendbarkeit von Glg.(1) ist, daß die Poyntingsche Energieflußdichte auf Komponenten normal zur Probe beschränkt ist, axiale hingegen vernachlässigt werden können. Eine weitere ist die Forderung, daß das Feld H und die Induktion B konsistent für denselben Probenabschnitt detektiert werden. Beim IEC-SST wird die Länge des freien Probenabschnitts als effektive Länge angesetzt. Seine Endbereiche aber können Inhomogenitäten durch die schon erwähnten planaren Wirbelströme aufweisen. Ferner treten in Augenblicken hoher Induktion die schon erwähnten Streuflüsse zwischen Probe und Polstücken auf.

Erfindungsgemäß werden die Endbereiche des freien Probenabschnitts von der B/H-Detektion ausgespart. Die Detektion beschränkt sich damit auf einen Probenbereich, der einerseits repräsentative Ausmaße hat, andererseits aber mit Sicherheit innerhalb des quasi-homogen magnetisierten Bereiches liegt. Mit quasi-homogen ist hier gemeint, daß auch in diesem Bereich Abweichungen von exakter Homogenität auftreten, die sich aber aus der individuellen Struktur der gerade untersuchten Probe ergeben. Vor allem aus Unvollkommenheiten der Walzvorgänge resultieren geringe Dickenschwankungen, welche zu lokalen Schwankungen von B und H führen. Der



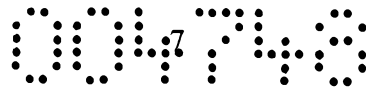
Detektionsbereich wird erfindungsgemäß maximal groß ausgelegt, um eine effektive Mittelung zu erzielen, andererseits aber beschränkt, um die Inhomogenitäten der freien Probenendbereiche auszugrenzen. Er erreicht damit eine Größenordnung von etwa 80% der Probenlänge.

Die Erfassung der Induktion B wird problemlos mit einer den Detektionsbereich umfassenden B-Spule vorgenommen. Vorzugsweise wird die Windungsanzahl klein angesetzt. Das verringert die Stärke der induzierten Spannung, die typischerweise über jener der H-Spule liegt, mit Vorteilen für die Signalverarbeitung im Sinne besser ausgeglichener Signalpegel.

Ein äußerst wesentliches Merkmal der Erfindung ist eine völlig neuartige Ausführung der Detektion des Feldes H . Erfindungsgemäß werden statt einer einzigen, die gesamte quasi-homogene Probenoberfläche bedeckenden H-Spule mehrere in Serie geschaltete H-Spulenelemente begrenzter Breite angesetzt. Dies verringert die oben angeführten Probleme der Herstellung. Vor allem aber ermöglicht es eine exakte Spulenelementkalibration. Erfindungsgemäß wird sie in einem Solenoid entsprechend großer innerer lichter Weite vorgenommen, wobei die Solenoid-Länge die Weite um mehr als eine Größenordnung überschreitet, um ausreichende Homogenität für lange Spulenelemente abzusichern.

Um konsistente Mittelungen über den Detektionsbereich der Probe zu erzielen, wird die Länge der H-Spulenelemente gleich jener der B-Spule angesetzt. Um auch ausreichende Mittelung über die Probenbreite zu erzielen, werden mehrere H-Spulen-Elemente gleichmäßig über die Breite verteilt.

Zur Gewährung definierter Windungsflächen werden die H-Spulenelemente nicht mit Draht gewickelt, sondern erfindungsgemäß mit bekannten, automatisierten Druck- oder Ätztechnologien hergestellt. Vorzugsweise werden zeitgemäße Verfahren der Leiterplattenfertigung verwendet, bei doppelseitiger Kaschierung und Durchkontaktierung an den Plattenrändern. Damit werden unterseitige Windungselemente mit oberseitigen zu einer durchgehenden Spule miteinander verbunden.



Somit entsteht letztlich ein robustes H-Spulensystem definierter physikalischer Eigenschaften.

