

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges
Eigentum

Internationales Büro

(43) Internationales
Veröffentlichungsdatum
4. Dezember 2014 (04.12.2014)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2014/191352 A2

- (51) Internationale Patentklassifikation:
G01V 3/10 (2006.01)
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2014/060829
- (22) Internationales Anmeldedatum:
26. Mai 2014 (26.05.2014)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:
10 2013 209 805.7 27. Mai 2013 (27.05.2013) DE
- (71) Anmelder: **ICONROLS K.S.** [SK/SK]; Boldocká Cesta
306, 903 01 Senec (SK).
- (72) Erfinder: **SCHMIDT, Ralf, Ph.**; Marcigny-Str. 22, 67251
Freinsheim (DE).
- (74) Anwälte: **LISKA, Horst** et al.; Weickmann &
Weickmann, Postfach 860 820, 81679 München (DE).
- (81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW,

BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK,
DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM,
GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP,
KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD,
ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI,
NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU,
RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH,
TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA,
ZM, ZW.

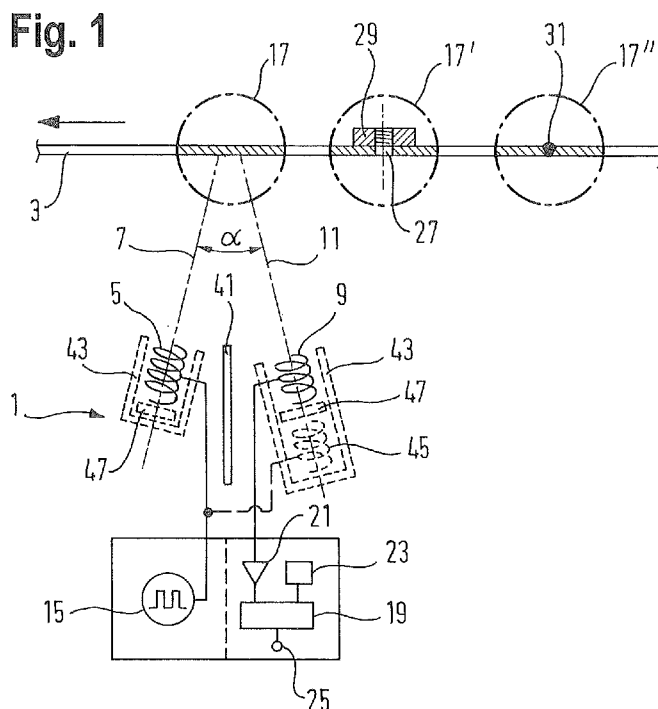
- (84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,
GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ,
TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ,
RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY,
CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT,
LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE,
SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA,
GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu
veröffentlichen nach Erhalt des Berichts (Regel 48 Absatz
2 Buchstabe g)

(54) Title: INDUCTIVE SENSOR

(54) Bezeichnung : INDUKTIVER SENSOR



(57) **Abstract:** In order to detect a material and/or shape
parameter of a metal object (3), an inductive sensor (1) is
proposed, the transmission coil (5) of which, said
transmission coil being excited by rectangular drive
pulses, induces eddy currents in the metal object (3), and the secondary magnetic field of the eddy currents are detected by a magnetic field sensor (9). The response signal of the magnetic field sensor (9) is analyzed exclusively over the duration of the rectangular drive pulses exciting the transmission coil (5). Advantageously, the transmission coil (5) and the magnetic field sensor (9) have main magnetic field axes (7, 11) which are inclined towards each other in the direction of the metal object (3).

(57) **Zusammenfassung:** Zum Erfassen eines Material-
und/oder Formparameter eines Metallgegenstands (3) wird
ein induktiver Sensor (1) vorgeschlagen, dessen durch
Rechteck-Treiberimpulse erregte Sendespule (5)
Wirbelströme in dem Metallgegenstand (3) induziert,
deren sekundäres Magnetfeld von einem
Magnetfeldsensor (9) erfasst wird. Das Antwortsignal des
Magnetfeldsensors (9) wird ausschließlich während der
Dauer der die Sendespule (5) erregenden Rechteck-
Treiberimpulse ausgewertet. Zweckmäßigerweise haben
die Sendespule (5) und der Magnetfeldsensor (9) zum
Metallgegenstand (3) hin aufeinander zu geneigte
Magnetfeld-Hauptachsen (7, 11).

WO 2014/191352 A2

Induktiver Sensor

Beschreibung

5

Die Erfindung betrifft einen induktiven Sensor zum Erfassen eines Material- und/oder Formparameters eines Metallgegenstands.

10

Zeitlich sich ändernde Magnetfelder induzieren in Metallgegenständen Wirbelströme, deren sekundäres Magnetfeld von Material- und/oder Formparametern des Metallgegenstands abhängt, der vom zeitlich sich ändernden primären Magnetfeld einer Sendespule durchflutet wird. Ein auf das sekundäre Magnetfeld ansprechender Magnetfeldsensor liefert ein Antwortsignal, welches Informationen über die Material- und/oder Formparameter des Metallgegenstands enthält oder diese Informationen repräsentiert und Rückschlüsse auf die Material- und/oder Formparameter erlaubt.

15

20

Aus US 2003/0193331 A1 ist es zur Materialüberwachung beschichteter Gasturbinenschaufeln auf Rissbildung bekannt, mittels einer durch Rechteckimpulse erregten Sendespule in der Schaufel Wirbelströme zu induzieren, deren sekundäres Magnetfeld von einem Magnetfeldsensor, beispielsweise einem Hall-Sensor erfasst wird. Der Magnetfeldsensor ist hierbei koaxial in der das primäre Magnetfeld liefernden Sendespule angeordnet. Eine elektrische Auswerteschaltung vergleicht das in einer Prüfposition von dem Magnetfeldsensor gelieferte Antwortsignal mit einem Referenzsignal, welches den Material- und/oder Formparameter in einer Referenzposition der Schaufel repräsentiert. Die Auswerteschaltung liefert damit ein Informationssignal, welches, bezogen auf die Referenzposition, ein Maß für eventuell in der Prüfposition vorhandene Risse repräsentiert. Die Auswerteschaltung überwacht hierbei mit Bezug auf den das primäre Magnetfeld in der Sendespule erzeugenden Treiberimpuls die Amplitude des von dem Magnetfeldsensor erzeugten Antwortsignals oder den Zeitpunkt

25

30

eines Nullwerts des Antwortsignals.

Aus DE 10 2010 009 923 A1 ist ein Wirbelstromsensor bekannt, der die Bestimmung der Dicke einer Metallplatte erlaubt. Der Wirbelstromsensor umfasst eine wechselstromgespeiste Sendespule und eine im Abstand von dieser angeordnete, mit einer Auswerteschaltung verbundene Empfangsspule, wobei die Metallplatte für die Messung ihrer Dicke zwischen der Sendespule und der Empfangsspule angeordnet wird. Um die Sendespule und die Empfangsspule durch die Metallplatte hindurch miteinander zu koppeln, sind sowohl der Sendespule als auch der Empfangsspule U-förmige Kerne aus ferromagnetischem Material zugeordnet, deren Schenkel aufeinander zu gerichtet sind.

Aus EP 2 312 338 A1 ist zur Detektion von elektrisch leitfähigen Gegenständen bekannt, axial beiderseits einer Sendespule zwei zu einer Differenzspulenanordnung miteinander verbundene Empfangsspulen gleichachsig anzuordnen. Die Sendespule wird durch Treiberimpulse eines Impulsgenerators erregt, während die Differenzspulenanordnung mit einer Auswerteschaltung verbunden ist, die den Kurvenverlauf des Antwortsignals der Empfangsspulen analysiert und abhängig von den Zeitpunkten, zu welchen Maximalwerte, Minimalwerte, Nullwerte oder Wendepunkte des Signalverlaufs auftreten den elektrisch leitfähigen Gegenstand detektiert.

Bei bekannten, auf dem Wirbelstromprinzip beruhenden induktiven Sensoren sind die Abweichungen der Antwortsignale in den Prüfpositionen von den Antwortsignalen der Referenzpositionen vielfach gering, was die Genauigkeit, mit der Material- und/oder Formparameter erfasst werden können, mindert. Darüber hinaus hat sich gezeigt, dass bei herkömmlichen induktiven Sensoren dieser Art der Abstand der Sendespule und/oder des Magnetfeldsensors von dem zu prüfenden Metallgegenstand einen vergleichsweise großen Einfluss auf die Bestimmung des Material- und/oder Formparameters hat, was zum Einen die Genauigkeit der Bestimmung des Material- und/oder Formparameters verschlechtert, oder aber die Einbau-

situation beschränkt, wenn der induktive Sensor Bestandteil einer Anlage oder einer Maschine mit vorgegebenen Einbauplatzverhältnissen ist.

