



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
16.07.2014 Patentblatt 2014/29

(51) Int Cl.:
H01F 13/00 ^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **14150254.2**

(22) Anmeldetag: **07.01.2014**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA ME

(30) Priorität: **14.01.2013 CH 1502013**

(71) Anmelder: **Maurer, Albert**
8624 Grüt (CH)

(72) Erfinder:
• **Maurer, Albert**
8624 Grüt (CH)
• **Meyer, Urs**
8172 Niederglatt (CH)
• **Rohner, Marek**
8006 Zürich (CH)

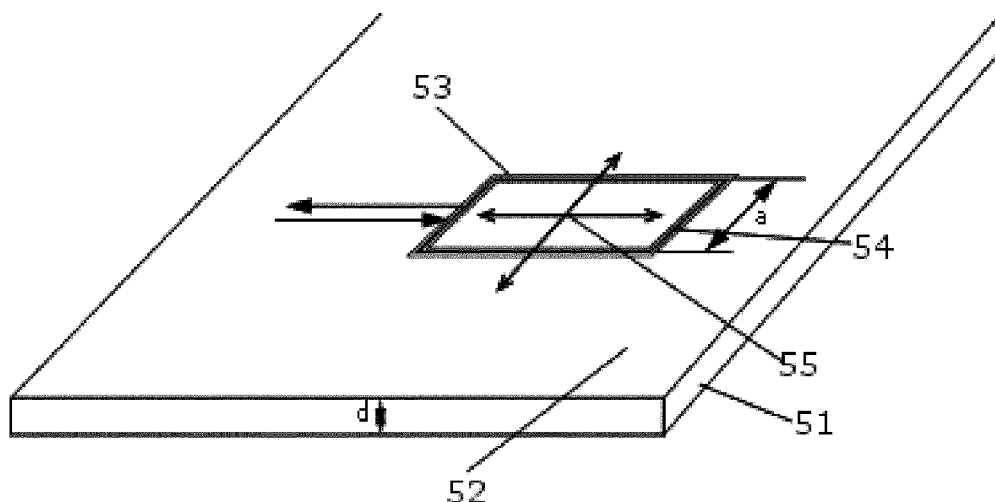
(74) Vertreter: **Schneider Feldmann AG**
Patent- und Markenanwälte
Beethovenstrasse 49
Postfach 2792
8022 Zürich (CH)

(54) **Entmagnetisierverfahren**

(57) Bei einem Verfahren zur Entmagnetisierung von ferromagnetischen Objekten (51) beliebiger Form und Grösse soll eine apparative Vereinfachung und vereinfachte Durchführung erreicht werden, um ortsfeste

grossflächige ferromagnetische Objekten zu entmagnetisieren. Dies wird dadurch erreicht, dass das um einen elektrischen Leiter sich bildende Magnetfeld zur Entmagnetisierung genutzt wird.

FIG. 5



BeschreibungTechnisches Gebiet

- 5 **[0001]** Die vorliegende Erfindung beschreibt ein Verfahren zur Entmagnetisierung von Objekten beliebiger Form und Grösse.

Stand der Technik

- 10 **[0002]** Das Entmagnetisieren ferromagnetischer Objekte erfolgt nach dem bekannten Stand der Technik entweder durch Aufheizen auf eine über dem sogenannten Curiepunkt liegenden Temperatur oder durch Anlegen eines periodisch verlaufenden magnetischen Feldes mit von einem Maximum auf den Nullwert abnehmender Amplitude.
- [0003]** Die thermische Methode kommt wegen ihres grossen Energiebedarfes und der vom thermischen Prozess verursachten Schädigung am Objekt selten zum Einsatz.
- 15 **[0004]** Für die magnetische Methode kommen prinzipiell zwei Verfahren der Applikation des Magnetfeldes zur Anwendung.
- [0005]** Das erste beruht auf dem Erzeugen eines kontinuierlichen, periodisch seine Richtung wechselnden Magnetfeldes. Das betreffende Magnetfeld kann dabei ortsfest erzeugt werden, wobei das zu entmagnetisierende Objekt durch dieses Magnetfeld hindurch bewegt wird. Alternativ dazu kann das Objekt ortsfest angeordnet sein, wobei das erzeugte
- 20 Magnetfeld gegenüber dem Objekt bewegt wird. In der Folge wird dieses erste Verfahren, in beiden hier geschilderten Varianten, als "Kontinuierliches Entmagnetisieren" bezeichnet.
- [0006]** Beim zweiten Verfahren wird das periodisch seine Richtung wechselnde Magnetfeld ortsfest gegenüber dem zu entmagnetisierenden Objekt erzeugt. Es ist als zeitlich begrenzter Impuls ausgebildet, wobei die Feldstärke von einem Maximum auf den Nullwert zurückgenommen wird. In der Folge wird dieses Prinzip als "Impulsförmiges Entma-
- 25 gnetisieren" bezeichnet.
- [0007]** Hier folgend sind verschiedene Anordnungen näher beschrieben, die zum Entmagnetisieren mit Hilfe eines magnetischen Feldes nach einem der vorgängig aufgezeigten Prinzipien eingesetzt werden.
- [0008]** Figur 8 zeigt eine Anordnung mit fest aufgestellter, eisenloser Entmagnetisierspule. Eine üblicherweise aus einer Mehrzahl von Windungen eines elektrischen Leiters gebildete Entmagnetisierspule 111, eingebaut in ein Gehäuse
- 30 112, angeschlossen an eine Wechselspannungsquelle 113, erzeugt ein Magnetfeld 114. Dieses Magnetfeld ist am stärksten im Zentrum der Spule und nimmt mit zunehmendem Abstand in seiner Stärke ab. Ein zu entmagnetisierendes Objekt 116 wird entlang einem Pfad 115 durch die Spule bewegt und dabei dem zunächst zunehmenden, nach dem Passieren des Zentrums der Entmagnetisierspule 111 wieder abnehmendem Magnetfeld 114 ausgesetzt. Diese Anordnung entspricht dem Prinzip "Kontinuierliches Entmagnetisieren". Diese Art von Entmagnetisierereinrichtung wird mit einer
- 35 Spulenöffnung bis etwa 2m x 2m Grösse kommerziell angeboten und industriell eingesetzt.
- [0009]** Mit der gleichen Anordnung kann auch ein Impulsförmiges Magnetisieren durchgeführt werden, indem die Wechselspannungsquelle 113 einen im zeitlichen Verlauf entsprechend geformten Strom zur Entmagnetisierspule 111 liefert. Die Bewegung des zu entmagnetisierenden Objektes 116 wird beim Erreichen des Zentrums der Entmagnetisierspule 111 angehalten und der Stromimpuls ausgelöst. Am Ende des Stromimpulses wird das Objekt 116 entlang
- 40 dem Pfad 115 weiter bewegt und der Einrichtung entnommen.
- [0010]** Figur 9 zeigt eine um ein zu entmagnetisierendes Objekt 122 geschlungene Entmagnetisierspule 121. Die üblicherweise aus einer Mehrzahl von Windungen eines elektrischen Leiters gebildete Entmagnetisierspule 121 wird in Form eines Kabels um das Objekt 122 gelegt. Das so erzeugte Magnetfeld 123 umfasst und durchdringt das Objekt 122 vollständig. Der eigentliche Entmagnetisiervorgang erfolgt nach dem Prinzip des Impulsförmigen Entmagnetisierens.
- 45 Einrichtungen dieser Art werden zum Entmagnetisieren ganzer Schiffe und grosser Werkzeugmaschinen eingesetzt.
- [0011]** Wesentlich stärkere Magnetfelder lassen sich mit geringerem Bedarf an elektrischer Leistung erzeugen, indem der Rückschluss über einen Magnetkern erfolgt. Eine Anordnung nach diesem Prinzip stellt als Beispiel das sogenannte Doppeljoch dar, wie in Figur 10 dargestellt. Die beiden Joche 131 bestehen aus magnetisch gut leitfähigem Eisen oder Magnetblech. Eine um jedes Joch angeordnete Wicklung (hier nicht eingezeichnet) erzeugt ein zwischen beiden Jochen
- 50 zirkulierendes Magnetfeld, bestehend aus einem im Luftspalt zwischen den Jochen befindlichen Flussabschnitt 132 und einem im Joch selbst befindlichen Flussabschnitt 133. Das im Flussabschnitt 132 wirksame Luftspaltfeld wird durch die Gestalt der Joche 131 konzentriert. Der Aufwand an magnetischer Durchflutung, und damit an elektrischer Leistung, zum Überwinden der in den Jochen 131 verlaufenden Flussabschnitte 133 ist dank der hohen Permeabilität der Eisenkerne sehr gering. Das zu entmagnetisierende Objekt 134 wird nun auf dem Pfad 135 durch die beiden Flussabschnitte
- 55 132 zwischen den Polen bewegt. Der eigentliche Entmagnetisierprozess findet dabei analog zur Luftspule Figur 8 statt, wobei im Fall der gezeichneten Doppeldrossel zwei Wirkbereiche für das Entmagnetisieren zur Verfügung stehen. Erreicht wird damit insbesondere eine gute Tiefenwirkung im Objekt 134, indem dieses vollständig vom Magnetfluss erfasst wird.