Wie schon kurz aufgelistet, werden bei der Variante I der SST-Ausführung das zu dB/dt proportionale Spannungssignal der B-Spule und das zu dH/dt proportionale Spannungssignal des H-Spulensystems über eine hochwertige Datenkarte mit zumindest zwei Kanälen in einen Meßcomputer eingespeist. Er übernimmt die Verlustberechnung unter Anwendung von Gl.(1). Die Erfassung des Magnetisierungsstroms ist hier bezüglich der Verlustmessung nicht relevant.

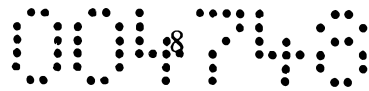
Bei der Ausführungsvariante II erfolgt die Erfassung des Feldverlaufes $H(t)$ indirekt aus dem Magnetisierungsstrom $i(t)$. Die Variante richtet sich an Anwender, welche den Einsatz von H-Spulen trotz der von der Erfindung gebotenen Verbesserungen ablehnen und die Messung statt dessen auf gewohnte Weise auf der Basis einer Strommessung durchführen wollen. Erfindungsgemäß ist dazu vorgesehen, für bestimmte Kombinationen von SST und Proben type typische Transferfunktionsfunktionen

$$TF[B(t)] = H(t) / i(t) \quad (2)$$

zu ermitteln, welche den Strom $i(t)$ in das Feld $H(t)$ transferieren (quasi übersetzen).

Die Ermittlung setzt die Ausführungsvariante III voraus, bei der sowohl ein H-Spulensystem als auch ein Strom/Spannungs-Umsetzer montiert ist, in Kombination mit einer 3-kanaligen Datenkarte. Es handelt sich dabei um eine vorzugsweise durch den SST-Hersteller vorzunehmende Kalibrierung, die den Transfer für eine bestimmte SST-Ausführung besorgt.

Für seinen individuellen SST nach Variante II kann der Anwender in der Folge seine Messungen - wie im standardisierten Fall - ohne Vorhandensein eines H-Spulensystems ausführen. Statt dessen gibt er die für ihn benötigten Transferfunktionsfunktionen in seinen Meßcomputer ein, welcher sodann die Verluste nach Glg.(1) unter Berücksichtigung von Glg.(2) berechnet. Damit gilt



$$V = 1/(\rho \cdot T) \cdot \tau \int TF[B(t)] \cdot i(t) \cdot dB/dt \cdot dt . \quad (3)$$

Für die Kalibration (die nicht mit der H-Spulen-Kalibration zu verwechseln ist) wird der entsprechende SST-Typ III sowohl mit Shunt-Widerstand zur Stromdetektion als auch mit H-Spulensystem betrieben. Zur Durchführung der Kalibration dient ein Meßcomputer mit vorgeschalteter, hochwertiger, möglichst phasenreiner Datenkarte für zumindest drei Meßkanäle. An sie werden Spannungssignale gelegt, die zum Stromverlauf $i(t)$, zur zeitlichen Ableitung dH/dt der Feldstärke bzw. zur zeitlichen Ableitung dB/dt der Induktion proportional sind. Die zu bestimmenden Transferfaktorfunktionen $TF[B(t)]$ hängen dabei von drei Parametern ab, vom verwendeten Typ des Testers, dem Typ des Probenmaterials (z.B. „hochgradig kornorientiert“) und dem Spitzenwert B_s der Induktion für eine vorgegebene Frequenz.