Schließlich hat sich gezeigt, dass herkömmliche induktive Sensoren der vorstehend erläuterten Art bei einer Vielzahl Anwendungsfällen nicht oder nur unzureichend einsetzbar sind, insbesondere wenn es um die rasche und sichere Erkennung von Material- und/oder Formparametern in einer Inline-Prüfung oder Verarbeitung von Metallgegenständen geht. Beispiele hierfür sind das Erkennen eines Spalts zwischen zwei Metallteilen oder der Materialveränderung durch Schweißpunkte oder Schweißnähte auch für die Positionierung der Metallgegenstände in einer für eine nachfolgende Bearbeitung geeigneten räumlichen Lage. Andere Beispiele sind das Erkennen von Schraubmuttern, die hinter Bohrlöchern in Metallblechteilen verdeckt angeordnet sind oder das Erkennen unerwünscht aneinander haftender Blechteile in einer auf das Zuführen von Einzelblechteilen ausgelegten Fertigungsanlage. Ein weiteres Anwendungsgebiet, in welchem herkömmliche Wirbelstromsensoren nur begrenzt einsetzbar sind, ist die Materialerkennung, beispielsweise die Unterscheidung zwischen Buntmetallteilen, Eisenteilen oder Teilen aus rostfreiem Stahl. Herkömmliche Wirbelstromsensoren eignen sich ferner nur begrenzt für die Ermittlung von Härteunterschieden, insbesondere der Oberflächenhärte von Metallgegenständen.

Es ist Aufgabe der Erfindung, einen nach dem Wirbelstromprinzip arbeitenden induktiven Sensor anzugeben, der es erlaubt, einen Material- und/oder Formparameter eines Metallgegenstands präziser als bisher zu ermitteln.

Die Erfindung geht aus von einem induktiven Sensor zum Erfassen eines Material- und/oder Formparameters eines Metallgegenstands, welcher umfasst:

- einen Impulsgenerator,
- wenigstens eine durch Treiberimpulse des Impulsgenerators erregbare

Sendespule zur Induzierung von Wirbelströmen in dem Metallgegenstand,

- wenigsten einen auf Magnetfelder der in dem Metallgegenstand induzierten Wirbelströme ansprechenden und ein von den
- 5 Wirbelströmen abhängiges Antwortsignal liefernden Magnetfeldsensor, insbesondere in Form einer Empfangsspule und
- eine auf das Antwortsignal ansprechende Auswerteschaltung, die einen Material- und/oder Formparameter repräsentierendes Informationssignal liefert.

10

Unter einem ersten Aspekt der Erfindung ist vorgesehen, dass die Sendespule und der Magnetfeldsensor quer zu ihren Magnetfeld-Hauptachsen nebeneinander angeordnet sind und der Metallgegenstand bezogen auf die Magnetfeld-Hauptachsen auf der gleichen Seite der

15 Sendespule und des Magnetfeldsensors anordenbar ist, wobei die Sendespule und der Magnetfeldsensor zum Metallgegenstand hin aufeinander zu geneigte Magnetfeld-Hauptachsen haben.

Auf diese Weise wird erreicht, dass das Zentrum maximaler Empfindlichkeit der Empfangsspule mit dem Bereich maximaler von der Sendespule in dem

20 Metallgegenstand induzierter Wirbelströme zumindest überlappt, wenn nicht gar im Wesentlichen vollständig überdeckt ist. Dies erhöht die Empfindlichkeit der Antwortsignale und damit die Genauigkeit, mit der der Material- und/oder Formparameter des Metallgegenstands erfasst werden

25 kann.

Die Empfindlichkeit des Sensors lässt sich insbesondere dann verbessern, wenn, wie nachfolgend noch näher erläutert wird, der Sendespule und/oder dem Magnetfeldsensor magnetische Abschirmmittel zugeordnet sind, die

30 dem Magnetfeldsensor gegen direkt übertretendes Magnetfeld der Sendespule zumindest teilweise abschirmen. Bei den Abschirmmitteln kann es sich, wie noch näher erläutert werden wird, um eine zwischen der Sendespule und dem Magnetfeldsensor angeordnete Abschirmwand

handeln. Zusätzlich oder auch alternativ kann die Sendespule und/oder der Magnetfeldsensor jeweils für sich abgeschirmt sein.

Unter einem zweiten Aspekt der Erfindung besteht die Verbesserung darin,
5 dass die Sendespule und der Magnetfeldsensor nebeneinander angeordnet sind, wobei entweder

- die Sendespule und der Magnetfeldsensor in Richtung ihrer Magnetfeld-Hauptachsen einander gegenüberliegend im Abstand angeordnet sind und der Metallgegenstand zwischen die Sendespule
10 und dem Magnetfeldsensor einführbar ist oder
- die Sendespule und der Magnetfeldsensor quer zu ihren Magnetfeld-Hauptachsen nebeneinander angeordnet sind und der Metallgegenstand bezogen auf die Magnetfeld-Hauptachsen auf der gleichen Seite der Sendespule und des Magnetfeldsensors anordenbar
15 ist und dass die Auswerteschaltung auf den ersten während des Treiberimpulses im Signalverlauf des Antwortsignals auftretenden Extremwert und/oder Nullwert und/oder Wendepunktwert anspricht und/oder auf wenigstens einen zu einem vorbestimmten Zeitpunkt nach Beginn des Treiberimpulses jedoch noch während des Treiberimpulses
20 auftretenden Amplitudenwert des Signalverlaufs des Antwortsignals anspricht und das den Material- und/oder Formparameter repräsentierende Informationssignal abhängig von der Amplitude des Extremwerts und/oder des zum vorbestimmten Zeitpunkt auftretenden Amplitudenwerts und/oder abhängig vom zeitlichen Abstand des
25 Extremwerts und/oder des Nullwerts vom Beginn des Treiberimpulses und/oder der Signalverlaufssteigung des Wendepunkt werts liefert.

Bei einem solchen induktiven Sensor wird das dem Material- und/oder Formparameter repräsentierende Informationssignal bereits während des
30 Treiberimpulses ermittelt, also innerhalb einer Zeitspanne, in welcher der Treiberimpuls die Sendespule erregt. Es hat sich herausgestellt, dass das Antwortsignal des Magnetfeldsensors bei erregter Sendespule unempfindlicher gegen Störeinflüsse ist als im Falle einer Auswertung des Antwort-

signals bei abklingender Erregung nach dem Ende des Treiberimpulses, wie dies bei herkömmlichen induktiven Sensoren der in Rede stehenden Art vielfach üblich ist. Bei den Treiberimpulsen handelt es sich bevorzugt um schmale Rechteckimpulse mit einer Impulsbreite zwischen etwa 10 ns und 10 μ s. Die Treiberimpulse werden zweckmäßigerweise periodisch erzeugt mit einer Impulspause, die hinreichend groß ist, um sicherzustellen, dass der Einfluss des Treiberimpulses auf das Antwortsignal bis zum Auftreten des nächsten Treiberimpulses auf einen vernachlässigbaren Wert abgeklungen ist. Zweckmäßigerweise liegt die Impulspause in der Größenordnung zwischen 50 bis 200 μ s. Das auf diese Weise jeweils durch einzelne Treiberimpulse bestimmte Antwortsignal enthält ein breites Frequenzspektrum, das es erlaubt, auch vergleichsweise kleine Änderungen des Material- und/oder Formparameters hinreichend genau zu bestimmen.

Die Induktivität der Sendespule und die Amplitude des Treiberimpulses sind so bemessen, dass das Antwortsignal bereits während der Impulsdauer des Treiberimpulses einen Extremwert hat. Bei einem mit einer Anstiegsflanke beginnenden Treiberimpuls handelt es sich bei dem Extremwert um einen Maximalwert des Antwortsignals. Bei einem mit einer abfallenden Flanke beginnenden Treiberimpuls beginnt das Antwortsignal mit einem Minimum. Auf den Extremwert folgt ein Nullwert des Antwortsignals. Die Sendespule ist zweckmäßigerweise so bemessen, dass auch der Nullwert noch während der Impulsdauer des Treiberimpulses auftritt; der Nullwert kann jedoch auch abhängig von der Induktivität der Sendespule, der Amplitude des Treiberimpulses und dem zu ermittelnden Material und/oder Formparameter des Metallgegenstands nach Beendigung vorzugsweise kurz nach Beendigung des Treiberimpulses auftreten. Es hat sich herausgestellt, dass auch die von dem ersten Extremwert zum ersten Nullwert des Antwortsignals führende Signalflanke des Antwortsignals ein Maß für den zu bestimmenden Material- und/oder Formparameter des Metallgegenstands ist. Die Ermittlung des den Material- und/oder Formparameter repräsentierenden Informationssignals erfolgt erfindungsgemäß abhängig von dem während des Treiberimpulses auftretenden ersten Extremwert und/oder dem ersten

Nullwert im Signalverlauf des Antwortsignals und/oder abhängig von einem während des Treiberimpulses auftretenden Bereich der Signalflanke des Antwortsignals zwischen dem ersten Extremwert und dem ersten Nullwert und/oder wenigstens einem Wendepunktwert des Signalverlaufs. Für das Informationssignal kann hierbei der Zeitpunkt des ersten Extremwerts und/oder der Zeitpunkt des ersten Nullwerts jeweils bezogen auf den Beginn des Treiberimpulses ausgewertet werden. Zusätzlich oder alternativ kann aber auch der Amplitudenwert des ersten Extremwerts und/oder der zu einem vorbestimmten Zeitpunkt während des Treiberimpulses ermittelte Amplitudenwert der Signalflanke zwischen dem ersten Extremwert und dem ersten Nullwert und/oder der Signalverlaufssteigung an dem Wendepunktwert für die Bestimmung des den Material- und/oder Formparameter repräsentierenden Informationssignals ausgewertet werden.

