



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 698 32 012 T2** 2006.07.20

(12)

Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 0 897 099 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **698 32 012.3**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **98 115 026.1**

(96) Europäischer Anmeldetag: **10.08.1998**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **17.02.1999**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **26.10.2005**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **20.07.2006**

(51) Int Cl.⁸: **G01B 17/02** (2006.01)
G01N 29/10 (2000.01)

(30) Unionspriorität:

910124 **12.08.1997** **US**

(73) Patentinhaber:

Walbro Corp., Cass City, Mich., US

(74) Vertreter:

**Patentanwälte Hauck, Graalfs, Wehnert, Döring,
Siemons, Schildberg, 80339 München**

(84) Benannte Vertragsstaaten:

BE, DE, FR, GB

(72) Erfinder:

**Albu, Dan, Windsor, Canada N9A 7A5, CA;
Taboun, Salem M., Windsor, Canada N8X IN8, CA**

(54) Bezeichnung: **Ultraschalldickenmessgerät für Mehrschichtstrukturen**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

Beschreibung

[0001] Diese Erfindung betrifft generell die Ultraschallmessung, genauer gesagt ein Ultraschallverfahren und eine Ultraschallvorrichtung zum Messen der Dicke von einzelnen Schichten von unterschiedlichen Materialien einer Mehrschichtstruktur.

[0002] Umweltschutz und Regulierungen haben die Forderung nach einer Reduzierung der schädlichen Kohlenwasserstoffdämpfe; die von Fahrzeugen abgegeben werden, verstärkt und zur Entwicklung von neuen Technologien zur Herstellung von Kunststoffkraftstofftanks geführt. Dabei wurde festgestellt, dass ein aus einer einzigen Kunststoffschicht, wie beispielsweise Polyethylen hoher Dichte, konstruierter Kraftstofftank eine unakzeptabel hohe Permeationsrate des Kraftstoffdampfes besitzt. Daher werden die momentan hergestellten Kunststoffkraftstofftanks mit mehreren Schichten ausgebildet, von denen eine eine Dampfsperrschicht ist. Mit diesen Tanks wird die Menge der in die Atmosphäre abgegebenen Kohlenwasserstoffe gegenüber unbehandelten Einschicht-Kunststoffkraftstofftanks um das 60fache verringert.

[0003] Eine typische Mehrschicht-Kunststoffkraftstofftankkonstruktion besitzt eine Außenschicht aus Polyethylen hoher Dichte, eine Innenschicht aus Polyethylen hoher Dichte und eine dazwischen angeordnete Dampfsperrschicht. Die Dampfsperrschicht wird typischerweise von einem Polymer, wie Ethylenvinylalkohol, gebildet, das eine Klebschicht sowohl benachbart zu der Außenschicht als auch benachbart zur Innenschicht benötigt, wobei diese Schichten das Polyethylen hoher Dichte mit dem Ethylenvinylalkohol verbinden. Ein Mehrschicht-Kunststoffkraftstofftank ist in der Herstellung schwieriger als ein Einschicht-Kunststoffkraftstofftank. Um bei der Massenproduktion die Qualität der Mehrschicht-Kraftstofftanks und der Dampfsperre sicherzustellen, ist es wichtig, die Dicke der einzelnen Schichten der Mehrschichtstruktur und insbesondere der Klebschichten und Sperrschichten sowohl von einem Tank zum nächsten als auch an verschiedenen Stellen innerhalb eines einzelnen Tanks zu ermitteln. Die kritischsten und schwierigsten Messbereiche befinden sich hierbei an den Ecken, Rändern und anderen Bereichen des Tanks, bei dem sich die Kontur der Mehrschichtwand rasch verändert.

[0004] Bislang erforderte das Testen und Beurteilen von hergestellten Kunststoffkraftstofftanks das Herausschneiden eines Querschnittes aus diversen Abschnitten der Kraftstofftanks und das Vorbereiten eines jeden Schnittes zur visuellen Inspektion unter einem Mikroskop, um die Dicke der verschiedenen Schichten zu messen. Dies ist aufgrund der Zeit, die zum Herstellen und Inspizieren der Probenschnitte des Kraftstofftanks erforderlich ist, und aufgrund der

Zerstörung des Kraftstofftanks sowie des bei der Durchführung eines solchen Test erzeugten Abfalls unerwünscht.