Die Abhängigkeit von B_s resultiert aus den hysteretischen Eigenschaften der Probe, das heißt aus der fehlenden Eindeutigkeit des Zusammenhanges zwischen B und H , einerseits aufgrund von Wechselwirkungen der Blochwände mit dem Kristallgitter, und andererseits aufgrund von Wirbelströmen. Für die Praxis bedeutet dies, daß die Kalibration für verschiedene Spitzenwerte B_s durchzuführen ist, je nach Materialtyp z.B. für 1.3 T, 1.4 T, bis hinauf zu etwa 1.8 T. Für jeden Spitzenwert werden der Stromverlauf $i(t)$ und der entsprechende Feldverlauf $H(t)$ aufgezeichnet. Für eine Halbperiode wird daraus die Transferfaktorfunktion $TF[B(t)]$ nach Glg. (2) berechnet und auf einem Speichermedium in einem für praktische Messungen verwendbaren File abgespeichert. Die Verluste werden letztlich unter der Nutzung von Glg. (3) numerisch berechnet.

Die Genauigkeit der Zuordnung einer geeigneten Transferfaktorfunktion ist unkritisch, angesichts des Umstandes, daß beim IEC-SST statt der nichtlinearen Funktion eine Konstante angesetzt wird; unabhängig von der Materialart und der Induktion wird $H(t) = i(t) \cdot N / l_m$ gesetzt (mit N als Windungszahl der Magnetisierungsspule). Somit ergeben sich aus dem neuen Verfahren selbst dann korrektere Resultate, wenn Probentypen nicht exakt unterschieden werden.

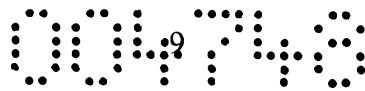
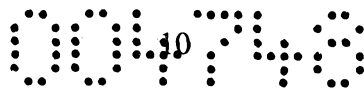


Fig.1 veranschaulicht das Verfahren anhand eines schematischen Querschnitts durch einen SST mit einer Probe 1, z.B. mit Abmessungen von 500 mm x 500 mm, wie beim IEC-SST. Die Probe wird auf ein einfaches Joch aufgelegt, dessen Polstücke 2 für guten Kontakt mit großer Breite gefertigt werden, z.B. mit 25 mm, wie beim IEC-SST. Die Jochbasis 3 hingegen wird zur Einsparung von Masse und Kosten mit nur 10 mm Stärke gefertigt. Mit den obigen Maßen ergibt sich eine freie Probenlänge von 450 mm. Zur Magnetisierung wird eine entsprechend lange Magnetisierungsspule 4 montiert.

Mit der Annahme, daß an die 90% der freien Probenlänge quasi-homogen magnetisiert sind, wird unter der Probe ein H-Spulensystem 5 von annähernd 400 mm Länge montiert, das quasi als Probenbett exakt ebene, und damit spannungsfreie Lage der Probe 1 sicherstellt. Wie im unteren Teil von Fig.1 als Beispiel in einer Aufsicht skizziert, werden vier H-Spulenelemente 6 von je annähernd 400 mm Länge und 100 mm Breite angesetzt, die den überwiegenden Teil der quasihomogen magnetisierten Probenregion erfassen. Zur einfachen, definierten Platzierung sind die Elemente durch eine dünne H-Spulen-Trägerfolie 7 zu einer Einheit zusammengefaßt.

Mit z.B. 1.5 mm Dicke der doppelt kaschierten Kunststoffplatte als Trägermaterial eines H-Spulenelementes 6 bleibt die mittlere Detektionsdistanz unter 1 mm; die Kupferkaschierung bleibt mit etwa 20 µm Dicke ohne Relevanz. Die Begrenzung der Breite der H-Spulenelemente 6 ermöglicht eine H-Spulenkalibration in einem Solenoid von 100 mm innerer lichter Weite. Die zur Erzeugung eines homogenen Kalibrationsfeldes notwendige Länge kann dabei auf für die Praxis akzeptable Werte von etwa 2 m beschränkt werden.

Zur konsistenten H/B-Detektion wird eine ebenfalls annähernd 400 mm lange B-Spule 8 rechteckigen Querschnitts angeordnet, deren lichte Breite etwas mehr als 500 mm beträgt. Die lichte Höhe wird mit nur etwa 5 mm angesetzt, um den miterfassten Luftfluss zu begrenzen, andererseits aber die Anordnung des H-Spulen-Systems 5 und ein leichtes Einschieben der Probe 1 zu gewährleisten.