Es hat sich gezeigt, dass die Auswertung des Extremwerts, des Nullwerts, des Wendepunktwertes oder der Signalflanke mit vergleichsweise geringem schaltungstechnischen Aufwand durchgeführt werden kann, ohne dass die Genauigkeit der Ermittlung des Material- und/oder Formparameters darunter leidet. Es versteht sich, dass im Einzelfall die Auswertung eines einzelnen der vorstehenden Werte genügt. Die Genauigkeit lässt sich aber erhöhen, wenn gegebenenfalls mehrere dieser Werte berücksichtigt werden. Ferner hat sich gezeigt, dass die vorstehend erläuterte Art der Ermittlung des Informationssignals in aller Regel nur wenig von der Position des Metallgegenstands relativ zur Sendespule bzw. dem Magnetfeldsensor abhängt. Der Abstand des Metallgegenstands von der Sendespule bzw. dem Magnetfeldsensor kann deshalb variieren, ohne dass dies Auswirkungen auf das Informationssignal hat.

Eine Auswerteschaltung der unter dem zweiten Aspekt der Erfindung erläuterten Art wird bevorzugt auch unter dem ersten Aspekt der Erfindung eingesetzt. Der Signalverlauf des Antwortsignals des Magnetfeldsensors lässt sich aber auch durch Korrelation des Signalverlaufs des Antwortsignals mit einem Referenz-Signalverlauf erreichen oder aber das

Informationssignal wird durch Methoden einer schnellen Fouriertransformationsanalyse (Fast Fourier Transformation) ermittelt.

5 Der erfindungsgemäße induktive Sensor eignet sich insbesondere für die Ermittlung von Abweichungen der Material- und/oder Formparameter des Metallgegenstands von einem Referenzwert des Parameters, wie er beispielsweise in einer Referenzposition des Metallgegenstands mittels des selben induktiven Sensors ermittelt werden kann. Es versteht sich, dass der Referenzwert jedoch auch basierend auf Erfahrungswerten vorgegeben
10 werden kann.

Bei herkömmlichen, nach dem Wirbelstromprinzip arbeitenden induktiven Sensoren ist der Magnetfeldsensor mit dem von der Sendespule erzeugten primären Magnetfeld in der Regel fest gekoppelt. Im Rahmen der Erfindung
15 hat es sich herausgestellt, dass bei der vorstehend erläuterten Auswertung des Antwortsignals durch Bestimmung von Extremwerten, Nullwerten und Signalfankenwerten die Genauigkeit der Auswertung verbessert werden kann, wenn die direkte Magnetfeldkopplung der Sendespule und des Magnetfeldsensors verringert wird. In einer ersten Alternative des
20 erfindungsgemäßen induktiven Sensors sind die Sendespule und der Magnetfeldsensor auf einander abgewandten Seiten des Metallgegenstands im Abstand voneinander angeordnet, wobei der Magnetfeldsensor auf das sekundäre Magnetfeld der vom primären Magnetfeld der Sendespule in dem Metallgegenstand induzierten Wirbelströme anspricht. Der
25 Metallgegenstand ist hierbei zweckmäßigerweise in seinen Abmessungen so groß gewählt, dass er zugleich für eine Wirbelstromabschirmung des primären Magnetfelds gegenüber dem Magnetfeldsensor wirkt. Die Sendespule und der Magnetfeldsensor liegen sich hierbei in Richtung ihrer Magnetfeld-Hauptachsen einander gegenüber, insbesondere gleichachsig einander gegenüber, so dass der Magnetfeldsensor im Wesentlichen auf
30 den Bereich maximaler Wirbelströme ausgerichtet ist. Unter einer Magnetfeld-Hauptachse soll vorangegangen und im Folgenden die Achse verstanden werden, längs der die Sendespule ihr Magnetfeldstärkemaximum

hat, bzw. der Magnetfeldsensor seine größte Magnetfeldstärkeempfindlichkeit hat.

In einer Alternative des erfindungsgemäßen induktiven Sensors sind die
5 Sendespule und der Magnetfeldsensor quer zu ihren Magnetfeld-
Hauptachsen im Abstand voneinander jedoch auf der gleichen Seite des
Metallgegenstands angeordnet. Der Anteil der von der Sendespule direkt
auf den Magnetfeldsensor übergreifenden Magnetfelder lässt sich auf diese
Weise verringern, womit der relative Einfluss der in dem Metallgegenstand
10 induzierten Wirbelströme auf das Antwortsignal zunimmt. Entsprechend
dem ersten Aspekt der Erfindung sind auch unter dem zweiten Aspekt die
Magnetfeld-Hauptachsen der Sendespule und des Magnetfeldsensors zum
Metallgegenstand hin aufeinander zu geneigt, so dass trotz des
Querabstands des Magnetfeldsensors von der Sendespule der Bereich
15 maximaler Feldstärkeempfindlichkeit des Magnetfeldsensors mit dem
Bereich maximaler von der Sendespule in dem Metallgegenstand
induzierten Wirbelströme überlappend ausgerichtet werden kann.

In einer bevorzugten Ausgestaltung des ersten und des zweiten Aspekts der
20 Erfindung sind der Sendespule und/oder dem Magnetfeldsensor
magnetische Abschirmmittel zugeordnet, die den Magnetfeldsensor gegen
direkt übertretendes Magnetfeld der Sendespule zumindest teilweise
abschirmen. Bei den Abschirmmitteln kann es sich um ferromagnetisches
Material handeln. Bevorzugt handelt es sich aber um nach dem
25 Wirbelstromprinzip arbeitende Abschirmmittel aus einem nicht
ferromagnetischen Material, da solche Abschirmmittel beim Vorhandensein
starker magnetischer Fremdfelder, wie sie beispielsweise bei elektrischen
Schweißanlagen auftreten können, kein Sättigungsverhalten zeigen. Bei den
Abschirmmitteln kann es sich um eine zwischen der Sendespule und dem
30 Magnetfeldsensor angeordnete Abschirmwand handeln. Zusätzlich oder
auch alternativ kann die Sendespule und/oder der Magnetfeldsensor in
einem in Richtung der Magnetfeld-Hauptachse offenen Abschirmbecher
angeordnet sein. Es versteht sich, dass der Abschirmbecher gegebenenfalls

die Form einer beidseitig offenen Buchse oder dergleichen haben kann.

Zusätzlich oder anstelle der vorstehend erläuterten passiven magnetischen Abschirmmittel kann dem Magnetfeldsensor eine weitere, durch

5 Treiberimpulse erregbare Sendespule zugeordnet sein, deren Magnetfeld direkt übertretendes Magnetfeld der Sendespule am Magnetfeldsensor aktiv kompensiert, zumindest jedoch schwächt.

Die Justierung des Antwortsignals des Magnetfeldsensors bezogen auf den
10 Treiberimpuls lässt sich nicht nur durch die Dimensionierung der Sendespule oder deren Erregung durch Treiberimpulse beeinflussen.

Insbesondere für die Nullwert-Kompensation des Antwortsignals kann auf der dem Metallgegenstand abgewandten Seite der Sendespule und/oder des Magnetfeldsensors ein Kompensations-Metallblechteil angeordnet sein,
15 welches aufgrund der in ihm induzierten Wirbelströme den Signalverlauf des Antwortsignals verändert. Durch geeignete Wahl des Materials, der Form und/oder der Abmessungen des Kompensations-Metallblechteils, lässt sich insbesondere der Nullwert des Referenz-Antwortsignals zu Null justieren.

20 Das Antwortsignal des Magnetfeldsensors kann durch unmittelbar in den Einflussbereich der Sendespule und/oder des Magnetfeldsensors gebrachte Referenzmaterialien beeinflusst werden, insbesondere zur Kompensation bzw. Justierung des Referenz-Nullwerts des Referenz-Antwortsignals. In

Alternativen, bei welchen die Sendespule und der Magnetfeldsensor
25 aufeinander abgewandten Seiten des zu untersuchenden Metallgegenstands angeordnet sind, lässt sich der Vergleich des Antwortsignals mit dem einer Referenz zugeordneten Antwortsignal auch in einem Zweikanalsystem realisieren. Hierzu kann auf der dem
30 Magnetfeldsensor abgewandten Seite der Sendespule im Abstand von der Sendespule ein weitere Magnetfeldsensor, insbesondere gleichfalls in Form einer weiteren Empfangsspule angeordnet sein, wobei zwischen der Sendespule und dem weiteren Magnetfeldsensor ein Referenz-Metallgegenstand angeordnet ist, in welchem die Sendespule Wirbelströme

induziert, auf deren Magnetfeld der weitere Magnetfeldsensor anspricht, wobei die Auswerteschaltung zur Bildung des Referenzwerts auf Antwortsignale des weiteren Magnetfeldsensors anspricht. Alternativ kann auch vorgesehen sein, dass auf der von der Sendespule abgewandten Seite
5 des Magnetfeldsensors eine weitere durch Treiberimpulse des Impulsgenerators erregbare Sendespule im Abstand von dem Magnetfeldsensor angeordnet sein. Zwischen dem Magnetfeldsensor und der weiteren Sendespule kann ein Referenz-Metallgegenstand angeordnet sein, in welchem die weitere Sendespule Wirbelströme induziert, auf deren
10 Magnetfeld der Magnetfeldsensor auch anspricht, wobei die Auswerteschaltung das Informationssignal abhängig von der Differenz der Antwortsignale der Sendespulen und dem Referenzwert liefert.