[0005] In Patent Abstracts of Japan, Vol. 017, Nr. 609 (P-1640) und in der JP 05 187856 A ist ein Verfahren zum Messen der Dicke eines Harzlaminatkörpers, genauer gesagt zum raschen und genauen Messen der Dicke einer jeden Schicht eines Produktes, das aus einem Laminatkörper besteht, der sich aus dünnen Harzschichten mit ähnlichen Zusammensetzungen zusammensetzt, ohne eine Zerstörung des Produktes offenbart. Bei diesem Verfahren werden Ultraschallwellen mit einer ersten Frequenz von 4–6 MHz und einer zweiten Frequenz von 10–20 MHz zum Laminatkörper, der aus den Harzschichten besteht, gesendet. Nach dem Empfangen der reflektierten Wellen wird die Zeit vom Senden bis zum Empfang der Wellen für jede Harzschicht in die Dicke einer jeden Harzschicht überführt.

[0006] Die US-A-5 038 615 beschreibt ein Verfahren zum Messen von Schichtdicken einer Vielzahl von dünnen Schichten, die durch Schichtgrenzflächen voneinander getrennt sind. Dieses Verfahren umfasst die folgenden Schritte: Senden von Ultraschallimpulsen durch die Schichten, Empfangen von Echoimpulsen, die von den Schichtgrenzflächen reflektiert werden, Ableiten von den Echoimpulsen aus einer Signalwellenform, die charakteristische Echoimpulsformen offenbart, Ermitteln von Zonen in der Signalwellenform, die vorhergesagten Positionen der Schichtgrenzflächen entsprechen, Anordnen von Kandidat-Coimpulsformen in einer der Zonen, Gradieren der Kandidat-Echoimpulsformen, Auswählen von einer der Kandidat-Echoimpulsformen mit dem besten Ergebnis und Speichern der Position derselben in der Signalwellenform entsprechend der Lage von einer der Schichtgrenzflächen, Wiederholen der Anordnungs-, Gradier- und Auswahlsschritte für mindestens eine andere Zone, um eine andere Kandidat-Echoimpulsform auszuwählen und die Position derselben in der Signalwellenform entsprechend der Lage einer anderen Schichtgrenzfläche zu speichern, und Ermitteln der Schichtdicke aus den gespeicherten Positionen der ausgewählten Kandidat-Coimpulsformen in benachbarten Zonen. Um die Dicke der Anstrichschichten zu messen, findet eine sehr hohe Ultraschallgeberfrequenz im Bereich von 125 MHz oder noch höher Verwendung. Dieses Verfahren wird dazu eingesetzt, um nur die äußeren Anstrichschichten zu messen, während die Dicke der inneren Schicht oder Substratschicht hierdurch nicht bestimmt wird.

[0007] Ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Messen der Dicke von einzelnen Schichten von unterschiedlichen Materialien in einer Mehrschichtstruktur gemäß der vorliegenden Erfindung sind in Anspruch 1 und in Anspruch 17 wiedergegeben. Weiterentwicklungen und Modifikationen der Er-

findung sind in den abhängigen Ansprüchen angegeben.

[0008] Ein zerstörungsfreies Verfahren und eine zerstörungsfreie Vorrichtung zum Bestimmen der Dicke von einzelnen Schichten von unterschiedlichen Materialien in einer Mehrschichtstruktur, insbesondere einem Mehrschicht-Kunststoffkraftstofftank, benutzen einen Ultraschallimpuls mit konstanter Frequenz und relativ hoher Frequenz, der in die Mehrschichtstruktur gesendet wird, und zeichnen die Zeiten auf, wenn Echos empfangen werden, um die Dicke der einzelnen Schichten in der Mehrschichtstruktur zu bestimmen. Ein Echoimpuls wird an der Grenzfläche zwischen benachbarten Schichten von Materialien mit ausreichend unterschiedlicher Dichte oder einem ausreichenden Brechungsindex erzeugt, so dass daher die Zeit zwischen gesendeten Impulsen und Echoimpulsen von der Größe der Zeit abhängig ist, die der Ultraschallimpuls benötigt, um eine Materialschicht zu passieren. Die Dauer zwischen den gesendeten und reflektierten Impulsen wird als Durchtrittszeit bezeichnet, bei der es sich um die Zeit handelt, während der der gesendete Ultraschallfrequenzimpuls ursprünglich das Material durchdringt, und ferner um die Zeit, während der der reflektierte Impuls zurück zum Ultraschallgeber läuft. Die Durchtrittszeit ist daher doppelt so hoch wie die Zeit, die der Ultraschallimpuls benötigt, um die Schicht zu durchlaufen. Daher kann die Dicke einer Schicht in der Mehrschichtstruktur ohne weiteres als eine Hälfte der Durchtrittszeit multipliziert mit der Schallgeschwindigkeit durch das Material, das diese Schicht umfasst, berechnet werden.

