



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
BUNDESAMT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

⑤① Int. Cl.³: G 01 L 1/12
G 01 B 7/24
G 01 N 27/72
G 01 R 33/18



Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

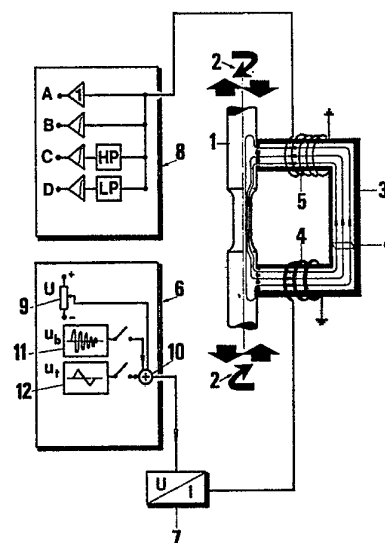
⑫ PATENTSCHRIFT A5

635 935

⑫① Gesuchsnummer: 7664/79	⑦③ Inhaber: Stangakonsult, Linköping (SE)
⑫② Anmeldungsdatum: 23.11.1978	⑦② Erfinder: Leif Jilkén, Linköping (SE)
⑫③ Priorität(en): 12.12.1977 SE 7714052	⑦④ Vertreter: Dipl.-Ing. R. Rottmann & Co., Zollikon
⑫④ Patent erteilt: 29.04.1983	⑧⑥ Internationale Anmeldung: PCT/SE 78/00082 (Sv)
⑫⑤ Patentschrift veröffentlicht: 29.04.1983	⑧⑦ Internationale Veröffentlichung: WO 79/00369 (En) 28.06.1979

⑤④ Verfahren zum Messen oder Erfassen einer Veränderung des mechanischen Zustandes in einem Körper mit magnetostriktiven Effekten.

⑤⑦ Ein ferromagnetischer Körper (1) wird irgend einer mechanischen Beanspruchung unterworfen. Mittels Jochen (3), die Spulen (4, 5) tragen, wird im Prüfling (1) ein magnetisches Feld erzeugt. Die Änderung des mechanischen Zustandes des Prüflings (1) schlägt sich in einer Störung des magnetischen Flusses nieder. Diese Störung wird in der Sekundärspule (5) erfasst und an einem mit der Spule verbundenen Anzeigegerät (8) angezeigt. Dabei wird sowohl das Magnetfeld als auch die mittlere Länge des magnetischen Kreises im wesentlichen konstant und unabhängig von der Veränderung des mechanischen Zustandes gehalten.



PATENTANSPRÜCHE

Verfahren zum Messen oder Erfassen einer Veränderung des mechanischen Zustandes in einem Körper mit magnetostriktiven Effekten, wobei unter dem Einfluss einer magnetischen Feldstärke (H) ein zugeordneter magnetischer Fluss in wenigstens einem Teil des Körpers erzeugt wird, auf welchen magnetischen Fluss die Änderung des mechanischen Zustandes über die Magnetisierung (M) als messbare oder erfassbare Störung einwirkt, dadurch gekennzeichnet, dass die magnetische Feldstärke (H_0) und die Durchschnittslänge (l) des Magnetkreises im wesentlichen konstant und unabhängig von der Änderung des mechanischen Zustandes gehalten werden, wobei der magnetische Fluss zum einen Teil aus einem Hauptfluss (Φ_0) besteht, der der magnetischen Feldstärke (H_0) zugeordnet ist, und zum anderen Teil aus einem alternierenden, nach und nach verschwindenden Fluss (Φ_v) besteht, der dem Hauptfluss überlagert ist, wobei der alternierende Fluss eine derartige Anfangsgrösse hat, dass in beiden Richtungen des alternierenden Flusses (Φ_v) eine Sättigung eintritt, so dass beim Verschwinden des alternierenden Flusses ein Arbeitspunkt auf der anhysteretischen Kurve erreicht ist, und dass anschliessend die durch die Veränderung des mechanischen Zustandes erzeugte Störung angezeigt oder registriert wird, und zwar als Spannung, die durch die Änderung des der Störung entsprechenden magnetischen Flusses induziert wird.