Eine weitere Sendespule bzw. ein weiterer Magnetfeldsensor kann entfallen,
15 wenn zwischen der Sendespule und dem Magnetfeldsensor zusätzlich ein Referenz-Metallgegenstand angeordnet ist, in welchem das Magnetfeld der in dem zu untersuchenden Metallgegenstand induzierten Wirbelströme ihrerseits sekundären Wirbelströme induzieren, auf die dann der Magnetfeldsensor anspricht oder in welchem das Magnetfeld der Sendespule Wirbelströme induziert, deren Magnetfeld ihrerseits in dem Metallgegenstand die
20 sekundären Wirbelströme induziert auf deren Magnetfeld der Magnetfeldsensor anspricht.

In einer bevorzugten Ausgestaltung ist die Sendespule und, soweit der
25 Magnetfeldsensor als Empfangsspule ausgebildet ist, auch die Empfangsspule als Luftspulen ausgebildet. Im Gegensatz zu Spulen mit einem ferromagnetischen Kern, beispielsweise einem Ferritkern, werden induktive Sensoren mit Luftspulen nicht durch magnetische Fremdfelder beeinflusst, da Luftspulen kein Sättigungsverhalten zeigen. Auf diese Weise
30 kann zum Beispiel Schweißfestigkeit der induktiven Sensoren erreicht werden.

Die Amplitude des während des Treiberimpulses auszuwertenden

Antwortsignals des Magnetfeldsensors kann stark schwanken, insbesondere wenn für die Auswertung sowohl Extremwerte als auch Nullwerte berücksichtigt werden sollen. In einer bevorzugten Ausgestaltung weist deshalb die Auswerteschaltung einen Verstärker mit bei wachsender Eingangssignalamplitude nicht linear abnehmendem Verstärkungsfaktor auf. Geeignet ist beispielsweise ein logarithmischer Verstärker.

Im Folgenden wird die Erfindung anhand einer Zeichnung näher erläutert. Hierbei zeigt:

10

Figur 1 eine schematische Darstellung einer ersten Ausführungsform eines erfindungsgemäßen, nach dem Wirbelstromprinzip arbeitenden, induktiven Sensors;

15

Figuren 2a und b Zeitdiagramme von einer Sendespule des Sensors zugeführten Treiberimpulsen bzw. von mittels einer Empfangsspule erfassten Antwortsignalen;

20

Figur 3 eine schematische Darstellung einer zweiten Ausführungsform eines nach dem Wirbelstromprinzip arbeitenden induktiven Sensors;

Figuren 4 bis 6 Varianten des induktiven Sensors gemäß Figur 3.

25

Figur 1 zeigt einen nach dem Wirbelstromprinzip arbeitenden, induktiven Sensor 1, mit dem ein Material- und/oder Formparameter eines Metallgegenstands 3 beispielsweise eines Blechteils oder eines Gussformteils oder dergleichen und/oder die Abweichung dieses Parameters von einem Referenzwert erfasst werden kann. Der Sensor 1 weist eine als Luftspule ausgebildete Sendespule 5 auf, deren Magnetfeld-Hauptachse 7 auf den Metallgegenstand 3 gerichtet ist. Auf der selben Seite des Metallgegenstands ist im Abstand neben der Sendespule 5 ein Magnetfeldsensor 9 hier in Form einer als Luftspule ausgebildeten

30

Empfangsspule angeordnet, deren Magnetfeld-Hauptachse 11 unter einem Winkel α gegen die Magnetfeld-Hauptachse 7 der Sendespule 5 geneigt auf den Metallgegenstand 3 gerichtet ist. Die Magnetfeld-Hauptachsen 7, 11 haben damit auf dem Metallgegenstand 3 einen geringeren Abstand als
5 zwischen der Sendespule 5 und dem Magnetfeldsensor 9.

Die Sendespule 5 wird durch eine Folge von Rechteckimpulsen 13 (Figur 2a) eines Impulsgenerators 15 erregt und erzeugt damit ein primäres Magnetfeld, das in dem Metallgegenstand 3 in einem Bereich 17
10 Wirbelströme induziert, auf deren sekundäres Magnetfelds der Magnetfeldsensor 9 anspricht. Da die Magnetfeld-Hauptachsen 7, 11 zum Metallgegenstand 3 hin aufeinander zu geneigt sind, überlappt der Bereich maximaler Empfindlichkeit des Magnetfeldsensors 9 den Bereich maximaler von der Sendespule 5 induzierter Wirbelströme, was der
15 Ansprechempfindlichkeit des Sensors zugute kommt.

Der Magnetfeldsensor 9 ist mit einer Auswerteschaltung 19 verbunden, die ein vom sekundären Magnetfeld der Wirbelströme abhängiges Antwortsignal S (Figur 2b) über einen Verstärker 21 aufnimmt und in nachfolgend noch
20 näher anhand der Figuren 2a und 2b erläuteter Weise auswertet und mit einem in einem Speicher 23 gespeicherten Referenzwert vergleicht. Die Auswerteschaltung 19 gibt das dem Material- und/oder Formparameter oder dessen Abweichung von einem Referenzwert repräsentierende Informationssignal an einem Informationsausgang 25 ab. Es versteht sich,
25 dass die Auswerteschaltung 19 anstelle der Antwortsignale auch Informationssignale miteinander vergleichen kann.

Der Referenzwert in dem Speicher 23, bei dem es sich um eine die Referenz kennzeichnende Gruppe von Werten handeln kann, können empirisch
30 vorgegeben werden oder aber, wie in Figur 1 für den Bereich 17 dargestellt, in einer Referenzposition des Metallgegenstands 3 gemessen und gespeichert werden. Wird der Sensor 1 auf Bereiche des Metallgegenstands 3 mit abweichender Konfiguration gerichtet, so liefert die Auswerteschaltung

19 ein vom Referenzwert abweichendes Informationssignal, welches die Änderung des Material- und/oder Formparameters des Metallgegenstands 3 repräsentiert. Bei 17' ist als Beispiel eine hinter einer Bohrung 27 auf die dem Sensor 1 abgewandte Rückseite des zum Beispiel aus Metallblech bestehenden Metallblechgegenstands 3 aufgeschweißt ist und damit von der Vorderseite des Metallgegenstands 3 nicht einwandfrei erkennbar ist. Der Sensor 1 vergleicht das für den Bereich 17' ausgewertete Antwortsignal mit dem für den Referenzbereich 17 ausgewerteten Referenz-Antwortsignal, was eine einwandfreie Identifizierung erlaubt, ob die Schraubmutter 29 vorhanden ist oder nicht. Bei 17'' ist als weiteres Beispiel eine Schweißnaht 31 an dem Blechgegenstand angebracht, deren Position relativ zu dem Metallgegenstand 3 identifizierbar ist, wenn der Sensor 1 und der Metallgegenstand 3 relativ zueinander bewegt werden. Der Sensor 1 erlaubt damit automatisiertes Ausrichten des Metallgegenstands 3 für eine weitere Bearbeitung. Der Sensor 1 erlaubt in gleicher Weise auch das Erfassen anderer Parameter, beispielsweise das Erfassen von Härtegraden, insbesondere Oberflächenhärtegraden von Metallbauteilen und deren Abweichung von einem Referenzwert. Ferner lassen sich Metallgegenstände nach der Art des Metalls klassifizieren, wie zum Beispiel Buntmetall, Stahl oder rostfreiem Stahl.

Die Sendespule 5 wird, wie Figur 2a über einer Zeitachse t zeigt, durch eine Folge von rechteckförmigen Treiberimpulsen 13 mit gleichbleibender Amplitude P_0 erregt. Die Treiberimpulse 13 haben eine Impulsbreite T_0 zwischen einigen Nanosekunden und einigen Mikrosekunden, vorzugsweise etwa 2 bis 3 μs . Die Treiberimpulse 13 sind durch Impulspausen T_1 , die wesentlich länger als die Impulsbreite T_0 ist und beispielsweise zwischen 50 und 200 μs liegt, voneinander getrennt.