[0012] Ein mit Hilfe eines Eisenkerns erzeugtes, örtlich auf die Stirnseite begrenztes, starkes Magnetfeld wird bei den sogenannten Entmagnetisierdrosseln ausgenützt, wie sie zum Entmagnetisieren von Tonköpfen bei Tonband- und Cassettengeräten eingesetzt werden. Die einfache Handhabung und das geringe Gewicht legen es nahe, dieses Prinzip auch bei grossformatigen Strukturen aus ferromagnetischem Material einzusetzen, beispielsweise bei fachwerkartigen Schweissskonstruktionen, grossen Blechteilen, Rohrleitungen und Behältern. Dies bewirkt aber höchstens eine Schwächung von lokal hartmagnetischen Stellen, während der die ganze Struktur durchsetzende Magnetismus jeweils der entmagnetisierten Stelle lokal ausweicht und sich dann anschliessend wieder einstellt.

[0013] Figur 11 zeigt dies am Beispiel des Entmagnetisierens einer durchgehenden grossen Blechfläche 151, die nur von einer Seite her zugänglich ist. Der darin befindliche Restmagnetismus verläuft im Inneren des Bleches parallel zur Oberfläche, in Flusskreisläufen 155, die sich beliebig ergeben und von aussen nicht erkennbar sind. Beim Anlegen eines Eisenkerns 152, der als Stabdrossel mit einer bestromten Wicklung 153 versehen ist, wird der von der Anlegestelle unmittelbar berührte Bereich 154 nach einem der vorgängig beschriebenen Prinzipien entmagnetisiert. Weil sich die Bahnen 155 des Restmagnetismus aber frei neu ausrichten können, weichen sie lediglich auf benachbarte Teile der Blechfläche 151 aus. Die Wirkung einer solchen Entmagnetisierung ist, wie die Erfahrung zeigt, mangelhaft und prozesstechnisch nicht zu beherrschen, auch wenn der Eisenkern, wie mit den Pfeilen 156 dargestellt, verschoben und an mehreren Stellen eingesetzt wird.

[0014] Bei den bisher bekannten Entmagnetisierverfahren dient entweder das zu entmagnetisierende Objekt selbst den Kern einer Spule bildet (siehe Figuren 8 und 9), oder es wird von einem extern erzeugten Magnetfluss in seiner Ausdehnung vollständig durchflutet (siehe Figur 10), oder aber mit Hilfe eines ferromagnetischen Kerns als den Magnetfluss leitendes und übertragendes Element einem lokal konzentrierten entmagnetisierenden Feld ausgesetzt.

Darstellung der Erfindung

[0015] Die vorliegende Erfindung stellt sich nun zur Aufgabe, gerade für den in Fig. 11 gezeigten Fall eine Lösung zu bringen. Es geht um ein apparativ einfaches, wirksames und reproduzierbares Verfahren, um grossflächige ferromagnetische Teile begrenzter Dicke zuverlässig zu entmagnetisieren. Es geht dabei um Objekte, welche eine magnetische Beaufschlagung des gesamten Objektes auf Grund ihrer Dimensionen von vornherein nicht zulassen, beispielsweise Grobbleche, wie sie im Stahl- und Schiffbau eingesetzt werden. Die betrifft insbesondere auch Objekte, die an ihrer Oberfläche nur von einer Seite her zugänglich sind, wie beispielsweise Rohre und Behälter von grossen Abmessungen. Wie in der vorhergehenden Figur 11 gezeigt und in der Erklärung dazu dargelegt führt ein lokales Entmagnetisieren mit Hilfe eines Eisenkerns dabei nicht zum gewünschten Ergebnis. Das Entfernen von Restmagnetismus ist aber oft bei solchen Objekten erforderlich, wenn sie anschliessend eine spanabhebende Bearbeitung erfahren oder geschweisst werden. Auch der Einsatzzweck des Objektes erfordert vielfach die Beseitigung von Restmagnetismus, beispielsweise um einen Einfluss auf umgebende Geräte und Einrichtungen auszuschliessen. Wie jüngere Untersuchungen zeigen, kann im Material vorhandener Restmagnetismus eine erhöhte Anfälligkeit auf Korrosion bewirken und ist deshalb zu beseitigen.

Beschreibung der Zeichnungen

[0016]

- Figur 1 zeigt einen schematischen Längsschnitt durch ein flächenhaftes ferromagnetisches Objekt mit angedeuteten Flusslinien der im Objekt verlaufenden Flusskreisläufe.
- Figur 2 zeigt eine schematische Perspektive auf eine Oberfläche eines flächenhaften ferromagnetischen Objektes mit angedeuteten Flusskreisläufen.
- Figur 3 zeigt einen schematischen Längsschnitt durch ein flächenhaftes ferromagnetisches Objekt mit angedeuteten Flusslinien im Objekt, sowie einen auf der Oberfläche aufliegenden stromdurchflossenen Leiter mit den resultierenden Flusslinien des von ihm erzeugten Magnetfeldes.
- Figur 4 zeigt einen schematischen Längsschnitt durch ein flächenhaftes ferromagnetisches Objekt mit auf der Oberfläche aufliegendem stromdurchflossenen Leiterbündel.
- Figur 5 zeigt ein auf der Oberfläche eines flächenhaften ferromagnetischen Objektes aufliegendes Leiterbündel von rechteckiger Konfiguration.
- Figur 6 zeigt ein rohrförmiges ferromagnetisches Objekt, wobei auf der gewölbten Oberfläche ein dieser Oberfläche angepasstes Leiterbündel aufliegt.
- Figur 7 zeigt einen schematischen Schnitt durch ein flächenhaftes ferromagnetisches Objekt mit einem aufliegenden Leiterbündel, welches von einem magnetischen Rückschluss gehalten ist.
- Figur 8 zeigt in schematischer Perspektive eine Entmagnetisierspule mit ihrer Speisung und dem zu entmagnetisierenden Objekt, als Darstellung zum Stand der Technik.