[0009] Bei der vorliegenden Erfindung können entweder Ultraschallgeber vom Tauchtyp oder vorzugsweise vom Kontakttyp Verwendung finden, um den Ultraschallimpuls zu senden, der von einer Impulsquelle erzeugt und dem Ultraschallgeber zugeführt wird. Der Ultraschallgeber tastet ferner die reflektierten Impulse ab und gibt diese an einen Impulsempfänger weiter, der die Impulse in Abhängigkeit von der Durchtrittszeit anzeigen kann, um eine manuelle Berechnung der Schichtdicke zu ermöglichen. Vorzugsweise ist ein Analog-Digital-Wandler an den Impulsempfänger geschaltet, um die Daten von den empfangenen reflektierten Impulsen zu digitalisieren, so dass sie von einem Mikroprozessor analysiert werden können, der die Dickenberechnungen automatisch durchführt. Besonders bevorzugt handelt es sich bei dem Mikroprozessor um einen Personalcomputer, und die Impulsquelle, der Impulsempfänger und der Analog-Digital-Wandler stellen Hardware-Komponenten des Personalcomputers dar, die eine rasche, einfache, zuverlässige und effiziente Analyse der Ergebnisse ermöglichen.

[0010] Somit sieht die vorliegende Erfindung ein zerstörungsfreies Verfahren und eine zerstörungs-

freie Vorrichtung zum Bestimmen der Dicke von einzelnen Schichten in einer Mehrschichtstruktur, wie einem Kunststoffkraftstofftank, vor, um die Qualität der Kraftstofftanks über eine Produktionsstraße von Tanks sicherzustellen. Die während des Ultraschalltests gesammelten Daten können entweder manuell analysiert oder automatisch über einen Personalcomputer analysiert werden, so dass auf diese Weise die zur Durchführung des Tests benötigte Zeit stark verringert wird.

[0011] Ziele, Merkmale und Vorteile dieser Erfindung umfassen die Schaffung eines Verfahrens und einer Vorrichtung zum Bestimmen der Dicke von einzelnen Schichten einer Mehrschichtstruktur, die keine Zerstörung der getesteten Kraftstofftanks benötigen, die Dicke von einzelnen Schichten einer stark gekrümmten Mehrschichtstruktur ermitteln können, weniger Zeit benötigen als zerstörende Testverfahren, im wesentlichen automatisiert sind und zusammen mit einem Personalcomputer verwendet werden können, relativ hohe Ultraschallfrequenzen und eine hohe Samplingrate benutzen, um eine erhöhte Auflösung und Zuverlässigkeit der erhaltenen Daten sicherzustellen, im Handel erhältliche Hardware und Software sowie im Handel erhältliche Ultraschallgeber benutzen können, eine einzige Ultraschallfrequenz benutzen, gleichzeitig die Dicke von mehreren Schichten bestimmen können, nicht von der relativen Dicke von benachbarten Schichten abhängig sind, zuverlässige Daten liefern, eine relativ einfache Konstruktion besitzen und in wirtschaftlicher Weise hergestellt werden können, einfach im Gebrauch sind und schnelle und genaue Daten liefern, um dazu beizutragen, die Produktionsqualität von Mehrschicht-Kunststoffkraftstofftanks zu verbessern.