Die Auswerteschaltung 19 untersucht Antwortsignale des Magnetfeldsensors 9 im Wesentlichen nur während der Impulsdauer T_0 der Treiberimpulse, wobei das den Material- und/oder Formparameter des Metallgegenstands 3 repräsentierende Informationssignal jeweils ausschließlich abhängig vom

Signalverlauf des Antwortsignals während der Dauer des Treiberimpulses 13 ermittelt wird. Es hat sich herausgestellt, dass das Antwortsignal durch Fremdeinflüsse weniger beeinflusst wird, solange die Sendespule durch den Treiberimpuls erregt wird. Aufgrund der verglichen mit der Impulsdauer T_0 beträchtlich längeren Impulspause T_1 kann das Antwortsignal bis zum
5 Beginn des nächsten Treiberimpulses hinreichend abklingen. Da die Treiberimpulse vergleichsweise kurze Rechteckimpulse sind, wird das Antwortsignal durch ein vergleichsweise großes Frequenzspektrum der Wirbelströme beeinflusst, was der Genauigkeit, mit der Material- und/oder
10 Formparameter des Metallgegenstands 3 erkannt werden können, zugute kommt.

Figur 2b zeigt beispielhaft den Signalverlauf des Antwortsignals S des Magnetfeldsensors 9 in Abhängigkeit von der Zeit t. Mit einer durchgehenden Linie 31 ist ein Beispiel für den Signalverlauf des
15 Antwortsignals des Magnetfeldsensors 9 für Wirbelströme in einem Referenzbereich des Metallgegenstands 3 ähnlich dem Referenzbereich 17 in Figur 1 dargestellt. Mit Beginn des Treiberimpulses 13 zum Zeitpunkt t_0 steigt der Signalverlauf 31 des Antwortsignals bis auf ein Maximum 33 zum
20 Zeitpunkt t_m mit der Amplitude S_m an. Nachdem der Treiberimpuls 13 konstante Amplitude P_0 hat, fällt der Signalverlauf 31 in einer Abfallflanke 35 entsprechend den abnehmenden Wirbelströmen auf einen Nullwert 37 zum
Zeitpunkt t_n ab. Der Nullwert wird im vorliegenden Fall noch während des Treiberimpulses erreicht, bevor der Signalverlauf 31 entsprechend der
25 abfallenden Rückflanke des Treiberimpulses auf einen Minimumwert 39 während der Impulspause abfällt.

Abhängig von den Material- und/oder Formparametern des Metallgegenstands 3 ändert sich der Signalverlauf des Antwortsignals des Magnetfeldsensors 9, wie dies beispielhaft mit einem strichpunktiert dargestellten
30 Signalverlauf 31' für eine vom Referenzbereich 17 abweichende Material- und/oder Formkonfiguration des Metallgegenstands 3 dargestellt ist. Wie Figur 2b zeigt, kann sich der Maximalwert 33 in den Maximalwert 33' ändern,

wobei sich nicht nur der Zeitpunkt des Maximalwerts bezogen auf den Beginn t_0 des Treiberimpulses von t_m in $t_{m'}$ ändern kann, sondern auch der Amplitudenwert S_m des Maximalwerts in $s_{m'}$. Des Weiteren kann sich der Nullwert 37 vom Zeitpunkt t_n in den Nullwert 37' zum Zeitpunkt $t_{n'}$ verändern.

5 Darüber hinaus kann sich auch die Steilheit und die Form der abfallenden Flanke 35 ändern, wie dies bei 35' angedeutet ist. Auch die Flankenform kann zum Erfassen des Material- und/oder Formparameters des Metallgegenstands 3 ausgewertet werden, wobei zu einem vorgegebenen Zeitpunkt t_1 während der Dauer des Treiberimpulses die Amplitude des
10 Signalverlaufs 31 bzw. 31' erfasst wird. Im vorliegenden Beispiel steigt der Amplitudenwert des Signalverlaufs 31 von S_i für den Referenzwert auf S_r . Es versteht sich, dass auch zu mehreren Zeitpunkten t_1 Amplitudenwerte S_i bzw. S_r erfasst werden können.

15 Für die Ermittlung der Abweichung des Material- und/oder Formparameters von Referenzwerten der Parameter und die Überwachung, ob vorgegebene Grenzen der Abweichung eingehalten oder überschritten werden, bildet die Auswerteschaltung 19 Differenzwerte beispielsweise der Zeitparameter t_m und $t_{m'}$ und/oder t_n und $t_{n'}$ und/oder Amplitudendifferenzwerte S_m und $S_{m'}$
20 und/oder S_i und S_r . Die Differenzwerte werden mit Grenzwerten und/oder Schwellwertfenstern für die Bestimmung des den Material- und/oder Formparameter repräsentierenden Informationssignals verglichen. Es versteht sich, dass die Auswerteschaltung 19 die Werte des Antwortsignals auch bewerten und/oder nach vorbestimmten Algorithmen zur Festlegung
25 des Informationssignals durch Vergleich mit Grenzwerten und/oder Schwellwertfenstern auswerten kann. Auch können hierbei Differenzwerte eines aktuellen Informationssignals und eines Referenz-Informationssignals gebildet und mit Grenzwerten und/oder Schwellwertfenstern verglichen werden.

30 Der Signalverlauf des Antwortsignals des Magnetfeldsensors 9 kann auch Wendepunkte im mathematischen Sinn enthalten, an welchen sich das Vorzeichen der Steigungsänderung des Signalverlaufs ändert, d.h. die

zweite zeitliche Ableitung des Signalverlaufs Null wird. Auch solche Wendepunktwerte lassen sich für die Ermittlung des Informationssignals auswerten, beispielsweise in dem der Steigungswert an dem Wendepunkt mit einem Referenzwert bzw. einem Grenzwert und/oder Schwellwertfenster verglichen wird.

Eventuell direkt mit dem Magnetfeldsensor 9 gekoppelte primäre Magnetfelder der Sendespule 5 können das die sekundären Magnetfelder der Wirbelströme repräsentierende Antwortsignal des Magnetfeldsensors 9 beeinflussen. Um diesen Einfluss gering zu halten, ist der Magnetfeldsensor 9 nicht nur quer zu den Magnetfeld-Hauptachsen 5, 11 im Abstand von der Sendespule 5 angeordnet, sondern zwischen dem Magnetfeldsensor 9 und der Sendespule 5 ist eine das Magnetfeld abschirmende Abschirmwand 41 (Figur 1) angeordnet. Zusätzlich oder alternativ können die Sendespule und/oder der Magnetfeldsensor 9 in einem zum Metallgegenstand 3 offenen Magnetfeld-Abschirmbecher 43 angeordnet sein. Die Abschirmwand 41 und der Abschirmbecher 43 können aus ferromagnetischem Material bestehen, sind aber bevorzugt als Wirbelstrom-Abschirmmittel ausgebildet und bestehen aus nicht ferromagnetischem Metall.

Die Abschirmmittel 41, 43 wirken passiv. Zusätzlich oder alternativ kann dem Magnetfeldsensor 9 auch eine weitere vom Impulsgenerator 15 mit Treiberimpulsen erregte Sendespule 45 zugeordnet sein, die von der Sendespule 5 direkt auf den Magnetfeldsensor 9 gekoppelte Magnetfelder zumindest teilweise kompensiert. Die passiven oder aktiven Abschirmmaßnahmen verbessern die Ansprechgenauigkeit des Sensors auf Material- und/oder Formparameter des Metallgegenstands 3.

Der Zeitpunkt, zu dem sich der Nullwert des Signalverlaufs ergibt, hängt von einer Vielzahl Dimensionierungsparameter des Sensors ab. Um den Einfluss der Dimensionierungsparameter zu kompensieren, können der Sendespule 5 und/oder dem Magnetfeldsensor 9 das Magnetfeld beeinflussende elektrisch leitende Materialien zugeordnet sein, wie dies in Figur 1 auf der

dem Metallgegenstand 3 abgewandten Seite der Sendespule 5 und des Magnetfeldsensors 9 bei 47 angedeutet ist.

Im Folgenden werden Varianten des induktiven Sensors erläutert.

5 Gleichwirkende Komponenten sind mit den Bezugszahlen der Figur 1 bezeichnet und zur Unterscheidung mit einem Buchstaben versehen. Zur Erläuterung des Aufbaus und der Wirkungsweise einschließlich eventueller Varianten wird auf die vorangegangene Beschreibung der Figuren 1, 2a und 2b Bezug genommen. Die Erläuterungen zu den Figuren 2a und 2b gelten in
10 vollem Umfang auch für die nachfolgend erläuterten Ausführungsformen.

Figur 3 zeigt eine Variante eines induktiven Sensors 1a, die sich von dem Sensor 1 der Figur 1 lediglich dadurch unterscheidet, dass die Sendespule 5a in Richtung ihrer Magnetfeld-Hauptachsen 7a und 11a im Abstand
15 voneinander angeordnet sind, während sich der Metallgegenstand 3a für die Ermittlung des Material- und/oder Formparameters zwischen der Sendespule 5a und dem Magnetfeldsensor 9a befindet. Die Sendespule 5a und der Magnetfeldsensor 9a sind damit auf voneinander abgewandten
20 Seiten des Metallgegenstands 3a angeordnet. Bei hinreichend großen Querabmessungen des Metallgegenstands 3a, wie dies beispielsweise bei der Überprüfung von Metallplatten oder dergleichen der Fall sein kann, wirkt der Metallgegenstand 3a zugleich als Abschirmung des Magnetfeldsensors 9a gegen direktes Überkoppeln des primären Magnetfelds der Sendespule 5a. Mit Hilfe einer solchen Anordnung lassen sich nicht nur die Material- und
25 Formparameter überwachen, wie sie anhand von Figur 1 erläutert wurden, sondern beispielsweise auch Vereinzelnungsfehler, wie sie bei Material-Zuführeinrichtungen auftreten können, wenn anstelle, wie gewünscht, einzelner Metallgegenstände, wie zum Beispiel Blechstücken, zwei oder mehr aneinander haftende Blechstücke einer weiterverarbeitenden
30 Maschine zugeführt werden. Es versteht sich, dass auch mit dem Sensor der Figur 1 eine Mehrfachblecherkennung möglich ist.