2. Vorrichtung zum Durchführen des Verfahrens nach Anspruch 1, mit Mitteln zum Erzeugen des magnetischen Flusses im Körper, dadurch gekennzeichnet, dass die genannten Mittel einen Magnetkreis bilden, der wenigstens einen Teil des Körpers umfasst, im wesentlichen frei von Luftspalten ist und eine durchschnittliche Länge (l) hat, die unabhängig von der Veränderung des mechanischen Zustandes ist, und den Hauptfluss (Φ_0) und den überlagernden alternierenden Fluss (Φ_v) erzeugen und dass die Vorrichtung ein System von Spulen aufweist, die an eine Mess- oder Anzeigeeinrichtung angeschlossen sind, die die Flussänderung erfasst.

3. Vorrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die genannten Mittel mindestens ein Joch mit mindestens einer Spule umfassen, ferner einen Stromerzeuger, der derart gestaltet und angeordnet ist, dass er der mindestens einer Spule einen Gleichstrom liefert, der dem Hauptfluss entspricht, und einen über die Zeit hinweg schwindenden Wechselstrom, der dem schwindenden alternierenden Fluss entspricht.

4. Vorrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die genannten Mittel ein System von Permanentmagneten zum Erzeugen des Hauptflusses umfassen.

5. Vorrichtung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass das Joch oder die Joche an dem Körper gleitbar angeordnet sind.

Technisches Gebiet

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Messen oder Erfassen der Änderung eines mechanischen Zustandes wie beispielsweise des Zustandes der mechanischen Belastung, des Eintretens, des Beginnens oder des Fortschreitens von Brüchen, der Trennung innerhalb des Materiales oder der Vibration oder einer Änderung des mechanischen Zustandes in Bezug auf die Zeit innerhalb eines Körpers, der magnetostriktive Wirkungen zeigt, und zwar dann, wenn unter der Einwirkung einer magnetischen Feldstärke (H) ein zugeordneter magnetischer Fluss in wenigstens einem Teil des Körpers erzeugt wird. Zufolge dieses Flusses ruft die Änderung des mechanischen Zustandes über die Magnetisierung (M) des Körpers eine messbare oder erfassbare Störung hervor. Die Erfindung betrifft ferner eine Vorrichtung zum Durchführen des Verfahrens.

Stand der Technik

Seit Joule im Jahre 1842 zum ersten Male die Magnetostraktion vorgeführt hatte, und Villari im Jahre 1865 das umgekehrte Phänomen, nämlich den sogenannten Villari-Effekt, wurden zahlreiche Messvorrichtungen und Verfahren vorgeschlagen, die eine Kopplung zwischen dem magnetischen Fluss und der Veränderung des mechanischen Zustandes zum Inhalt hatten. Allen diesen Messvorrichtungen und Messverfahren ist gemeinsam, dass man hierbei die Durchschnittslänge des magnetischen Kreises sich mit der Änderung des mechanischen Zustandes verändern lässt. Es ist bekannt, dass die Feldstärke umgekehrt proportional dieser Durchschnittslänge ist. Die Magnetisierung hängt sowohl mit Änderungen des mechanischen Zustandes wie auch mit Änderungen der Durchschnittslänge des magnetischen Kreises bei solchen Messvorrichtungen zusammen.