[0012] Diese und andere Ziele, Merkmale und Vorteile der Erfindung werden deutlich aus der nachfolgenden detaillierten Beschreibung einer bevorzugten Ausführungsform und besten Verwirklichung, den nachfolgenden Patentansprüchen und beigefügten Zeichnungen. Hiervon zeigen:

[0013] [Fig. 1](#) eine perspektivische Ansicht eines geformten Kunststoffkraftstofftanks;

[0014] [Fig. 2](#) eine Teilschnittansicht einer Mehrschicht-Kunststoffkraftstofftankwand;

[0015] [Fig. 3](#) eine schematische Ansicht, die eine Vorrichtung zum automatischen Behandeln der Dicke von einzelnen Schichten der Mehrschichtstruktur gemäß dieser Erfindung zeigt;

[0016] [Fig. 4](#) eine Darstellung von Ultraschallechoimpulsen oder reflektierten Impulsen, die erfindungsgemäß erhalten werden; und

[0017] [Fig. 5](#) eine Teilschnittansicht einer Mehr-

schicht-Kunststoffkraftstofftankwand und eines Tauch-Ultraschallgebers benachbart zu dieser Wand.

[0018] [Fig. 1](#) zeigt einen geformten Mehrschicht-Kunststoffkraftstofftank **10**, wie er beispielsweise häufig in der Automobilindustrie Verwendung findet. wie in [Fig. 2](#) gezeigt, besitzen die Wände **11** des Kraftstofftanks **10** vorzugsweise eine Innenschicht **12** und eine Außenschicht **14**, die hauptsächlich aus Polyethylen geformt sind, sowie eine Zwischendampfsperrschicht **16**, die aus einem Copolymer, wie Ethylenvinylalkohol, geformt ist, um die Permeation von Kraftstoffdampf durch den Kraftstofftank **10** zu verringern. Die Tankwände **11** können durch Coextrudieren der verschiedenen Schichten der unterschiedlichen Materialien geformt sein. Diese Kunststoffkraftstofftanks **10** sind aufgrund ihres geringen Gewichtes, ihres Korrosionswiderstandes und ihrer einfachen Herstellung besonders wünschenswert.

[0019] Wie in [Fig. 2](#) gezeigt, hat der Kraftstofftank **10** mehrere Schichten, die umfassen: eine Außenschicht **14** aus Polyethylen hoher Dichte (HDPE), in die auch etwas Ruß oder schwarzer Farbstoff eingemischt sein kann, um für eine Färbung zu sorgen, eine Regenerat-Schicht **22** aus HDPE, die aus regenerierten Abfallmaterialien von der Herstellung der Kraftstofftanks **10** und/oder wiederverwertetem und regeneriertem HDPE besteht, eine äußere Klebschicht **24**, die Dampfsperrschicht **16**, eine innere Klebschicht **26** und eine innere Schicht **12** aus jungfräulichem Polyethylen hoher Dichte. Die Dampfsperrschicht **16** besteht vorzugsweise aus Ethylenvinylalkohol (EVOH), und die Klebschichten können aus einer großen Vielzahl von Materialien bestehen, wobei ein gegenwärtiges Beispiel unter der Marke ADMER von der Firma Evalca, Inc. vertrieben wird. Die innere und äußere Klebschicht **24**, **26** sind erforderlich, um die benachbarten Schichten aus HDPE mit der Dampfsperrschicht **16** zu verbinden und dadurch die strukturelle Integrität des Kraftstofftanks **10** zu verbessern, die ausschlaggebend dafür ist, dass diverse Bruchwiderstandsspezifikationen in der Automobilindustrie erreicht werden. Die Dampfsperrschicht **16** ist erforderlich, um die Menge der Kohlenwasserstoffdämpfe zu verringern, die durch die Kraftstofftankwände **11**, welche hauptsächlich aus HDPE bestehen, diffundieren oder entweichen. Die Außenschicht **14** und die Regenerat-Schicht **22** besitzen im wesentlichen die gleiche Zusammensetzung, so dass sie durch Ultraschallmessungen nicht voneinander unterschieden werden können.