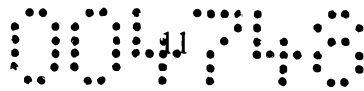


Der Stromverlauf wird mit einem Strom/Spannungs-Wandler 9 – einem niederohmigen Shunt - in ein Spannungssignal umgewandelt. Zur Erfassung der Spannungssignale von umgesetzten Strom, Induktion und Feld wird eine hochwertige Datenkarte 10 verwendet, um die Signale unverzerrt, mit geringen Phasenfehlerdifferenzen und geringem Rauschen in einen Computer 11 einzulesen.

Kalibrationen mit H-Spulensystem 5 erfolgen vorzugsweise durch den Hersteller der Meßanlage, wobei für wichtige Materialtypen geeignete Transferfaktorfunktionen z.B auf einen USB-Stick 12 gespeichert werden. Industrielle Anwender können die Anlage dann ohne H-Spulensystem verwenden, indem sie für die jeweilige Probenart geeignete Transferfaktorfunktionen in den Computer über den USB-Stick eingeben.

Die obigen Beschreibungen beziehen sich auf einen SST, der in für physikalisch korrekter Funktion spezifisch gestaltet ist. Mit gewissen Abstrichen läßt sich das Verfahren aber auch auf schon bestehende SSTs anwenden. Im speziellen gilt dies für den IEC-SST. Zum einfachen Einbringen des H-Spulensystems 5 wird dabei zur Magnetisierung der Probe vorzugsweise nur das untere Joch verwendet, dessen Eigenverluste in das Meßresultat ja nicht eingehen. Erfindungsgemäß wird die H-Messung – wie im obigen Beispiel – für 400 mm Länge angesetzt. Wegen dieser begrenzt anzusetzenden Länge der H-Spule ist bei Einsatz der normgemäß vorhandenen B-Spule keine exakt konsistente Messung von H und B gegeben. Die B-Spule erfaßt damit auch außerhalb des quasi-homogenen Bereichs gelegene Probenbereiche. Allerdings kann wegen der hohen lichten Weite der B-Spule angenommen werden, daß die B-Spule auch in Augenblicken von Streufluß fast den ganzen der Probe zukommenden magnetischen Fluß erfaßt, womit der systematische Meßfehler kaum relevant ist.

Als besondere Zielsetzung sollen industrielle Anwender auch andere Typen schon bestehender SSTs ohne Umrüstung auf H-Spulensystem weiter verwenden können, trotzdem aber physikalisch korrekten Resultaten näher kommen. Dies geschieht durch spezifische Bestimmungen von Transferfaktorfunktionen für die entsprechenden SSTs.

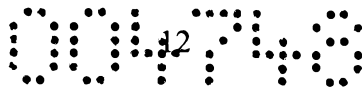


Letztlich gilt diese Zielsetzung auch für das zweite schon erwähnte standardisierte Testverfahren, den in Fig.2 skizzierten Epsteinrahmen-Tester (IEC Standards 60404-2). Hier fallen keine Joche an und somit auch keine Jochverluste. Die Epstein-Probe 13 besteht aus vier Paketen von jeweils mindestens vier 280 mm langen und 30 mm breiten Probestreifen. Sie sind zu einem geschlossenen Magnetkreis mit doppelt überlappten vier Ecken geschlichtet, denen aber beträchtliche Verluste zukommen. Erfindungsgemäß wird das vorliegende Verfahren auch hier angewendet.

Für jeden Schenkel des Epsteinrahmens beträgt die freie Länge 220 mm. Inhomogenitäten der freien Endbereiche ergeben sich aus der 3-dimensionalen Flußumlenkung in den Eckenbereichen, aus planaren Wirbelströmen und aus Streuflüssen.