Darstellung der Erfindung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, die oben erwähnte, doppelte Abhängigkeit der Magnetisierung zu vermeiden, so dass diese lediglich von der Änderung des mechanischen Zustandes abhängt. Dies wird dadurch erreicht, dass man die magnetische Feldstärke (H_0) und die Durchschnittslänge (l) des magnetischen Kreises im wesentlichen konstant und beim Messen oder Erfassen unabhängig von der Veränderung des mechanischen Zustandes hält. Der Fluss besteht teilweise aus einem Hauptfluss (Φ_0), der mit der magnetischen Feldstärke (H_0) verbunden ist, und teilweise aus einem überlagernden, alternierenden Fluss (Φ_v), der nach und nach verschwindet. Dieser alternierende Fluss muss eine derartige Anfangsgrösse haben, dass die Sättigung in zwei Richtungen des alternierenden Flusses (Φ_v) erreicht wird, das heisst derart, dass beim Verschwinden des alternierenden Flusses (Φ_v) ein Gleichgewichtszustand erreicht ist. Nach dem Verschwinden des alternierenden Flusses (Φ_v) wird die Störung, die durch die Änderung des mechanischen Zustandes erzeugt wird, als Spannung registriert, die umgekehrt durch die Änderung der Störung induziert wird.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

Die Erfindung ist anhand der Zeichnung näher erläutert. Darin zeigt Figur 1 schematisch eine Vorrichtung, die entsprechend der Erfindung dann betrieben wird, wenn eine Änderung des mechanischen Zustandes in einem belasteten Körper gemessen wird. Figur 2 veranschaulicht in ausgezogenen Linien eine Hälfte der Magnetisierungskurve für einen ferromagnetischen Festkörper, und durch gestrichelte Linien den entsprechenden Teil der anhysteretischen Kurve des Körpers. Figur 3 zeigt einen vergrösserten Teil von Figur 2 und veranschaulicht hierbei für einen gegebenen Wert von H_0 der magnetischen Feldstärke, wie der magnetische Fluss Φ eine Anzahl von Werten annehmen kann, von denen drei Werte in der Figur besonders dargestellt sind. Figur 4 zeigt anhand von drei Kurven, wie der magnetische Fluss in einem Körper über der Zeit dann variiert, wenn der Körper dreieckförmigen mechanischen Belastungsimpulsen ausgesetzt ist. Die mittlere der Kurven bezieht sich auf ein Messverfahren gemäss der Erfindung, während die anderen sich auf herkömmliche Messverfahren beziehen. Figur 5 zeigt im einzelnen eine Ausführungsform einer erfindungsgemässen Vorrichtung, womit Messungen an runden Proben veranschaulicht werden sollen. Figur 6 zeigt in einer Projektionsdarstellung eine erfindungsgemässe Vorrichtung zum Durchführen von Messungen an einer genuteten Dreipunkt-Biegeprobe, die Biegekräften ausgesetzt wird.

Wege zur Ausführung der Erfindung

In Figur 1 erkennt man einen ferromagnetischen Körper 1, der als Prüfling dient. Dieser wird mechanischen Beanspruchungen unterworfen, beispielsweise einer Spannung, einem Druck oder einer Torsion, wie durch die Pfeile 2 veranschaulicht.

Dabei kann die einzelne Spannungsart entweder für sich alleine oder in Kombination als Zugspannung-Torsion oder als Druckspannung-Torsion wirken. Die Spannungen führen eine Veränderung des mechanischen Zustandes der Probe herbei, was sich in einer elastischen oder plastischen Verformung ausdrücken kann, ferner in einer Trennung innerhalb des Materiales, in Rissbildung, Rissvertiefung oder sogar in einem Bruch. Es sei darauf verwiesen, dass eine Änderung des mechanischen Zustandes auch von thermischen Beanspruchungen herrühren kann. Zum Zwecke der Messungen oder des Erfassens von Veränderungen des mechanischen Zustandes des Körpers ist eine Anzahl von Jochen 3 vorgesehen, von denen eines in der Figur veranschaulicht ist. Dieses dargestellte Joch weist eine Primärspule 4 und eine Sekundärspule 5 auf. Durch Anwendung eines Spannungsgenerators 6, der über einen Spannungs-Strom-Transformer 7 an die Primärspule 4 angeschlossen ist, wird ein Strom erzeugt, der seinerseits ein magnetisches Feld erzeugt. Dies führt zu einem Fluss durch einen magnetischen Kreis, der aus dem Joch 3 und einem Teil der Probe 1 besteht. Das Joch ist in Bezug auf die Probe derart angeordnet, dass der magnetische Kreis im wesentlichen frei von Luftspalten ist und das Joch durch die Spannung nicht beeinträchtigt wird. Dies kann dadurch erreicht werden, dass das Joch 3 entlang der Probe 1 zu gleiten vermag. Es versteht sich, dass die Spulen an irgendeiner Stelle entlang des magnetischen Kreises angeordnet werden können. Der genaue Ort der Spulen ist nur durch praktische Erwägungen zu ermitteln. Um einen symmetrischen Fluss zu erreichen, sollte eine Anzahl von zueinander parallelen Jochen verwendet werden.