[0020] Eine typische Mehrschicht-Kunststoffkraftstofftankwand **11** hat eine Dicke zwischen etwa 2,5 mm und 8 mm, wobei die optimale Gesamtwanddicke etwa 5 mm beträgt. Nennwerte für die einzelnen Schichten des Mehrschicht-Kunststoffkraftstofftanks **10** sind wie folgt: die Außenschicht **14** und die Rege-

nerat-Schicht **22** machen zwischen etwa 40 und 50 % der Gesamtwanddicke aus, die äußere Klebschicht **24** umfasst zwischen etwa 1 und 4 % der Gesamtwanddicke, die Dampfsperrschicht **16** macht zwischen etwa 2 und 5 % der Gesamtwanddicke aus, die innere Klebschicht **26** macht zwischen etwa 1 und 4 % der Gesamtwanddicke aus, und die Innenschicht **12** umfasst zwischen etwa 40 und 50 % der Gesamtwanddicke. Diese Dickenbereiche der einzelnen Schichten sind lediglich beispielhaft und können ohne weiteres während der Coextrusion der Kraftstofftankwände **11** während der Herstellung der Kraftstofftanks **10** variiert werden.

[0021] Über eine Produktionsstraße von Kraftstofftanks **10** muss die Dicke der einzelnen Schichten kontrolliert werden, um ein optimales Betriebsverhalten und eine optimale Qualität des Kraftstofftanks **10** im Gebrauch sicherzustellen. Die Dicke der Innenschicht **12** und Außenschicht **14** aus Polyethylen ist wichtig, da diese Schichten für den strukturellen Schutz der Dampfsperrschicht **16** und auch für die strukturelle Integrität des Kraftstofftanks **10** selbst sorgen. Die Dicke der Klebschichten **24**, **26** ist wichtig, um eine angemessene Befestigung zwischen den benachbarten Schichten aus HDPE und der Dampfsperrschicht **16** zu erreichen. Schließlich ist die Dicke der Dampfsperrschicht **16** wichtig, um die Permeation von Kohlenwasserstoffdämpfen durch den Kraftstofftank **10** in die Atmosphäre zu verhindern.

[0022] [Fig. 3](#) zeigt eine Vorrichtung **30**, bei der ein Ultraschallverfahren Anwendung findet, um die Dicke der einzelnen Schichten des Mehrschicht-Kunststoffkraftstofftanks **10** zu ermitteln. Die Vorrichtung **30** besitzt eine Impulsquelle **32**, einen Impulsempfänger **34** und einen Ultraschallgeber **36**, der mit der Impulsquelle **32** und dem Impulsempfänger **34** in Verbindung steht. Die Impulsquelle **32** erzeugt ein elektrisches Signal, das intermittierend den Ultraschallgeber **36** mit einer bekannten konstanten Frequenz in Schwingungen versetzt, um einen Ultraschallimpuls in den Mehrschicht-Kunststoffkraftstofftank **10** zu senden, woraufhin Echos oder reflektierte Impulse an den Grenzflächen der unterschiedlichen Schichten im Kraftstofftank **10** erzeugt werden. Die reflektierten Impulse werden zum Ultraschallgeber **36** zurückgeführt und vibrieren, wobei diese Vibrationen dem Impulsempfänger **34** als elektrische Impulse zugeführt werden, die aufgezeichnet werden und die Bestimmung der Dicke der einzelnen Schichten des Kraftstofftanks **10** ermöglichen. Vorzugsweise ist ein Analog-Digital-Wandler **36** an den Impulsempfänger **34** geschaltet, um die empfangenen Impulse in Digitalform umzuwandeln, wodurch diese automatisch von einem Mikroprozessor, wie einem Personalcomputer **40**, verarbeitet werden können. Besonders bevorzugt wird, dass es sich bei der Impulsquelle **32**, dem Impulsempfänger **34** und dem Analog-Digital-Wandler **38** um im Handel erhältliche Hardware-Komponenten

für einen Personalcomputer **40** handelt, die ohne weiteres mit dem Computer **40** in Verbindung gebracht werden können. Auch kann vorzugsweise der Personalcomputer **40** mit Software versehen sein, die in der Lage ist, die aufgezeichneten Daten der Ultraschalldurchgänge zu interpretieren, um automatisch die empfangenen Daten in die Dicken der verschiedenen Schichten umzuwandeln. Gegenwärtig erhältliche Hardware-Komponenten umfassen eine Kombination aus einer Impulsquelle **32** und einem Impulsemfänger **34**, die unter dem Namen Matec SR9000 series vertrieben wird, und einen STR8100 series Analog-Digital-Wandler **38**, bei denen es sich um ISA-Karten handelt, die als Teil des Personalcomputers **40** installiert werden können. Die ISA-Karten sind im Handel erhältlich von der Firma Matec Instruments, Inc., 56 Hudson Street, Northborough, MA 01532, USA.