Unter der Annahme, daß die quasi-homogen magnetisierte Länge 200 mm beträgt, lässt sich maximal diese Länge für die H-Erfassung nutzen. Erfindungsgemäß werden H-Spulenelemente 14 von annähernd 200 mm Länge angesetzt. Die effektive Breite wird auf 25 mm begrenzt, mit dem Vorteil, daß durch Schnittkanten veränderte Randfelder kaum erfaßt werden. Diese Abmessungen ergeben pro Element nur 50 cm² Detektionsfläche. Bei nur einem Element pro Schenkel ergeben sich insgesamt 200 cm², was gegenüber dem SST eine wesentlich schwächere Mittelung bedeutet. Um das Mißverhältnis abzuschwächen, ist erfindungsgemäß als eine Variante vorgesehen, Elemente sowohl unterhalb als auch oberhalb der Probenpakete vorzusehen, entsprechend einer Detektionsfläche von 400 cm². Auch dies entspricht nur etwa einem Viertel der beim SST genutzten Detektionsfläche. Zur Erhöhung der auf guter Mittelung beruhenden Meßgenauigkeit sind erfindungsgemäß permutierte Schichtungen vorgesehen, im Besonderen für die Bestimmung Transferfaktorfunktionen.

Die beim Epsteinrahmen geringe Detektionsfläche ergibt auch geringe Signalspannung des H-Spulen-Systems. Erfindungsgemäß sind auch hier definierte, automatisch gefertigte H-Spulenelemente 14 vorgesehen, wie oben für den SST beschrieben. Als Option ist vorgesehen, die effektive Permeabilität des Spulenträgers auf ein Vielfaches des Wertes 1 anzuheben, indem kleine Subelemente von

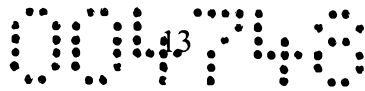


nanokristallinen Bändern nach dem in Int.J.Appl.Elmagn.Mech. 48 (2015) 213-218 beschriebenen Dummy-Sensor-Prinzip eingebracht werden. Wie in Fig.2 für einen Schenkel (mit reduziert skizzierten Bandstücklängen) angedeutet, werden entlang der H-Spulenkomponente etwa zwanzig 25 mm lange Dummy-Bänder 15 verteilt. Starke Demagnetisierung führt zu ihrer nur geringen linearen, praktisch hysteresefreien Magnetisierung schwacher Intensität. Gegenüber nichtmagnetischem Medium aber fällt sie verstärkt aus, mit dem Vorteil erhöhter Signalstärke. Als weiterer Vorteil ergibt sich die Möglichkeit, die effektive Detektions-Distanz unter Nutzung der typischerweise nur 20 μm dicken Bänder auf Bruchteile von 1 mm zu reduzieren.

Für eine annähernd konsistente B-Detektion ist als Kompromiß vorgesehen, die am Epsteinrahmen fix montierten B-Spulen zu verwenden, die auch hier - wie beim standardisierten SST - den Gesamtfluß zu seinem überwiegenden Teil erfassen. Bei der eigentlichen routinemäßigen Messung werden die mit dem H-Spulensystem ermittelten Transferfaktorfunktionen auf den gemessenen Magnetisierungsstrom angewandt.

Wie bereits erwähnt hat der Epsteinrahmen den Nachteil, daß sich lokale Veränderungen des Materialverhaltens an Schnitträndern wegen der geringen Probenbreite auf die Meßergebnisse verstärkt auswirken. Um diese Effekte abzuschwächen ist erfindungsgemäß die Option eines "Mega-Epsteinrahmens" vorgesehen, bei dem sämtliche Abmessungen etwa auf das Doppelte vergrößert sind, im Sinne von Streifenbreiten um 60 mm. Als zusätzlicher Vorteil ergibt sich auf das Vierfache erhöhte Detektionsfläche der Feldstärkeerfassung, in Verbindung mit verstärkten Signalpegeln.