- Figur 9 zeigt die gängige Methode zum Entmagnetisieren grosser Objekte, am Beispiel eines Schiffes, als Darstellung zum Stand der Technik.
- Figur 10 zeigt den Magnetfluss beim Entmagnetisieren mit Eisenkernen, hier am Beispiel eines Doppeljoches, als Darstellung zum Stand der Technik.
- 5 Figur 11 zeigt eine schematische Perspektive auf ein grossflächiges ferromagnetisches Objekt mit angedeuteten Flusskreisläufen und schematisch gezeichnetem Eisenkern gemäss Stand der Technik.

Beschreibung

10 **[0017]** In einem ferromagnetischen Objekt vorhandener Restmagnetismus lässt sich ausschliesslich ausserhalb des betreffenden Objektes feststellen und messen. Dabei wird lediglich der durch die Oberfläche des Objektes ein- und austretende Restmagnetismus festgestellt. Der im Inneren des Objektes vorhandene Restmagnetismus ist nicht näher bekannt. Insbesondere lassen sich im Objekt vorhandene, geschlossene Flusskreisläufe, soweit sie nicht durch die Oberfläche nach aussen treten, auch nicht erkennen. Die bekannten Verfahren zur Entmagnetisierung von ferromagnetischen Objekten behandeln ausschliesslich die nach aussen tretenden, somit auch messbaren Anteile des Restmagnetismus.

15 **[0018]** Der Restmagnetismus in einem grossflächigen ferromagnetischen Objekt 1 verläuft, wie in Figur 1 im Schnitt gezeichnet, vorzugsweise als geschlossener Flusskreislauf 2 parallel zur Oberfläche 3. Selbst wenn kein äusseres remanentes Magnetfeld ausserhalb des ferromagnetischen Objektes 1 mehr messbar ist, sind im Inneren des Objektes 1 verlaufende, geschlossene Flusskreisläufe 2 vorhanden. Solange die Oberfläche 3 des Objektes 1 keine Störstellen 4, beispielsweise Kanten, Objektränder, Fugen, Schweissnähte etc. aufweist, ist äusserlich kein Magnetfeld messbar, und das ferromagnetische Objekt 1 gilt fälschlicherweise als entmagnetisiert.

20 **[0019]** An Störstellen 4, welche beispielsweise bei der Weiterverarbeitung derartiger ferromagnetischer Objekte 1 entstehen, treten geschlossene Flusskreisläufe 2 teilweise aus der Oberfläche 3 des Objektes 1 aus. Dieser Anteil tritt als Streufeld 5 ausserhalb des Objektes 1 in Erscheinung. An solchen Störstellen 4 wird ein störendes Restmagnetfeld auch ausserhalb des Objektes 1 messbar. Werden beispielsweise Nuten in fälschlicherweise als entmagnetisiert geltende Stahlrohre eingebracht, oder solche in Teile zerschnitten, tritt an diesen Stellen in der Folge ein solches Streufeld 5 auf.

25 **[0020]** Wie in Figur 2 erkennbar, verlaufen Flusskreisläufe 25 innerhalb eines flächenhaften ferromagnetischen Objektes 21 flächig verteilt. Wenn keine Störstellen 4 vorhanden sind, ist auch kein remanentes äusseres Streufeld 5 messbar. Sind Störstellen 4 im Objekt 21 vorhanden, so treten die Flusskreisläufe 25 an diesen Stellen als Streufeld 5 in Erscheinung.

30 **[0021]** Figur 3 zeigt nun an Hand eines Schnittes durch ein grossflächiges ferromagnetisches Objekt 31 mit einer Wandstärke d das erfindungsgemässe Vorgehen zur Unterdrückung von im Inneren, parallel zur Oberfläche 32 zirkulierenden Flusskreisläufen 35. Ein auf der Oberfläche 32 des zu entmagnetisierenden ferromagnetischen Objekts 31 mittelbar aufliegender stromführender Leiter 33 erzeugt im Objekt 31 ein Magnetfeld, das als magnetisch gesättigte Zone 34 entlang des ganzen Verlaufs des Leiters 33 auftritt. Diese Zone 34 verliert in gesättigtem Zustand die hohe Permeabilität. Sie wirkt demzufolge für die sie im Grundzustand durchlaufenden Flusskreisläufe 35 als Sperre. Die Flusskreisläufe 35 werden in der Zone 34 unterbrochen. In der Folge wird der remanente Magnetismus in der weiteren Umgebung der Zone 34 durch Scherung der magnetischen Kennlinien dauerhaft geschwächt bzw. herabgesetzt. 35

40 **[0022]** Damit nun durch das die magnetische Sättigung in der nahen Umgebung des Leiters 33 bewirkende Magnetfeld 34 kein neuer Restmagnetismus eingeführt wird, wird der Leiter 33 relativ zum Objekt 31 bei konstantem Leitermagnetfeld bewegt, entsprechend dem Entmagnetisierungsprinzip "Kontinuierliches Magnetfeld". Alternative dazu kann das Magnetfeld schrittweise an wechselnder Position nach dem Prinzip "Impulsartige Entmagnetisierung" zur Wirkung gebracht werden.

[0023] Um das ferromagnetische Objekt 31 in der Zone 34 vollständig magnetisch zu sättigen wird der Leiter 33 die Oberfläche 32 berührend oder in geringem Abstand angeordnet. Dieser Abstand wird vorzugsweise kleiner als die Dicke des Leiters gewählt.

50 **[0024]** Unabhängig davon, ob die Impulsweise Entmagnetisierung oder das Kontinuierliche Entmagnetisieren eingesetzt wird, ergibt sich als Nahwirkung eine Entmagnetisierung der unmittelbar unter dem Leiter 33 liegenden Zone 34 des Objekts 31, als Fernwirkung eine Verminderung des remanenten Magnetismus in den geschlossenen Flusskreisläufen 35 parallel zur Objektoberfläche 32. Das Ausweichen der bestehenden Flusskreisläufe 35, wie es bei punktueller Entmagnetisierung auftritt, wird dadurch nachweislich unterdrückt, eine grossflächige entmagnetisierende Wirkung tritt ein.

55 **[0025]** Die Ausdehnung und Position der vom stromführenden Leiter 33 berührten Strecke beeinflusst das Entmagnetisierungsergebnis. Es ist aber keineswegs nötig, dass der Leiter 33 das zu entmagnetisierende ferromagnetische Objekt 31 über seine gesamte Dimension berührt bzw. so lang ausgeführt sein muss, dass er die gesamte Oberfläche 32 überstreicht. Die berührende Strecke kann gegenüber den Dimensionen der Oberfläche 32 deutlich kleiner sein. Die

Fernwirkung der Verminderung des remanenten Magnetismus ist grundsätzlich eine graduelle. Deshalb wird das Objekt 31 mit dem Leiter 33 analog zum Prinzip des Kontinuierlichen Entmagnetisierens überstrichen. Dasselbe Ergebnis bringt ein Impulsförmiges Entmagnetisieren mit Entmagnetisierimpulsen an verschiedenen Stellen der gesamten Oberfläche, indem nach zwischen den Entmagnetisierimpulsen eine Relativbewegung zwischen Objekt 31 und Leiter 33 durchgeführt wird.