Die Änderung des mechanischen Zustandes wirkt, über die Magnetisierung des Körpers (im folgenden mit M bezeichnet), als Störung des Flusses Φ . Diese wird in der Sekundärspule 5 erfasst und an einem mit der Spule verbundenen Anzeigegerät 8 angezeigt. Gemäss der Erfindung werden sowohl das Magnetfeld, um folgenden H_0 genannt, als auch die mittlere Länge 1 des magnetischen Kreises im wesentlichen konstant und unabhängig von der Veränderung des mechanischen Zustandes gehalten. Wie zuvor erwähnt, wird die Durchschnittslänge 1 dadurch konstant gehalten, dass man wenigstens einen der beiden Stege des Joches entlang der Probe gleiten lässt. Die magnetische Feldstärke H_0 wird dadurch konstant gehalten, dass man der Spule 4 einen konstanten Gleichstrom zuführt. Dieser Strom wird durch eine Spannungsteilerschaltung U mittels eines Potentiometers 9 erhalten. Die Spannung wird über einen Summierungspunkt 10 im Spannungsgenerator 6 dem Umformer 7 zugeführt, in welchem die Spannung in konstanten Strom umgewandelt wird. Wie man aus Figur 2 erkennen kann, entspricht jeder Wert der magnetischen Feldstärke H_0 einer Anzahl von Werten des Flusses Φ , von denen zwei Werte, nämlich a und b , auf der Hysteresis-Kurve des Körpers, und einer, nämlich der Wert c , auf der anhyseterischen Kurve markiert sind. Von jenen Punkten ist der Punkt c derjenige, der dem Wert des Flusses Φ entspricht, bei welchem die Probe ihre geringsten Verluste für einen gegebenen Wert H_0 der magnetischen Feldstärke erreicht hat.

Versucht man zum Beispiel, wie dies aus Mess- oder Anzeigeverfahren bekannt ist, von Punkt a oder b ausgehend, eine sägezahnartig sich verändernde, mechanische Belastung zu erfassen, die auf Probe 1 einwirkt, so verändert sich der Fluss in jener Weise, die durch die beiden äusseren Kurven in Figur 4 dargestellt ist. Wie man sieht, ist der Fluss nicht gleich in den beiden einander entsprechenden Punkten zweier aufeinanderfolgender Belastungszyklen. Die Änderung des mechanischen Zustandes, die im Körper durch die Last hervorgerufen wird, kann somit nicht eindeutig aus der Störung oder Abweichung des Flusses durch die Last ermittelt werden.