Alle obigen Beschreibungen beziehen sich auf die Bestimmung der Verluste. Die bei standardisierten Testern als konstant angesetzte effektive Weglänge verursacht physikalische Meßfehler auch bei der Ermittlung der Magnetisierbarkeit. Erfindungsgemäß werden die oben beschriebenen Transferfaktoren hier auf die Induktions-Scheitelwerte B_s angesetzt. Damit ergeben sich auch hier physikalisch korrektere Resultate der Messung.



Patentansprüche

1. Verfahren zur Messung von Ummagnetisierungsverlusten weichmagnetischer Materialien, *dadurch gekennzeichnet*, daß unter dem Großteil des quasi-homogen magnetisierten Abschnitts einer durch ein Joch dünn gefertigter Jochbasis (3) geringer Basisstärke magnetisierten Probe (1) ein H-Spulensystem (5) von in Serie geschalteten, mit doppelseitig kaschierter Printtechnik gefertigten H-Spulenelementen (6) angeordnet wird und die Verluste durch Verknüpfung der so erfaßten Feldstärke mit der mittels B-Spule (8) für denselben Abschnitt erfaßten Induktion berechnet werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, *dadurch gekennzeichnet*, daß das H-Spulensystem (5) als Variante nur zur Ermittlung von Transferfaktorfunktionen eingesetzt wird, welche den Magnetisierungsstromverlauf in den Feldstärkeverlauf transferieren, routinemäßige Messungen aber ohne H-Spulensystem (5) erfolgen, indem aus dem Feldstärkeverlauf und dem Induktionsverlauf die Verluste alleine der Probe (1) physikalisch korrekt berechnet werden.
3. Verfahren nach Ansprüchen 1 und 2, *dadurch gekennzeichnet*, daß Anwendungen auch für Epsteinproben (13) erfolgen, indem in Serie geschaltete H-Spulenelemente (14), optional mit nanokristallinen Dummy-Bändern (15) als insgesamt schwach-magnetischem Kern, an Oberflächen der Rahmenschenkel angelegt werden.
4. Verfahren nach Ansprüchen 1 bis 3, *dadurch gekennzeichnet*, daß als Option alle Abmessungen des Epsteinrahmens verdoppelt angesetzt werden.
5. Verfahren nach Ansprüchen 1 bis 4, *dadurch gekennzeichnet*, daß die Verfahrensschritte auch zur Bestimmung der Magnetisierbarkeit eingesetzt werden.