[0026] Figur 4 zeigt eine vorteilhafte Ausgestaltung des Leiters 33 als Leiterbündel 43. Das ferromagnetische Objekt 41 wird an seiner Oberfläche 42 von dem Leiterbündel 43, bestehend aus nebeneinander angeordneten und in der gleichen Richtung stromführenden Leitern 33, berührt. Der Stromfluss ist hier aus der Papierebene heraus in Richtung des Betrachters angedeutet. Die Magnetfelder der einzelnen Leiter 33 erzeugen zusammenwirkend die magnetisch gesättigte Zone 44. Diese erreicht im Objekt 41 eine grössere Eindringtiefe als ein einfacher Leiter oder ein Leiterbündel von kreisrundem oder quadratischem Querschnitt. Die Breite b des Leiterbündels 43 wird vorzugsweise mit einem Mehrfachen der Wandstärke d des zu entmagnetisierenden Objekts 41, beispielsweise mit dem fünffachen, gewählt. Das Leiterbündel 43 kann auch mehrlagig ausgeführt sein. Damit die magnetisch gesättigte Zone 44 im Objekt 41 eine optimale Verteilung erreicht, sollte der Abstand des Leiterbündels 43 zur Oberfläche 42 des Objektes 41 möglichst gering, vorzugsweise kleiner als die Höhe h des Leiterbündels, vorzugsweise auch geringer als die Wandstärke d des Objektes gewählt werden. Aus dem gleichen Grund sollte die Höhe h des Leiterbündels 43 vorzugsweise kleiner sein als die Wandstärke d .

[0027] Eine Stromsteuerung beaufschlagt den mindestens einen Leiter 33 bzw. das Leiterbündel 43 mit Strom, wobei die gesamte Stromstärke im Bereich von Kiloampere liegen kann. Dabei kann entweder ein in seiner Amplitude konstanter Wechselstrom nach dem Prinzip des Kontinuierlichen Entmagnetisierens eingesetzt werden, wobei die im Objekt 41 wirksame magnetisch gesättigte Zone 44 durch eine relative Bewegung des Leiterbündels 43 parallel zur Oberfläche 42 des Objektes 41 verschoben oder in seiner Wirkung durch eine Bewegung normal zur Oberfläche 42 variiert wird. Oder es wird nach dem Prinzip des Impulsförmigen Entmagnetisierens ein schrittweises Vorgehen gewählt, mit einzelnen, über der Oberfläche 42 des Objektes 41 örtlich verteilten Entmagnetisierimpulsen.

[0028] Durch die magnetisch gesättigte Zone 44 werden die Flusskreisläufe 25, 35 im Objekt 41 grossflächig unterbrochen, wodurch eine entmagnetisierende Wirkung eintritt, die weit über diese Zone und damit über die vom Leiter 33 bzw. Leiterbündel 43 überdeckte Fläche hinausreicht. Die Flusskreisläufe 25, 35 werden in ihren Bahnen und in ihren Querschnitten örtlich eingegrenzt. In der Folge weichen sie auf kürzere geschlossene Bahnen aus, die sich in ihren Grenzabschnitten kompensieren, und der im Material des Objektes 41 befindliche Restmagnetismus baut sich ab.

[0029] Der Leiter 33 oder das Leiterbündel 43 können nun mit einer wischenden Bewegung, wie mit dem Richtungspfeil 26 dargestellt, nach dem Prinzip des Kontinuierlichen Entmagnetisierens über das Objekt 41 verschoben werden. Dementsprechend verschiebt sich auch die magnetisch gesättigte Zone 44, und die Flusskreisläufe 25, 35 werden damit weiter zusammengedrängt. Der nicht vom Leiter 33 oder Leiterbündel 43 unmittelbar berührte Teil des Objektes 41 wird in seinem Restmagnetismus weiter geschwächt.

[0030] Ein analoger Effekt wird bewerkstelligt, indem der Leiter 33 oder das Leiterbündel 43 schrittweise bewegt wird, wie mit dem Richtungspfeil 26 dargestellt, und dabei an verschiedenen Positionen ein Impulsweises Entmagnetisieren durchgeführt wird.

[0031] Die Figur 5 zeigt ein Leiterbündel 43 konfiguriert als geschlossene Schlaufe 54 mit im Grundriss 53 angenähert rechteckiger Form. Das Leiterbündel 43 wird entsprechend der Richtungspfeile 55 über die Oberfläche 52 des ferromagnetischen Objektes 51 bewegt. Um die Wirkung des Leiterbündels 43 mit der unmittelbar darunter im Objekt 51 erzeugten, magnetisch gesättigten Zone 44 sicher zu stellen, soll die Schmalseite a der Schlaufe 54, unabhängig von ihrer übrigen Geometrie und Konfiguration, vorzugsweise das 10-fache oder mehr der Wandstärke des Objektes 51 betragen.

[0032] In Figur 6 ist eine entsprechende Schlaufe 62 in sattelartiger Konfiguration gezeigt, die an die Oberfläche 60 eines ferromagnetischen Objektes 61 in Form eines Rohrsegmentes so angepasst ist, dass das Leiterbündel 43 in direktem Kontakt zur Oberfläche 60 steht. Entsprechend den Richtungspfeilen 63 kann eine Bewegung der Schlaufe 62 relativ zur Oberfläche 60 durchgeführt werden. Diese Relativbewegung wird vorzugsweise durch gegenseitiges Drehen und axiales Verschieben der Schlaufe 62 bezogen auf das Objekt 61 realisiert.

[0033] Da auf den stromführenden Leiter 33 bzw. das Leiterbündel 43 im Betrieb magnetische Kräfte wirken, ist es sinnvoll, diese entsprechend mechanisch zu befestigen und zu führen. Dies kann durch entsprechende Gestaltung des Leiters 33 bzw. Leiterbündels 43 in Verbindung mit der zugehörigen Isolation erfolgen. Eine weitere Ausgestaltung dieser Funktion ist in Fig. 7 gezeigt. Darin sind die Leiter 33 mit einem als magnetischer Rückschluss wirkenden Kanal 74 zu einem Leiterbündel 73 zusammengefasst. Sowohl der Kanal 74 als auch das Leiterbündel 73 liegen auf der Oberfläche 72 des zu entmagnetisierenden ferromagnetischen Objektes 71 mittelbar oder unmittelbar auf und erzeugen darin die magnetisch gesättigte Zone 75, analog zur Anordnung von Fig. 4.

[0034] Versuchsweise wurden längs- oder spiralgeschweisste Stahlrohre mit einigen Metern Länge, Durchmesser bis zwei Meter, bei Wanddicken von 20 mm, entmagnetisiert. An den Schweissnähten und den Stirnseiten der Rohre wurde zunächst ein vorhandener Restmagnetismus gemessen. Zum Entmagnetisieren wurde ein Leiterbündel in Form einer

EP 2 755 217 A2

Schlaufe von annähernd elliptischem Grundriss auf das Rohr gelegt. Die Dimensionen dieser Schlaufe waren deutlich kleiner als der Durchmesser des Rohres. Während das Leiterbündel mit einem Wechselstrom nach dem Prinzip der Kontinuierlichen Entmagnetisierung beaufschlagt war, wurde es längsweise mit einer Geschwindigkeit von einigen cm pro Sekunde über das Rohr hinweg gezogen. Um das Rohr vollumfänglich zu Entmagnetisieren, wurde dieser Schritt nach Drehung des Rohres um die eigene Achse wiederholt durchgeführt. Nach vollständiger Rotation des Rohres konnte kein Restmagnetismus mehr gemessen werden.