Gemäss der Erfindung wird daher beim Beginn des Messens ein alternierender Fluss Φ , der langsam verschwindet, überla-

gert. Dieser Fluss wird durch einen Generator 11 erzeugt, der eine Spannung u_b liefert, die allmählich auf einen Minimalwert abnimmt. Die Aufgabe des alternierenden Flusses Φ , besteht darin, den getesteten Körper dazu zu veranlassen, einen stabilen Ausgangszustand auf der anhyseterischen Kurve zu erreichen. Um den Wert der magnetischen Feldstärke zu bestimmen, bei welchem dies eintritt, wird eine dreieckige Spannung u_t dem Summationspunkt 10 in Einrichtung 6 von Figur 1 eingespeist. Sodann wird die Hysteresis-Kurve registriert und von dort ein geeigneter Wert der magnetischen Feldstärke H_0 auf der anhyseterischen Kurve ausgewählt. Sodann lässt sich die Bestimmung gemäss der Erfindung vornehmen.

Der Punkt c in den Figuren 2 und 3 entspricht dem Wert des magnetischen Flusses Φ , bei welchem der Körper magnetischen Gleichgewichtszustand bei der Feldstärke H_0 annimmt. Selbstverständlich sind anderen Werten der Feldstärke andere Werte des Magnetflusses zugeordnet, die aus der Anhyseteris-Kurve des Körpers aufzufinden sind. Misst man gemäss der Erfindung das Ansprechen des Magnetflusses auf eine mechanische Belastung, d.h. die Veränderung des Flusses über der Zeit als Funktion der auf den Körper einwirkenden Belastung, und geht man von einem elektromagnetischen Gleichgewichtszustand aus so stellt man fest, dass der Magnetfluss eine eindeutig bestimmte Funktion der Belastung ist. Hat die Belastung beispielsweise die Gestalt eines Sägezahn, so verändert sich der Magnetfluss in der Weise wie durch die Zwischenkurve in Figur 4 veranschaulicht. Bei dieser Kurve ist die Veränderung des Flusses bei zwei miteinander identischen und aufeinanderfolgenden Lastzyklen in entsprechenden Punkten gleich. Der Mittelwert der Kurve ist während eines oder mehrerer Zyklen zeitunabhängig. Dies ist natürlich nicht der Fall bei den beiden oben beschriebenen, äusseren Kurven, welche Messungen gemäss bekannter Verfahren veranschaulichen. Der Mittelwert dieser Kurve ist nicht konstant, sondern tendiert zum Mittelwert der Zwischenkurve. Dies lässt sich durch die Annahme erklären, dass zum Erreichen des Flusses auf dasselbe Niveau wie bei c Energie erforderlich ist. Diese Energie wird aus der Änderung des mechanischen Zustandes hergeleitet. Die durch die Änderung des mechanischen Zustandes erzeugte Magnetflussänderung, die von der Messspule 5 als Spannung ermittelt wird, lässt sich in einer Anzahl von Möglichkeiten durch die Anzeigeeinheit 8 gemäss Figur 1 ausnutzen. An Ausgang A wird ein Signal erzeugt, das dieser Spannung proportional ist; desgleichen wird an Ausgang B ein Signal erzeugt, das dem Zeitintegral der Spannung entspricht. An den Ausgängen C und D erhält man Signale, die der Spannung nach dem Durchgang eines Hochpass-Filters und eines Tiefpass-Filters jeweils, sowie der Integration entsprechen. Je nach der nachfolgenden Auswertung der Messung kann die Spannung auf verschiedenerlei Weise behandelt werden, beispielsweise digitalisiert werden.

In den Figuren 5 und 6 sind Elemente, die dieselben oder ähnlichen Funktionen wie die in Figur 1 haben, mit denselben Bezugszeichen wie in Figur 1 versehen. In Figur 5 stellt Körper 1 einen herkömmlichen, zylindrischen Prüfling dar, an welchem Verformungen hauptsächlich in dem eingeschnürten Bereich stattfinden; der Durchmesser dieses Bereiches ist wesentlich kleiner als derjenige anderer Bereiche des Prüflings. Die Primärspule 4 und die Sekundärspule 5 sind auf einen hülsenförmigen Kern 13 mit Stirnwänden aufgewickelt. Die zentrale Bohrung des Spulenkernes ist derart bemessen, dass ein leichtes Durchdringen des Körpers möglich ist. Die Spulen 4 und 5 sind durch einen Mantel 14 geschützt. Die örtliche Anordnung der Spulen 4 und 5 ist derart gewählt, dass der Magnetfluss die kleinstmögliche Leckage und die grösstmögliche Homogenität erreicht. Um einen symmetrischen Fluss durch den Körper 1 zu erzielen, wurde eine Anzahl von Jochen 3 symmetrisch um den Spulenkern herumgelegt. Diese U-förmigen Platten sind in ra-