[0023] Der Ultraschallgeber **36** ist vorzugsweise vom Kontakttyp, der die Außenfläche des Kraftstofftanks **10** direkt kontaktiert. Ein flüssiges Medium, wie Wasser **37**, ist bei dem Ultraschallgeber vom Kontakttyp erforderlich, um jegliche Luft von der Grenzfläche zwischen der Übertragungsfläche des Ultraschallgebers und der Kraftstofftankoberfläche zu entfernen. Wie in [Fig. 5](#) gezeigt, kann der Ultraschallgeber **36** jedoch auch vom Tauchtyp sein, der die Ultraschallimpulse durch ein flüssiges Kopplungsmedium, wie Öl **39**, sendet und diese über eine Linse auf die Tankwand **11** ohne physikalische Lagerung am Tank aufbringt.

[0024] Mit einem Tauch-Ultraschallgeber wird der Ultraschallimpuls üblicherweise auf die Tankwand fokussiert, indem die Distanz hierzwischen variiert wird. Der Ultraschallgeber vom Kontakttyp wird bevorzugt, da er für eine bessere Auflösung sorgt, wenn gekrümmte Fläche gemessen werden, wie beispielsweise eine Kurve benachbart zu den Ecken und Rändern des Kraftstofftanks. Ferner muss hierbei der Ultraschallgeber nicht fokussiert werden, was bei einem Ultraschallgeber vom Tauchtyp der Fall ist. Ein geeigneter Kontakt-Ultraschallgeber **36** ist erhältlich von der Firma Technisonic Research, Inc., 777 Commerce Drive, Fairfield, CT 06432, USA.

[0025] Es können Ultraschallgeber **36** verwendet werden, die mit unterschiedlichen konstanten Frequenzen arbeiten, um ein Signal mit einer Auflösung vorzusehen, die für die spezielle zu messende Mehrschicht-Struktur optimiert ist. Empirische Daten haben gezeigt, dass für einen typischen Kunststoffkraftstofftank **10** mit einzelnen Schichten der vorstehend beschriebenen Materialien und Dicken mit einer Gesamtdicke von etwa 5 mm die optimale Frequenz etwa 15 MHz beträgt. Mit dieser Frequenz wird eine starke Auflösung des Signals erhalten, was für eine gute Definition einer jeden einzelnen Schicht sowie der Dicke der Gesamtwand **11** sorgt. Generell gilt,

dass die Auflösung des Signals um so größer ist, je höher die Frequenz ist. Höhere Frequenzen werden jedoch in HDPE rascher gedämpft als niedrige Frequenzen. Dies beschränkt den Einsatz von höheren Frequenzen stark, wobei ein optimaler Frequenzbereich, der durch Versuche ermittelt wurde, zwischen etwa 10 MHz und 20 MHz liegt. Um die Ergebnisse genauer aufzuzeichnen, besitzt der Impulsemfänger **34** vorzugsweise eine hohe Samplingrate, die vorzugsweise in einem Bereich von etwa 100 MHz liegt. Hierdurch wird eine Vielzahl von Datenpunkten erhalten, die für eine genauere Wiedergabe der reflektierten Impulse über die Zeit sorgen.