Bezugszeichenliste

[0035]

1, 21, 31, 41, 51, 61, 71, 151	ferromagnetisches Objekt
2, 25, 35, 155	geschlossener Flusskreislauf
3, 32, 42, 60, 52, 72	Oberfläche des Objektes
4	Störstelle
5	Streufeld
26, 55, 63, 156	Richtungspfeile für Bewegungen
33	(stromführender) Leiter
34, 44, 75	magnetisch gesättigte Zone
43, 73	Leiterbündel
53	Grundriss (Schlaufe)
54, 62	Schlaufe
74	Kanal
111, 121	Entmagnetisierspule
112	Gehäuse
113	Wechselspannungsquelle
114, 123	Magnetfeld
115, 135	Pfad (einer Bewegung)
116, 122, 134	zu entmagnetisierendes Objekt
131	Joch
132, 133	Flussabschnitte
151	Blechfläche
152	Eisenkern
153	Wicklung
154	vom Eisenkern berührte Bereiche

a	Schmalseite
d	Wandstärke
5 h	Höhe des Leiterbündels
b	Breite des Leiterbündels

Patentansprüche

1. Verfahren zur Entmagnetisierung von Objekten (1, 21, 31, 41, 51, 61, 71) beliebiger Form und Grösse, **dadurch gekennzeichnet, dass** das um einen stromführenden Leiter (33) sich bildende Magnetfeld zur Entmagnetisierung genutzt wird.
2. Verfahren gemäss Anspruch 1, **wobei** der Leiter (33) die Oberfläche (3, 32, 42, 60, 72) des ferromagnetischen Objektes (1, 21, 31, 41, 51, 61, 71) mindestens teilweise direkt berührend oder nahe, maximal in einem Abstand kleiner gleich der Dicke des Leiters (33), auf die Oberfläche (3, 32, 42, 60, 72) aufgelegt wird.
3. Verfahren gemäss Anspruch 1 oder 2, **wobei** von dem mindestens einen stromführenden Leiter (33) im Objekt (1, 21, 31, 41, 51, 61, 71) eine magnetisch gesättigte Zone (34, 44, 75) erzeugt wird.
4. Verfahren gemäss Anspruch 1 oder 2, **wobei** zum Erzeugen einer magnetisch gesättigten Zone (34, 44, 75) im Objekt (1, 21, 31, 41, 51, 61, 71) ein stromdurchflossenes Leiterbündel (43, 73) eingesetzt wird.
5. Verfahren gemäss Ansprüchen 3 oder 4, **wobei** die magnetisch gesättigte Zone (34, 44, 75) ausschliesslich im zu entmagnetisierenden Objekt (1, 21, 31, 41, 51, 61, 71) erzeugt wird.
6. Verfahren gemäss Ansprüchen 3 oder 4, **wobei** Teile des zu entmagnetisierenden Objektes (1, 21, 31, 41, 51, 61, 71) ausserhalb der magnetisch gesättigten Zone (34, 44, 75) liegen.
7. Verfahren gemäss Ansprüchen 4 bis 6, **wobei** die Breite (b) des Leiterbündels (43) grösser ist als die Wandstärke (d) des zu entmagnetisierenden Objekts (1, 21, 31, 41, 51, 61, 71).
8. Verfahren gemäss Ansprüchen 4 bis 6, **wobei** das Leiterbündel (43) mehrlagig ausgeführt ist und der Abstand der ersten der Oberfläche (42) zugewandten Lage von der Oberfläche (42) kleiner als die Dicke der verwendeten Leiter (33) ist.
9. Verfahren gemäss einem der vorhergehenden Ansprüche, **wobei** die Leiter (33) oder Leiterbündel (43) zu einer Schlaufe (54) gelegt sind, wobei der maximale Durchmesser der Schlaufe (54, 62) kleiner ist als die kleinste Ausdehnung der Oberfläche des ferromagnetischen Objektes (1, 21, 31, 41, 51, 61, 71).
10. Verfahren gemäss einem der vorhergehenden Ansprüche, **wobei** der minimale Durchmesser der Schlaufe (54, 62) kleiner ist als die fünffache Wanddicke (d) des zu entmagnetisierenden Objekts (1, 21, 31, 41, 51, 61, 71).
11. Verfahren gemäss einem der vorhergehenden Ansprüche, **wobei** der mindestens eine Leiter (33) oder das Leiterbündel (43) in Form einer sattelartigen Schlaufe (62) ausgeführt ist, dessen Krümmung an die Oberfläche (3, 32, 42, 52, 60, 72) des zu entmagnetisierenden Objektes (1, 21, 31, 41, 51, 61, 71) angepasst ist.
12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **wobei** eine Bewegung des mindestens einen stromführenden Leiters (33) oder des Leiterbündels (43) relativ zur Oberfläche (3, 32, 42, 52, 60, 72) durchgeführt wird.
13. Verfahren nach Anspruch 12, **wobei** die Relativbewegung des mindestens einen Leiters (33) oder des Leiterbündels (43) bei ununterbrochenem Stromfluss durch den mindestens einen Leiter (33) oder das Leiterbündel (43) durchgeführt wird.
14. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **wobei** der mindestens eine Leiter (33) oder das Leiterbündel (43) vor dem Ausschalten des Stromflusses von der Oberfläche (3, 32, 42, 52, 60, 72) abgehoben und entfernt wird.

15. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **wobei** das Ausschalten des Stromflusses in einer graduellen Verminderung der Stromstärke über mindestens 10 Perioden des Wechselstromes erfolgt.
- 5 16. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **wobei** der Stromfluss als zeitlich begrenzter Impuls nach dem Prinzip der Impulsweisen Entmagnetisierung gesteuert wird.
- 10 17. Verfahren gemäss Anspruch 16, **wobei** der zeitlich begrenzte Impuls gleichzeitig mit der Relativbewegung des mindestens einen Leiters (33) oder des Leiterbündels (43) gegenüber dem Objekt (1, 21, 31, 41, 51, 61, 71) durchgeführt wird.
- 15 18. Verfahren gemäss Anspruch 16, **wobei** der zeitlich begrenzte Impuls im Stillstand, alternierend mit einer Relativbewegung des mindestens einen Leiters (33) oder des Leiterbündels (43) gegenüber dem Objekt (1, 21, 31, 41, 51, 61, 71) durchgeführt wird.
- 20 19. Verfahren gemäss einem der vorhergehenden Ansprüche, **wobei** der mindestens eine Leiter (33) oder das Leiterbündel (43) auf der vom Objekt (1, 21, 31, 41, 51, 61, 71) abgewandten Seite von einem Kanal (74) umfasst ist.
- 25 20. Verfahren gemäss Anspruch 19, **wobei** der Kanal (74) zumindest teilweise aus einem ferromagnetischen Material hergestellt ist.
- 30
- 35
- 40
- 45
- 50
- 55