Die anhand von Figur 1 erläuterten Komponenten 15, 19, 21, 25, 43, 45 und

47 sind auch bei dem Sensor der Figur 3 vorhanden. Der Magnetfeldsensor 9a ist darüber hinaus zweckmäßigerweise als Empfangsspule ausgebildet, wobei die Spulen 5a und 9a Luftspulen sind.

5 Figur 4 zeigt einen induktiven Sensor ähnlich dem Sensor der Figur 3, wobei jedoch der durch Rechteck-Treiberimpulse erregten Sendespule 5b beiderseits in Richtung ihrer Magnetfeld-Hauptachse 7b als Luftspulen ausgebildete Magnetfeldsensoren 9b und 9b' im Abstand von der Sendespule 5b zugeordnet sind. Der Metallgegenstand 3b ist entsprechend
10 Figur 3 zwischen der Sendespule 5b und dem Magnetfeldsensor 9b angeordnet. Zwischen der Sendespule 5b und dem weiteren Magnetfeldsensor 9b' ist ein metallischer Referenzgegenstand 3b angeordnet, wobei der weitere Magnetfeldsensor 9b' das sekundäre Magnetfeld der vom primären Magnetfeld der Sendespule 5b in dem Referenzgegenstand 3b'
15 induzierten Wirbelströme erfasst. Die nicht näher dargestellte Auswerteschaltung spricht auf das Differenzsignal der Antwortsignale der Magnetfeldsensoren 9b und 9b' an, wobei die Auswertung des Differenz-Antwortsignals analog zu den Erläuterungen im Zusammenhang mit den Figuren 2a und 2b erfolgt. Die Abschirm- bzw. Kompensationsmittel 43 und
20 47, wie sie anhand von Figur 1 für den Magnetfeldsensor 9 erläutert wurden, können vorhanden sein.

Figur 5 zeigt eine Variante eines induktiven Sensors, der sich vom Sensor der Figur 4 im Wesentlichen nur dadurch unterscheidet, dass beiderseits
25 eines gemeinsamen, insbesondere als Luftspule ausgebildeten Magnetfeldsensors 9c Sendespulen 5c und 5c' bezogen auf die Magnetfeldachsen 7c und 11c gleichachsig jedoch im Abstand von dem Magnetfeldsensor 9c angeordnet sind. Der Metallgegenstand 3c ist wiederum zwischen dem Magnetfeldsensor 9c und der Sendespule 5c angeordnet, während zwischen
30 dem Magnetfeldsensor 9c und der weiteren Sendespule 5c' ein Referenz-Metallgegenstand 3c' vorgesehen ist. Die beiden Sendespulen 5c und 5c' werden gemeinsam durch Treiberimpulse erregt, wie dies anhand von Figur 1 erläutert wurde. Das Antwortsignal des Magnetfeldsensors 9c wird

entsprechend den Erläuterungen zu Figur 1, 2a und 2b ausgewertet. Die anhand von Figur 1 erläuterten Abschirmmittel 43 und Kompensationsmittel 47 können vorhanden sein.

5 Figur 6 zeigt eine Variante eines induktiven Sensors 1d, die sich von dem Sensor 1a der Figur 3 im Wesentlichen dadurch unterscheidet, dass zwischen der Sendespule 5d und dem Magnetfeldsensor 9d nicht nur der Metallgegenstand 3d angeordnet ist, dessen Material- und/oder Formparameter erfasst werden soll, sondern zusätzlich noch ein Referenz-
10 Metallgegenstand 3d'. Der wiederum bevorzugt als Luftspule ausgebildete Magnetfeldsensor 9d und die Sendespule 5d sind wiederum bezogen auf ihre Magnetfeld-Hauptachsen 7d bzw. 11d gleichachsig aber im Abstand voneinander angeordnet, wobei der Referenz-Metallgegenstand 3d' zwischen dem Metallgegenstand 3d und dem Magnetfeldsensor 9d
15 angeordnet ist. Im Unterschied zu dem Sensor 1a der Figur 3 spricht der Magnetfeldsensor 9d nicht auf das sekundäre Magnetfeld der vom primären Magnetfeld der Sendespule 5d in dem Metallgegenstand 3d induzierten Wirbelströme an, sondern indirekt auf ein tertiäres Magnetfeld, welches seinerseits auf Wirbelströme zurückgeht, die das sekundäre Magnetfeld des
20 Metallgegenstands 3d in dem Referenz-Metallgegenstand 3d' induziert. Es versteht sich, dass der Referenz-Metallgegenstand 3d' auch zwischen der Sendespule 5d und dem Metallgegenstand 3d angeordnet sein kann. Die anhand der Figur 1 erläuterten Abschirmmittel 43 und Kompensationsmittel 47 können vorhanden sein. Das Antwortsignal des Magnetfeldsensors 9d
25 wird entsprechend den Erläuterungen zu Figur 1 ausgewertet.

Ansprüche

1. Induktiver Sensor zum Erfassen eines Material- und/oder Formparameters eines Metallgegenstands (3), umfassend
- einen Impulsgenerator (15),
 - wenigstens eine durch Treiberimpulse (13) des Impulsgenerators (15) erregbare Sendespule (5) zu Induzierung von Wirbelströmen in dem Metallgegenstand (3),
 - wenigstens einen auf Magnetfelder der in dem Metallgegenstand (3) induzierten Wirbelströme ansprechenden und ein von den Wirbelströmen abhängiges Antwortsignal liefernden Magnetfeldsensor (9), insbesondere in Form einer Empfangsspule und
 - eine auf das Antwortsignal ansprechende Auswerteschaltung (19), die in dem Material- und/oder Formparameter repräsentierendes Informationssignal liefert,
- dadurch gekennzeichnet, dass
- die Sendespule (5) und der Magnetfeldsensor (9) nebeneinander angeordnet sind, wobei entweder
- die Sendespule (5) und der Magnetfeldsensor (9) quer zu ihren Magnetfeld-Hauptachsen (5, 11) nebeneinander angeordnet sind und der Metallgegenstand (3) bezogen auf die Magnetfeld-Hauptachsen (7, 11) auf der gleichen Seite der Sendespule (5) und des Magnetfeldsensors (9) anordenbar ist, und dass
- die Sendespule (5) und der Magnetfeldsensor (9) zum Metallgegenstand (3) hin aufeinander zu geneigte Magnetfeld-Hauptachsen (7, 11) haben.
2. Induktiver Sensor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Auswerteschaltung (9) auf den ersten während des Treiberimpulses (13) im Signalverlauf des Antwortsignals auftretenden Extremwert (33) und/oder Nullwert (37) und/oder Wendepunktwert anspricht und/oder auf wenigstens einen zu einem vorbestimmten Zeitpunkt (t_1) nach Be-

ginn des Treiberimpulses (13) jedoch noch während des Treiberimpulses (13) auftretenden Amplitudenwert (S_t) des Signalverlaufs des Antwortsignals anspricht und das den Material- und/oder Formparameter repräsentierende Informationssignal abhängig von der Amplitude des Extremwerts (33) und/oder des zum vorbestimmten Zeitpunkt (t_1) auftretenden Amplitudenwerts (S_t) und/oder abhängig vom zeitlichen Abstand des Extremwerts (33) und/oder des Nullwerts (37) von Beginn des Treiberimpulses (13) und/oder der Signalverlaufssteigung des Wendepunktwerts liefert.

3. Sensor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Auswerteschaltung (19) für das Informationssignal das Antwortsignal des Magnetfeldsensors mit einem Referenz-Antwortsignal korreliert oder einer schnellen Fouriertransformation unterwirft.