[0026] Im Gebrauch ordnet der Benutzer den Ultraschallgeber **36** auf dem gewünschten Abschnitt des zu messenden Kraftstofftanks **10** an, woraufhin die Impulsquelle **32** ein elektrisches Signal erzeugt, das den Ultraschallgeber **36** mit der gewünschten Frequenz in Schwingungen versetzt. Der Benutzer friert das Signal ein, indem er einen Schalter **42** (wie beispielsweise eine Computermaus), der am Personalcomputer **40** befestigt ist, betätigt, wodurch ein kurzer Ultraschallimpuls im Ultraschallgeber **36** erzeugt und in die Wand **11** des Kunststoffkraftstofftanks **10** übertragen wird. Wenn sich der Ultraschallimpuls durch die Mehrschichtstruktur der wand **11** bewegt, finden Reflexionen an jeder Grenzfläche zwischen Materialien statt, die eine unterschiedliche Dichte oder einen unterschiedlichen Brechungsindex besitzen. Die Reflexionen oder reflektierten Impulse werden zum Ultraschallgeber **36** zurückgeführt, wo sie vom Impulsemfänger **34** in Abhängigkeit von der Empfangszeit aufgezeichnet werden. Wie in [Fig. 4](#) gezeigt, kann eine Darstellung der reflektierten Impulse über die Zeit erzeugt werden, die manuell analysiert werden kann, um die Dicke der einzelnen Schichten und die Gesamtdicke der Kraftstofftankwand **11** zu bestimmen. Vorzugsweise analysiert ein Computersoftwareprogramm die aufgezeichneten Daten und wandelt diese Daten automatisch in die entsprechende Dicke der einzelnen Schichten um.

[0027] Auf empirische Weise können die einzelnen Peaks der Darstellung der [Fig. 4](#) mit den Grenzflächen der verschiedenen Schichten im Kraftstofftank **10** korreliert werden. Beispielsweise gibt ein erster Peak **50** die Außenfläche **52** des Kraftstofftanks **10** wieder. Ein zweiter Peak **54** kennzeichnet die Grenzfläche **56** zwischen der Regenerat-Schicht **22** und der äußeren Klebschicht **24** (wie vorher erläutert, ist die Grenzfläche zwischen der Außenschicht **14** aus Polyethylen und der Regenerat-Schicht **22** durch Ultraschallmessung nicht ermittelbar). Ein dritter Peak **58** gibt die Grenzfläche **60** zwischen der äußeren Klebschicht **24** und der Dampfsperrschicht **16** wieder. Ein vierter Peak **62** kennzeichnet die Grenzfläche **64** zwischen der Dampfsperrschicht **16** und der inneren Klebschicht **26**. Ein fünfter Peak **66** kennzeichnet die Grenzfläche **68** zwischen der inneren Klebschicht **26**

und der Innenschicht **12** aus Polyethylen. Schließlich gibt ein sechster Peak **70** die Innenfläche **72** der Kraftstofftankwand **11** wieder.

[0028] Die Zeit zwischen den diversen Peaks kennzeichnet die Durchtrittszeit des Ultraschallsignals durch die entsprechende Materialschicht. Die Durchtrittszeit ist die Zeit für: (1) den erzeugten Ultraschallimpuls, der sich durch die Schicht bewegt, und (2) die Zeit für den reflektierten Impuls, der durch diese Materialschicht zurückkehrt. Somit entspricht die Durchtrittszeit dem doppelten Wert der Zeit, die für einen Ultraschallimpuls einer vorgegebenen Frequenz erforderlich ist, um sich durch die entsprechenden Materialschicht zu bewegen. Daher kann die Dicke einer einzelnen Schicht im Mehrschicht-Kunststoffkraftstofftank **10** berechnet werden, indem die Hälfte der Durchtrittszeit mit der durchschnittlichen Schallgeschwindigkeit in diesem Material multipliziert wird. Diese Berechnung kann in einfacher Weise entweder manuell oder automatisch über einen Mikroprozessor, wie dem Personalcomputer **40**, durchgeführt werden. In entsprechender Weise kann die Gesamtdicke der gesamten Wand **11** berechnet werden.

[0029] Vorzugsweise wird die Schallgeschwindigkeit in jedem Material empirisch ermittelt, indem die Vorrichtung **30** selbst benutzt und unter Verwendung einer separaten Probe bekannter Dicke eines jeden Materials für jede Schicht der Wand kalibriert wird. Falls gewünscht, können jedoch auch veröffentlichte Standardwerte der Schallgeschwindigkeit in jedem Material benutzt und in das Computerprogramm eingegeben werden, um die Dicke einer jeden Materialschicht zu berechnen.