FIG. 1

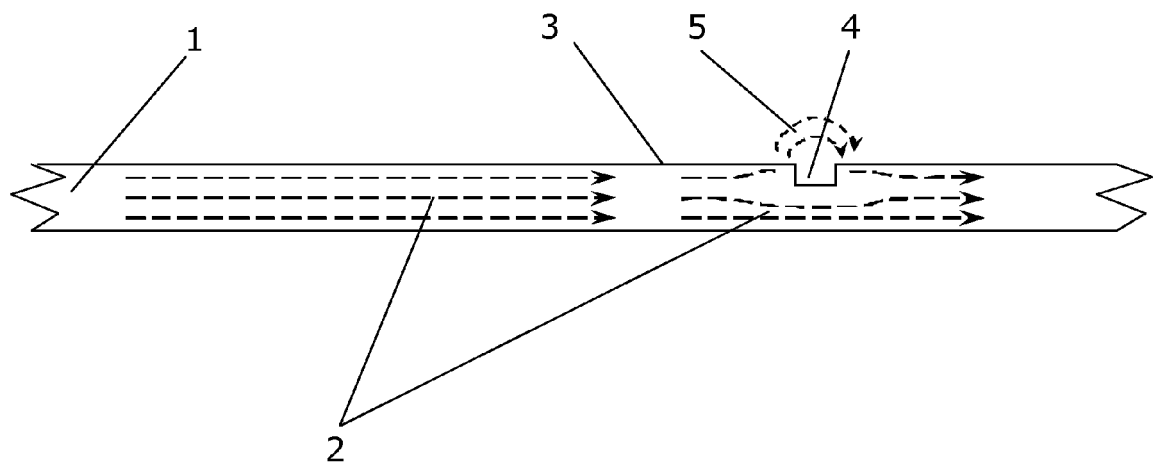


FIG. 2

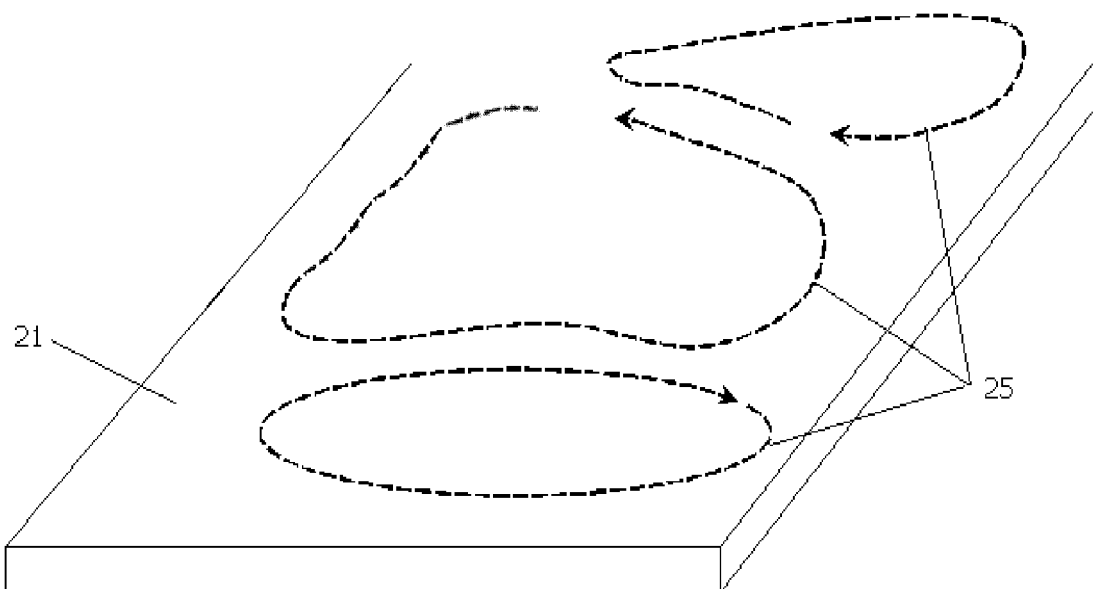


FIG. 3

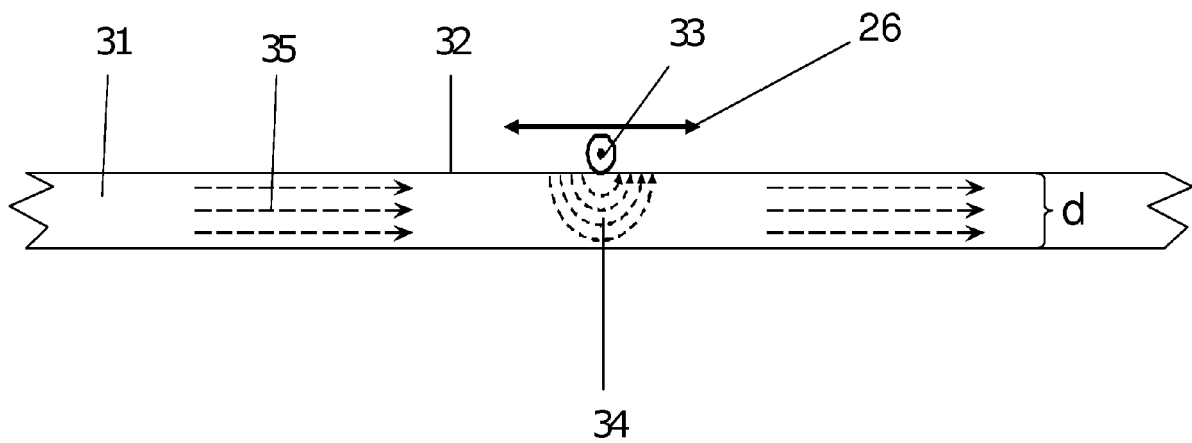


FIG. 4

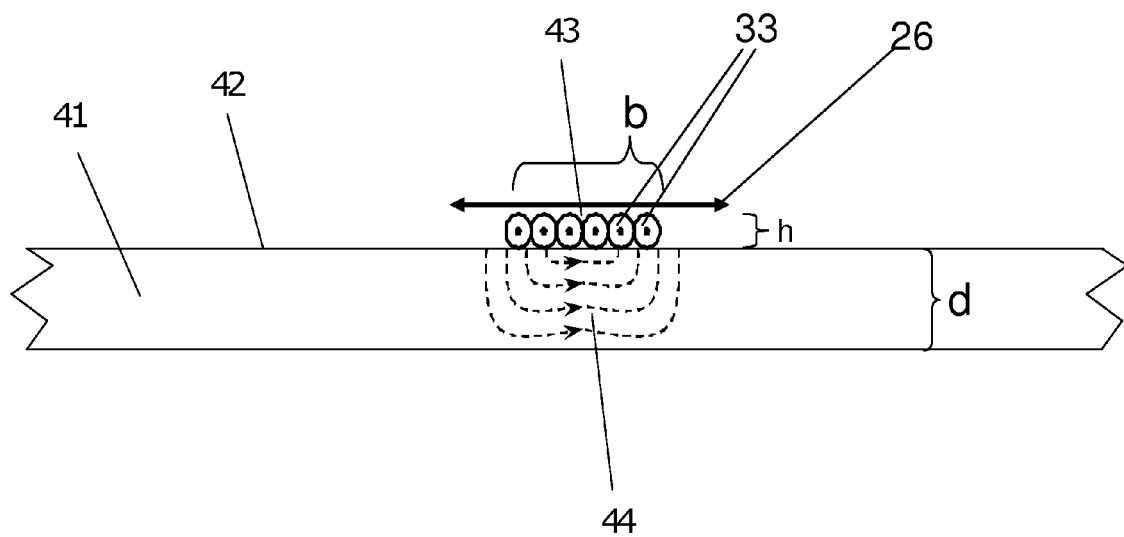