4. Induktiver Sensor zum Erfassen eines Material- und/oder Formparameters eines Metallgegenstands (3), umfassend

- einen Impulsgenerator (15),
- wenigstens eine durch Treiberimpulse (13) des Impulsgenerators (15) erregbare Sendespule (5) zu Induzierung von Wirbelströmen in dem Metallgegenstand (3),
- wenigstens einen auf Magnetfelder der in dem Metallgegenstand (3) induzierten Wirbelströme ansprechenden und ein von den Wirbelströmen abhängiges Antwortsignal liefernden Magnetfeldsensor (9), insbesondere in Form einer Empfangsspule und
- eine auf das Antwortsignal ansprechende Auswerteschaltung (19), die in dem Material- und/oder Formparameter repräsentierendes Informationssignal liefert,

dadurch gekennzeichnet, dass

die Sendespule (5) und der Magnetfeldsensor (9) nebeneinander angeordnet sind, wobei entweder

- a) die Sendespule (5a-d) und der Magnetfeldsensor (9a-9d) in Richtung ihrer Magnetfeld-Hauptachsen (7a-d, 11a-d) einander gegen-

überliegend im Abstand angeordnet sind und der Metallgegenstand (3a-d) zwischen die Sendespule (5a-d) und Magnetfeldsensor (9a-d) einführbar ist oder

b) die Sendespule (5) und der Magnetfeldsensor (9) quer zu ihren Magnetfeld-Hauptachsen (5, 11) nebeneinander angeordnet sind und der Metallgegenstand (3) bezogen auf die Magnetfeld-Hauptachsen (7, 11) auf der gleichen Seite der Sendespule (5) und des Magnetfeldsensors (9) anordenbar ist, und dass

die Auswerteschaltung (19) auf den ersten während des Treiberimpulses (13) im Signalverlauf des Antwortsignals auftretenden Extremwert (33) und/oder Nullwert (37) und/oder Wendepunktwert anspricht und/oder auf wenigstens einen zu einem vorbestimmten Zeitpunkt (t_i) nach Beginn des Treiberimpulses (13) jedoch noch während des Treiberimpulses (13) auftretenden Amplitudenwert (S_i) des Signalverlaufs des Antwortsignals anspricht und das den Material- und/oder Formparameter repräsentierende Informationssignal abhängig von der Amplitude des Extremwerts (33) und/oder des zum vorbestimmten Zeitpunkt (t_i) auftretenden Amplitudenwerts (S_i) und/oder abhängig vom zeitlichen Abstand des Extremwerts (33) und/oder des Nullwerts (37) vom Beginn des Treiberimpulses (13) und/oder der Signalverlaufssteigung des Wendepunkt werts liefert.

5. Sensor nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Sendespule (5) und der Magnetfeldsensor (9) zum Metallgegenstand (3) hin aufeinander zu geneigte Magnetfeld-Hauptachsen (7, 11) haben.

6. Sensor nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass der Sendespule (5) und/oder dem Magnetfeldsensor (9) magnetische Abschirmmittel, insbesondere Wirbelstrom-Abschirmmittel (41, 43) zugeordnet sind, die den Magnetfeldsensor (9) gegen direkt über tretendes Magnetfeld der Sendespule (5) zumindest teilweise abschirmen.

- 5 7. Sensor nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen der Sendespule (5) und dem Magnetfeldsensor (9) eine Abschirmwand (41) angeordnet ist und/oder die Sendespule (5) und/oder der Magnetfeldsensor (9) in einem in Richtung der Magnetfeld-Hauptachsen offenen Abschirmbecher (43) angeordnet ist.
- 10 8. Sensor nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Abschirmwand (41) und/oder der Abschirmbecher (43) aus nicht ferromagnetischem Metall besteht.
- 15 9. Sensor nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass dem Magnetfeldsensor (9) eine weitere durch Treiberimpulse (13) erregbare Sendespule (45) zugeordnet ist, deren Magnetfeld direkt übertretende Magnetfeld der Sendespule (5) am Magnetfeldsensor (9) kompensiert, zumindest jedoch schwächt.
- 20 10. Sensor nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass auf der dem Metallgegenstand (3) abgewandten Seite der Sendespule (5) und/oder des Magnetfeldsensor (9) ein Kompensations-Metallblechteil (47) für die Nullwert-Kompensation des Antwortsignals angeordnet ist.
- 25 11. Sensor nach einem der Ansprüche 4 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass entweder auf der dem Magnetfeldsensor (9b) abgewandten Seite der Sendespule (5b) im Abstand von der Sendespule (5b) ein weiterer Magnetfeldsensor (9b') insbesondere in Form einer weiteren Empfangsspule angeordnet ist und zwischen der Sendespule (5b) und dem weiteren Magnetfeldsensor (9b') ein Referenz-Metallgegenstand (3b') angeordnet ist, in welchem die Sendespule (5b) Wirbelströme induziert, auf deren Magnetfeld der weitere Magnetfeldsensor (9b') anspricht, wobei die Auswerteschaltung auf Antwortsignale des Magnetfeldsensors (9b) und des weiteren Magnetfeldsensors (9b') anspricht,
- 30

oder dass auf der von der Sendespule (5c) abgewandten Seite des Magnetfeldsensors (9c) eine weitere durch Treiberimpulse des Impulsge-
nerators erregbare Sendespule (5c') im Abstand von dem Magnetfeld-
sensor (9c) angeordnet ist und zwischen dem Magnetfeldsensor (9c)
5 und der weiteren Sendespule (5c') ein Referenz-Metallgegenstand (3c')
angeordnet ist, in welchem die weitere Sendespule (5c') Wirbelströme
induziert, auf deren Magnetfeld der Magnetfeldsensor (9c) auch an-
spricht, wobei die Auswerteschaltung das Informationssignal abhängig
von der Differenz der Antwortsignale der Sendespulen und dem Refe-
10 renzwert liefert.

12. Sensor nach einem der Ansprüche 4 bis 11, dadurch gekennzeichnet,
dass zwischen der Sendespule (5d) und dem Magnetfeldsensor (9d)
zusätzlich ein Referenz-Metallgegenstand (3d') angeordnet ist, in wel-
15 chem das Magnetfeld der in dem Metallgegenstand (3d) induzierten
Wirbelströme ihrerseits Wirbelströme induzieren, auf die der Magnet-
feldsensor (9d) anspricht oder in welchem das Magnetfeld der Sende-
spule (5d) Wirbelströme induziert, deren Magnetfeld ihrerseits in dem
Metallgegenstand (3d) die Wirbelströme induziert, auf deren Magnet-
20 feld der Magnetfeldsensor (9d) anspricht.

13. Sensor nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet,
dass der Metallgegenstand ein Metallblech- oder Metallfoliengegen-
stand ist.

14. Sensor nach einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet,
dass die Sendespule (5) und die Empfangsspule (9) als Luftspulen
ausgebildet sind.

15. Sensor nach einem der Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet,
dass die Auswerteschaltung (19) einen Verstärker (21) mit bei wach-
sender Empfangssignalamplitude nichtlinear abnehmendem Verstär-
30 kungsfaktor aufweist.