dial angeordnete Schlitze in den Stirnwänden des Spulenkernes 13 eingeschoben.

Körper 1 kann relativ frei in der Zentralbohrung des Spulenkernes 13 gleiten. Dies bewirkt eine konstante Durchschnittslänge des magnetischen Kreises, unabhängig der aufgetragenen mechanischen Belastung. Die Joche 3 sind während des Messens durch Magnetkräfte zwischen den Jochen und dem Körper an Ort und Stelle gehalten. Wird nicht gemessen, so lassen sich die Joche fixieren, beispielsweise durch elastische Federn oder Bügel, die die Joche abschliessen.

Der in Figur 6 dargestellte Körper 1 ist ein herkömmlicher Dreipunkt-Biegeprüfling. Im mittleren Bereich des Prüflings befindet sich eine Nut 15. Die Primärspule 4 und die Sekundärspule 5 sind auf Jochen 3 aufgebracht, von denen in Figur 6 nur eines dargestellt ist. Die Joche sind in Bezug auf die Nut 15 symmetrisch an denjenigen Längsflächen angeordnet, die sich an die obere Fläche anschliessen.

Während des Messens ist der Prüfling Kräften ausgesetzt, die in der Figur durch Pfeile veranschaulicht sind. Diese Kräfte beanspruchen den Prüfling im wesentlichen auf Biegespannungen. Die Kräfte $P/2$ wirken von oben ein, und zwar in Bezug auf die Nut 15 symmetrisch, während die Kraft P von unten einwirkt, und zwar gerade an der Nut 15. Gemäss der Erfindung beeinträchtigt die Spannung nicht die durchschnittliche Länge des Magnetflusses. Demgemäss sind die Joche relativ zum Prüf-

ling gleitbar angeordnet. Die Messung wird so ausgeführt, wie dies in Verbindung mit Figur 1 oben beschrieben ist.

Es versteht sich, dass die Erfindung nicht auf die hier beschriebenen Ausführungsbeispiele beschränkt ist. Stattdessen kann das Messverfahren in zahlreichen Messanwendungen verwendet werden. Mit einem oder mehreren Jochen, die mit Primär- und Sekundärspulen ausgestattet sind und einem willkürlich magnetisierbaren Körper zugeordnet sind, beispielsweise einer Ankerstütze, einem Balken, einem Stab oder einer Platte, auf welche eine Last einwirkt, lässt sich die Veränderung des mechanischen Zustandes infolge Belastung messen. Dabei wird davon ausgegangen, dass man von einem Punkt auf der Anhysteresis-Kurve des Körpers beginnt, und dass die Durchschnittslänge des Magnetflusses durch die Belastung nicht beeinflusst wird.

Der magnetische Hauptfluss wurde bei den oben angeführten Ausführungsbeispielen durch Anwendung einer oder mehrerer Primärspulen erzeugt. Er kann natürlich auch durch Permanentmagneten erzeugt werden, wie eine weitere Ausgestaltung der Erfindung lehrt. Diese Permanentmagneten sind derart angeordnet, dass der Hauptfluss konstant ist.

Zum Messen des magnetischen Flusses sind auch andere Möglichkeiten denkbar als die oben beschriebenen Sekundärspulen. Zu diesem Zweck kann beispielsweise ein sogenanntes Hall-Element verwendet werden.