FIG. 5

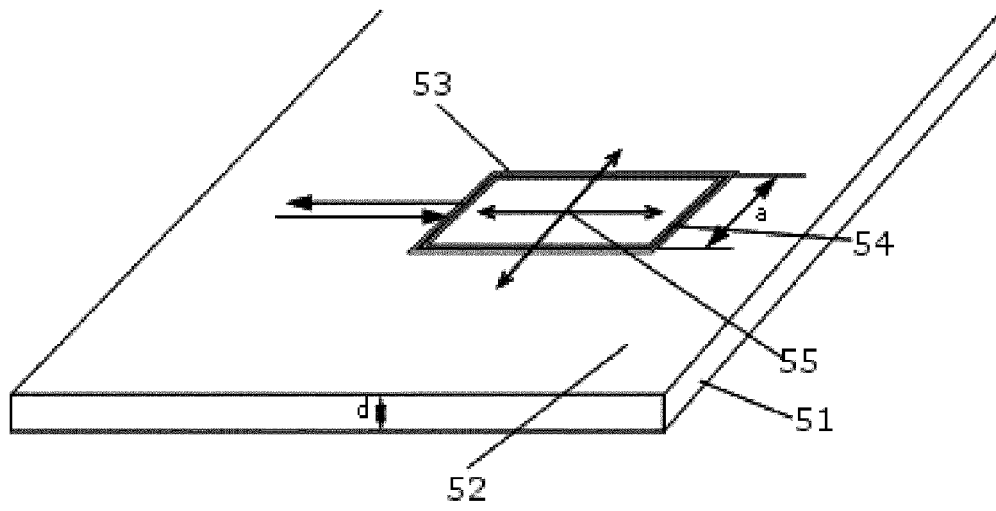


FIG. 6

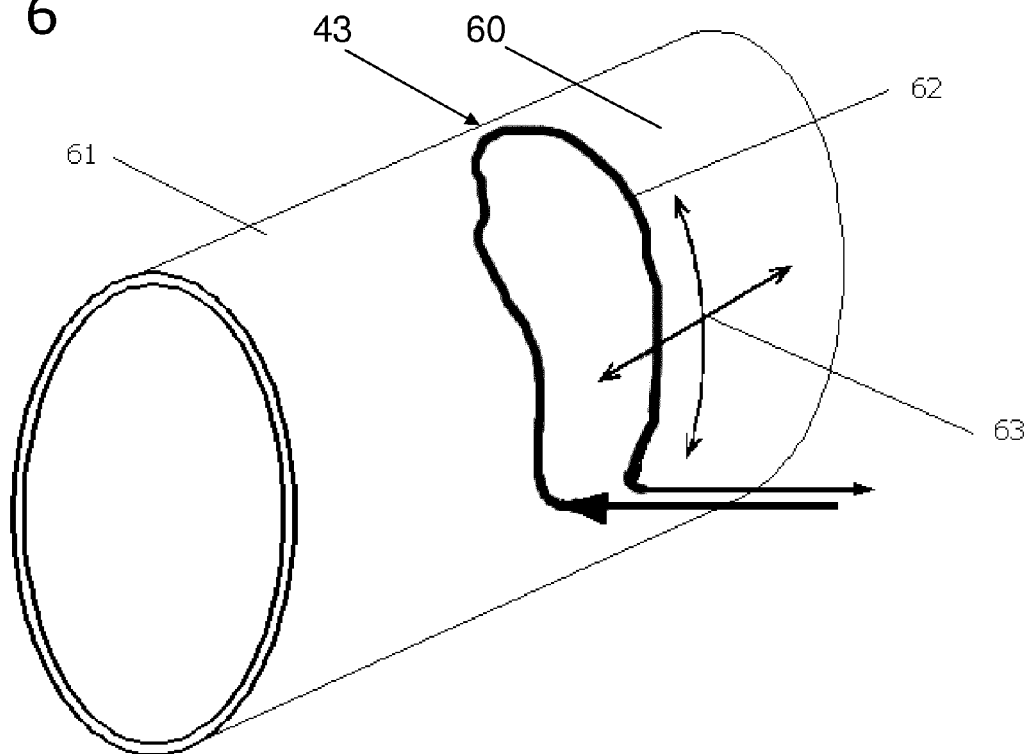


FIG. 7

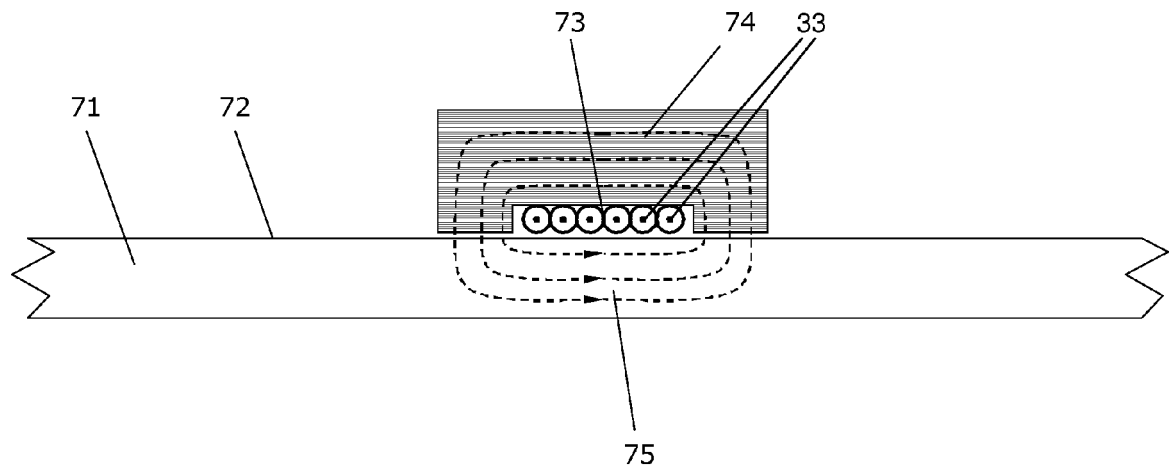
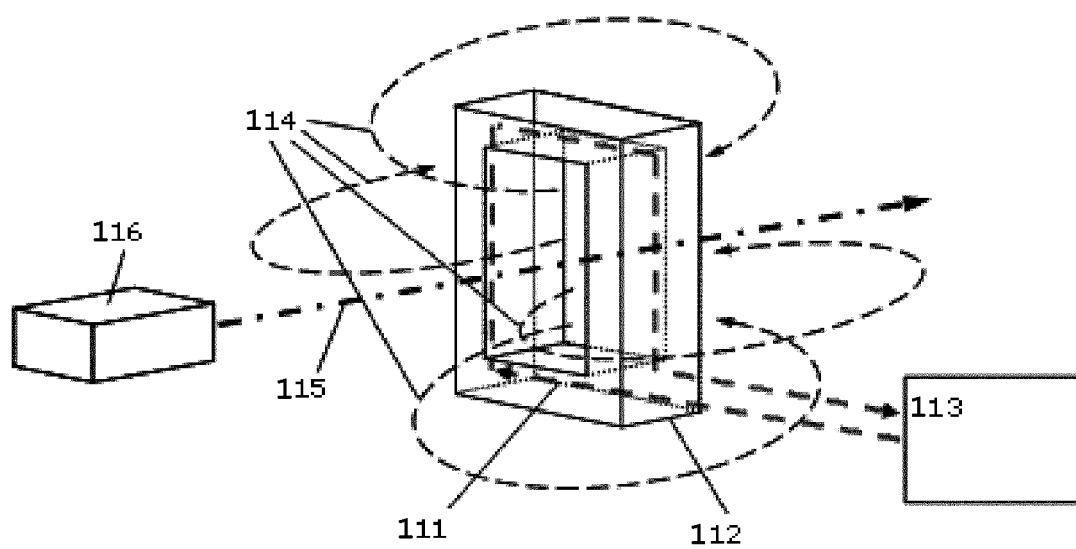