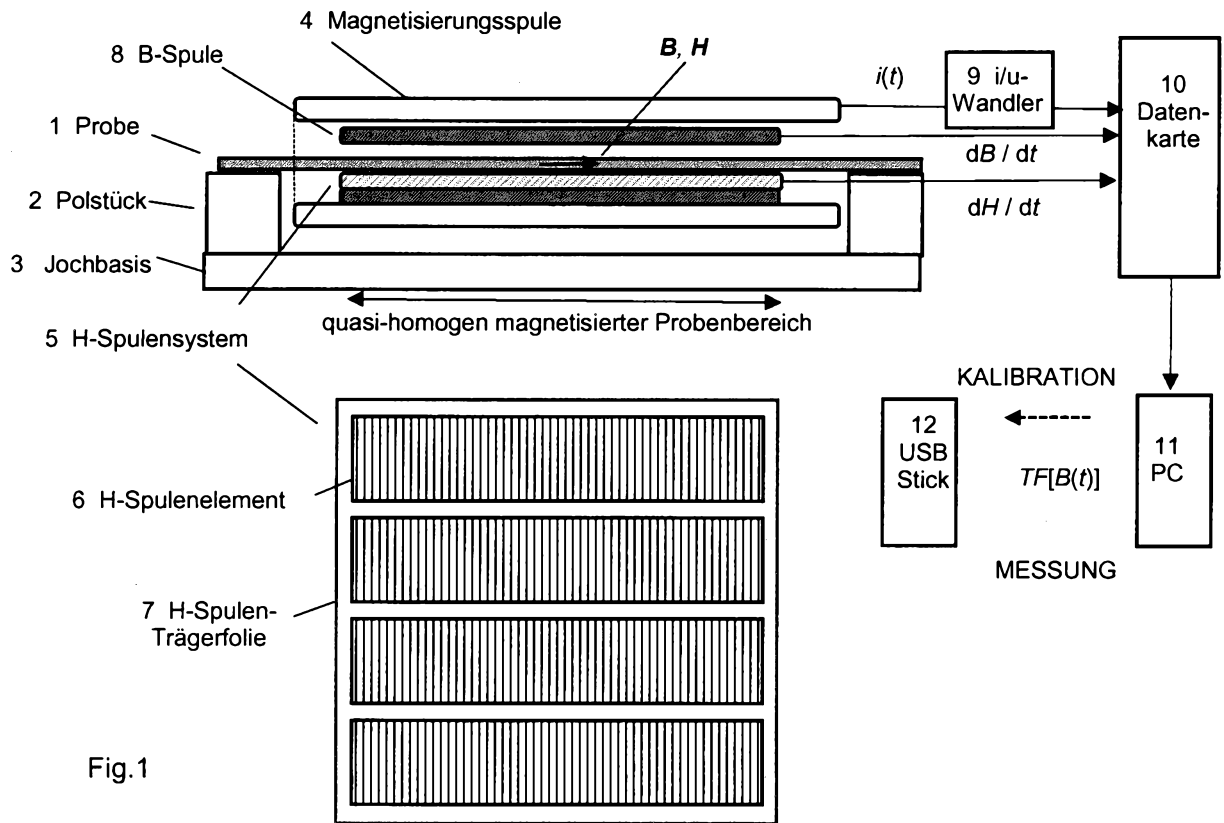


Fig.1

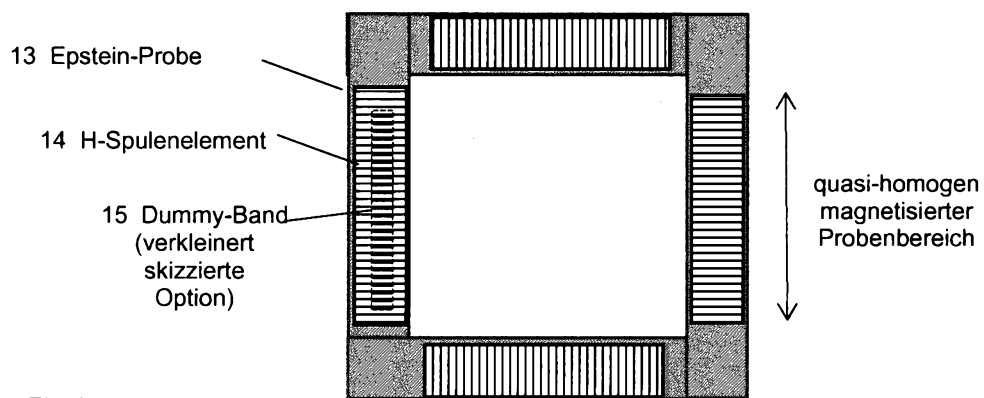


Fig.2

Klassifikation des Anmeldungsgegenstands gemäß IPC:
G01R 33/12 (2006.01)

Klassifikation des Anmeldungsgegenstands gemäß CPC:
G01R 33/123 (2013.01)

Recherchierter Prüfstoff (Klassifikation):
G01R

Konsultierte Online-Datenbank:
WPI, EPODOC, Volltext-Datenbanken, Nichtpatent-Literatur

Dieser Recherchenbericht wurde zu den am **07.09.2017** eingereichten Ansprüchen **1 - 5** erstellt.