Fig. 1

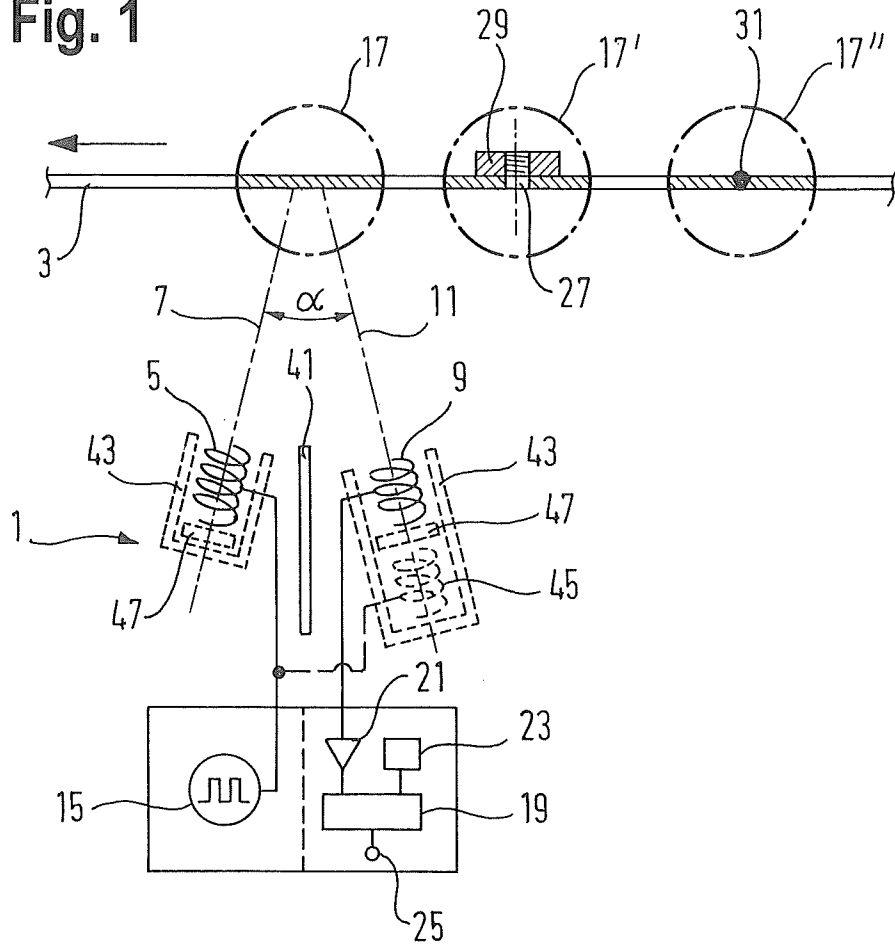


Fig. 2a

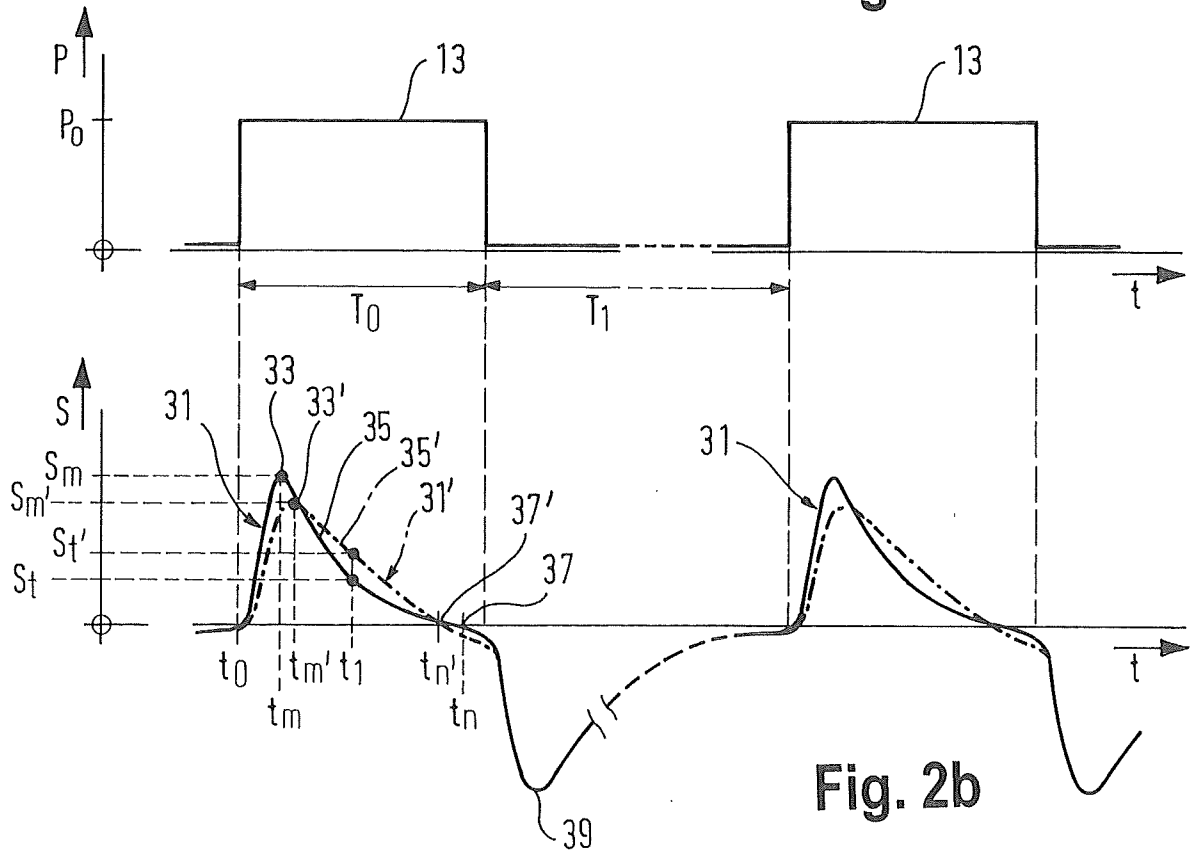


Fig. 2b

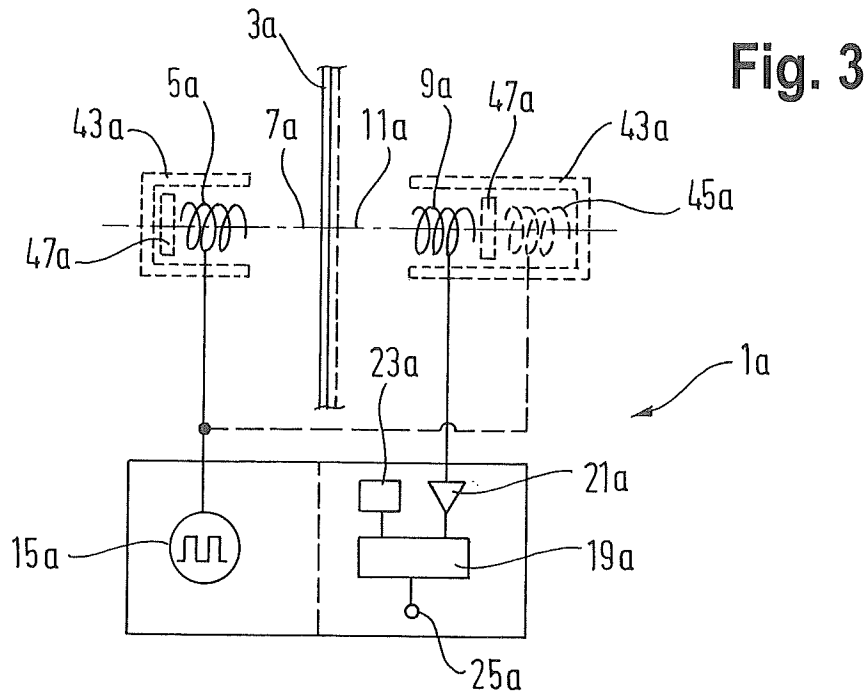


Fig. 3

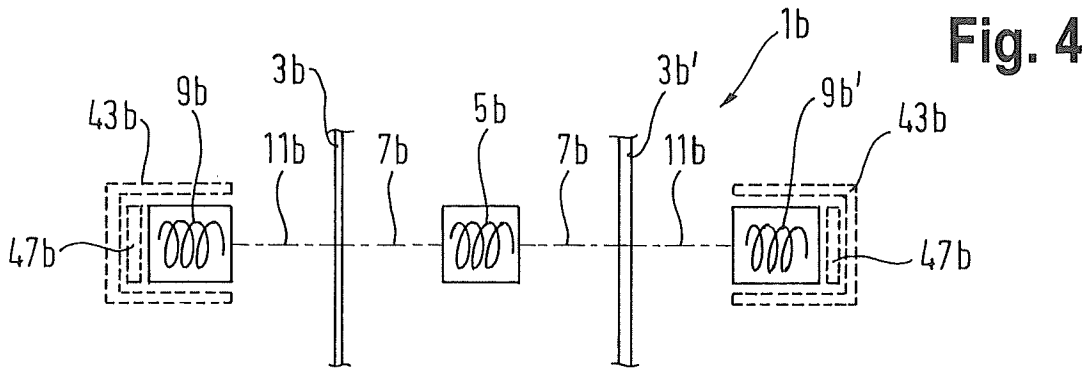


Fig. 4

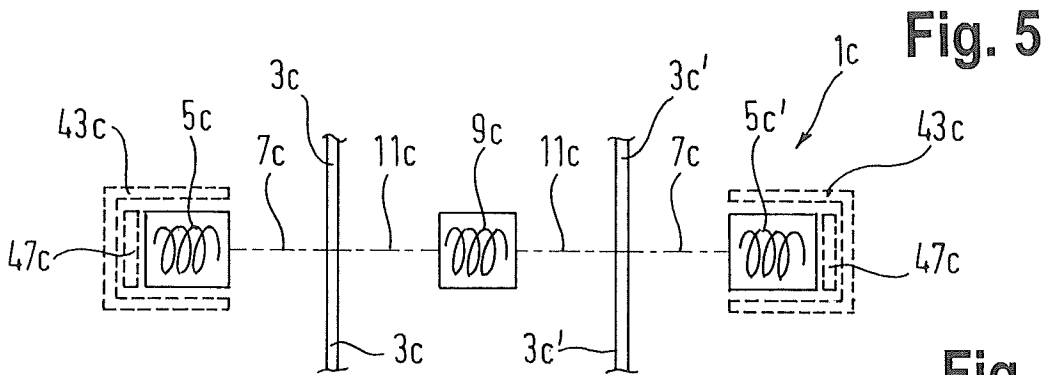


Fig. 5

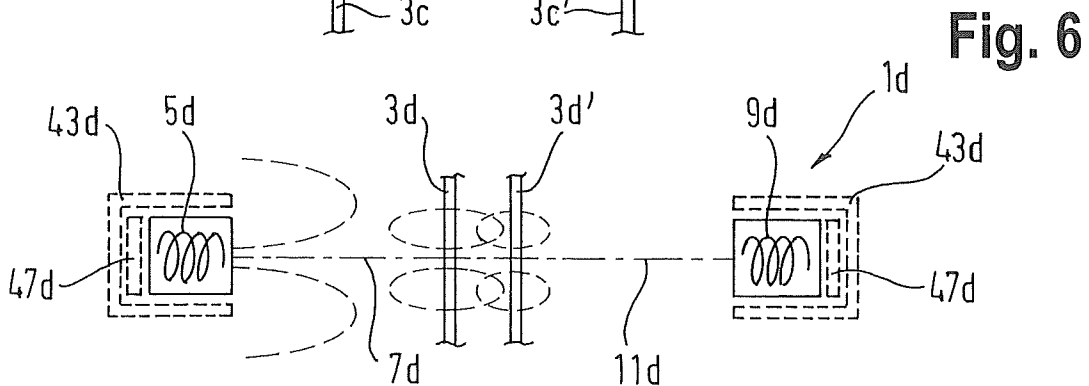


Fig. 6