FIG. 8



prior art

FIG. 9

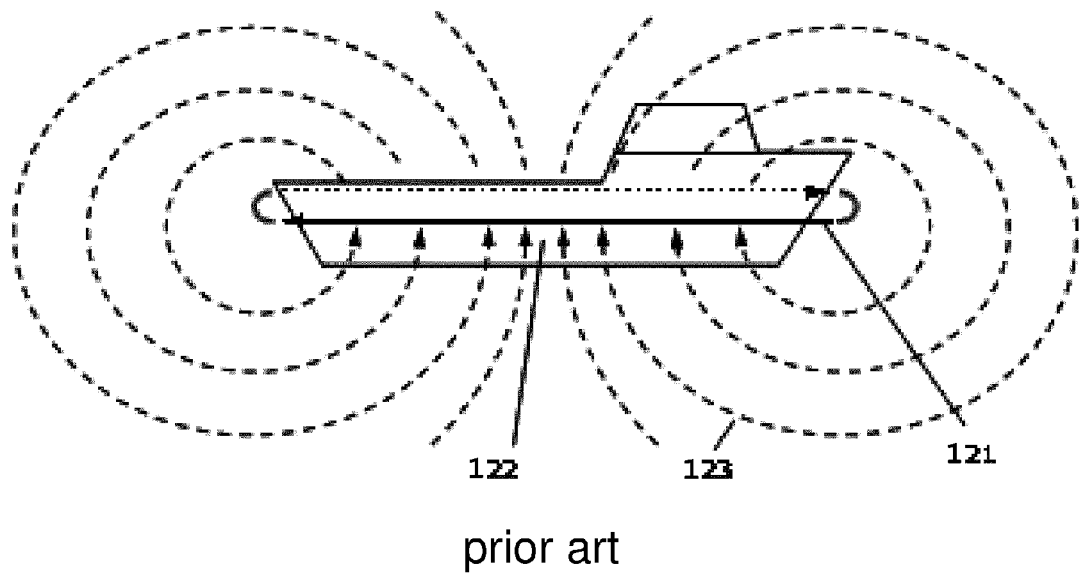


FIG. 10

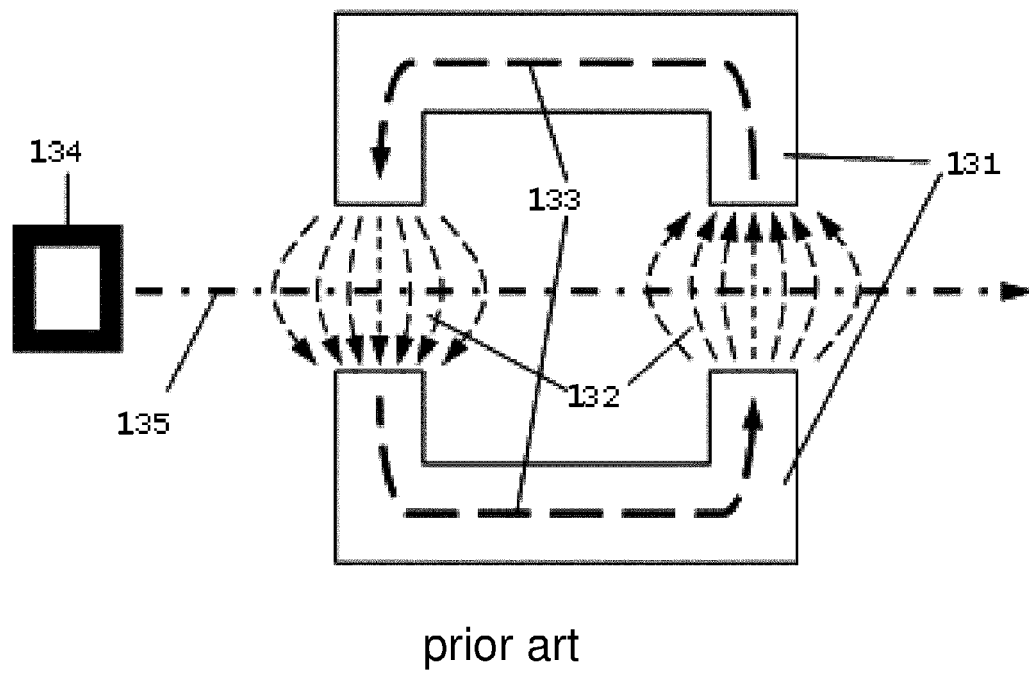
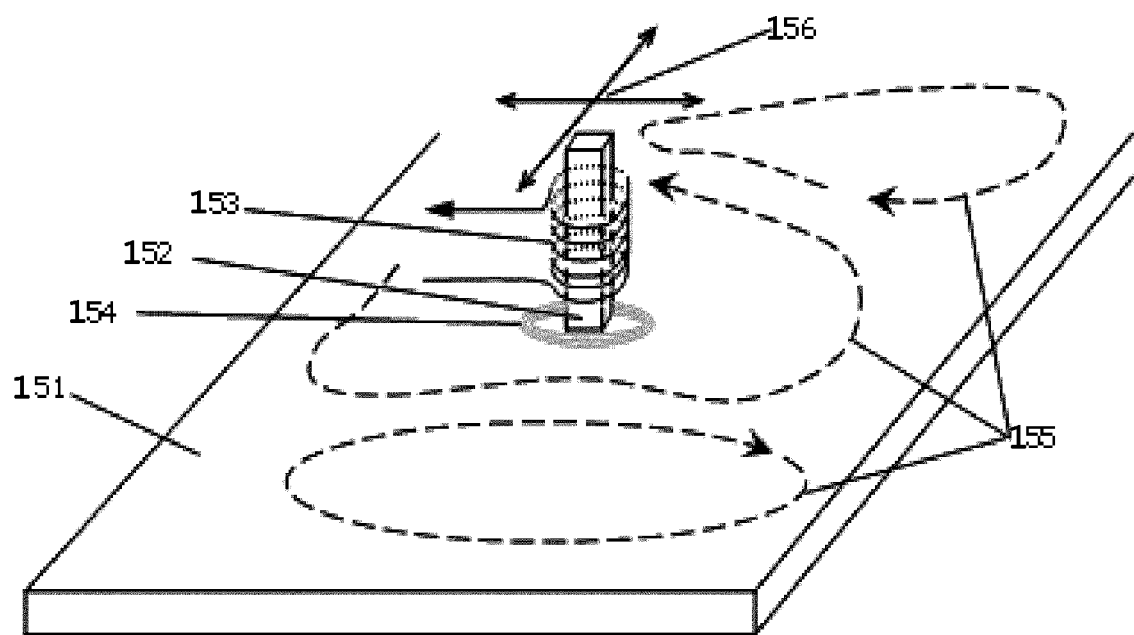


FIG. 11



prior art