Kategorie ^{*)}	Bezeichnung der Veröffentlichung: Ländercode, Veröffentlichungsnummer, Dokumentart (Anmelder), Veröffentlichungsdatum, Textstelle oder Figur soweit erforderlich	Betreffend Anspruch
A	JP H03221886 A (MATSUSHITA ELECTRIC WORKS LTD) 30. September 1991 Zusammenfassung	1 - 5
A	JP 2006258480 A (NIPPON STEEL CORP) 28. September 2006 gesamtes Dokument	1 - 5
A	JP 2017142088 A (UNIV TOKYO AGRICULTURE & TECHNOLOGY, JFE STEEL CORP) 17. August 2017 gesamtes Dokument	1 - 5

Datum der Beendigung der Recherche:
09.08.2017

Seite 1 von 1

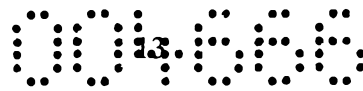
Prüfer(in):

PAVDI Dominika

^{*)} **Kategorien** der angeführten Dokumente:

- X** Veröffentlichung **von besonderer Bedeutung**: der Anmeldungsgegenstand kann allein aufgrund dieser Druckschrift nicht als neu bzw. auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden.
- Y** Veröffentlichung **von Bedeutung**: der Anmeldungsgegenstand kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren weiteren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese **Verbindung für einen Fachmann naheliegend** ist.

- A** Veröffentlichung, die den allgemeinen **Stand der Technik** definiert.
- P** Dokument, das von **Bedeutung** ist (Kategorien **X** oder **Y**), jedoch **nach dem Prioritätstag** der Anmeldung veröffentlicht wurde.
- E** Dokument, das **von besonderer Bedeutung** ist (Kategorie **X**), aus dem ein „**älteres Recht**“ hervorgehen könnte (früheres Anmeldedatum, jedoch nachveröffentlicht, Schutz ist in Österreich möglich, würde Neuheit in Frage stellen).
- &** Veröffentlichung, die Mitglied der selben **Patentfamilie** ist.



Patentansprüche

1. Verfahren zur Messung von Ummagnetisierungsverlusten weichmagnetischer Materialien, *dadurch gekennzeichnet*, daß unter dem Großteil des quasi-homogen magnetisierten Abschnitts einer durch ein Joch dünn gefertigter Jochbasis (3) geringer Basisstärke magnetisierten Probe (1) ein H-Spulensystem (5) von in Serie geschalteten, mit doppelseitig kaschierter Printtechnik gefertigten H-Spulenelementen (6) angeordnet wird und die Verluste durch Verknüpfung der so erfaßten Feldstärke mit der mittels B-Spule (8) für denselben Abschnitt erfaßten Induktion berechnet werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, *dadurch gekennzeichnet*, daß das H-Spulensystem (5) als Variante nur zur Ermittlung von Transferfaktorfunktionen eingesetzt wird, welche den Magnetisierungsstromverlauf in den Feldstärkeverlauf transferieren, indem aus dem Feldstärkeverlauf und dem Induktionsverlauf die Verluste alleine der Probe (1) physikalisch korrekt berechnet werden.
3. Verfahren nach Ansprüchen 1 und 2, *dadurch gekennzeichnet*, daß Anwendungen auch für Epsteinproben (13) erfolgen, indem in Serie geschaltete H-Spulenelemente (14), optional mit nanokristallinen Dummy-Bändern (15) als insgesamt schwach-magnetischem Kern, an Oberflächen der Rahmenschenkel angelegt werden.
4. Verfahren nach Ansprüchen 1 bis 3, *dadurch gekennzeichnet*, daß als Option alle Abmessungen der Epsteinprobe (13) verdoppelt angesetzt werden.
5. Verfahren nach Ansprüchen 1 bis 4, *dadurch gekennzeichnet*, daß die Verfahrensschritte auch zur Bestimmung der Magnetisierbarkeit eingesetzt werden.