[0030] Es wurde empirisch ermittelt, dass bei einer Mehrschichtwand, wie der Tankwand **11**, der Beginn oder die in Kontakt mit dem Ultraschallgeber **30** stehende Außenfläche **52** immer durch eine Dreipeak-Wellenform **80** gekennzeichnet ist, wie in [Fig. 4](#) gezeigt, wobei der dritte Peak **50** die Außenfläche **52** kennzeichnet, während die letzte oder innerste Fläche der Wand immer durch eine Zweipeak-Wellenform **82** gekennzeichnet ist, wobei der erste Peak **70** die innerste Fläche **72** wiedergibt, bei der es sich um die Grenzfläche zwischen dem HDPE-Material und der atmosphärischen Luft im leeren Kraftstofftank handelt. Wenn man sich von beiden Enden nach innen bewegt, so kennzeichnet der Peak mit der höchsten Amplitude **58** die Grenzfläche **60** zwischen der äußeren Klebschicht **24** und der Dampfsperrschicht **16**. Wenn man sich in beiden Richtungen von diesem Peak **58** nach außen bewegt, so entsprechen die nächsten Peaks mit signifikanter Größe **54** und **62** den Grenzflächen **56** und **64**. Wie gezeigt, hat der Peak **62** eine negative Größe infolge der Materialänderung an der Grenzfläche **64** vom Material der Schicht **16** mit höherer Schallgeschwindigkeit zum Material der Schicht **26** mit niedrigerer Schallge-

windigkeit. Schließlich wird die Grenzfläche **68**, die die Grenzfläche zwischen der inneren Klebschicht **26** und der inneren HDPE-Schicht **12** bildet, durch Auswahl des nächsten Peaks signifikanter Größe **66** zwischen den Peaks **62** und **70** lokalisiert.

[0031] Diese charakteristische Wellenform ermöglicht eine automatisierte Computeranalyse unter Verwendung von geeigneter Software zur Ermittlung eines jeden Peaks **50**, **54**, **58**, **66** und **70** und des interessierenden Tales oder Peaks mit negativer Größe **62** sowie die Durchführung von Berechnungen zur Bestimmung der tatsächlichen Dicke einer jeden Materialschicht **22**, **24**, **16**, **26** und **12** der Mehrschichtwand **11**. Diese Erkennung der Wellenform und Berechnung der Dicke einer jeden Schicht kann durchgeführt werden, indem ein von der Firma Lab View Software entwickeltes Programm und ein geeigneter Personalcomputer verwendet werden. Diese Lab View Software ist von der Firma National Instruments Company, 6504 Bridge Point Parkway, Austin, Texas 78730-5039 erhältlich.

[0032] Somit benutzt die Vorrichtung **30** ein einfaches Verfahren unter Verwendung eines Ultraschallsignals zur Bestimmung der Dicke der einzelnen Schichten der Mehrschichtstruktur, wie eines Mehrschicht-Kunststoffkraftstofftanks **10**. Das verwendete Signal besitzt eine konstante und relativ hohe Frequenz, die Daten mit hoher Auflösung und Genauigkeit liefert. Bei dem Verfahren und der Vorrichtung **30** finden im Handel erhältliche Komponenten Verwendung, die ohne weiteres zusammen mit einem Personalcomputer **40** eingesetzt werden, um die Daten automatisch zu analysieren und die Ergebnisse zu berechnen. Ferner ist dieses Verfahren zerstörungsfrei und benötigt wesentlich weniger Zeit und intensive Arbeit als bekannte Verfahren. Es ermöglicht eine verbesserte Qualitätskontrolle bei der Herstellung von Kraftstofftanks **10**.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Messen der Dicke von einzelnen Schichten (**14**, **24**, **16**, **26**, **12**) von unterschiedlichen Materialien in einer Mehrschichtstruktur (**11**) durch Senden von Ultraschallimpulsen, Empfangen von reflektierten Impulsen und Analysieren der reflektierten Impulse mit den folgenden Schritten:

(a) Senden eines Ultraschallimpulses mit nur einer konstanten Frequenz in einem Bereich von 10 MHz bis 30 MHz in die Mehrschichtstruktur (**11**);

(b) Empfangen von reflektierten Impulsen von sämtlichen Grenzflächen (**52**, **56**, **60**, **64**, **68**, **72**) zwischen allen Materialschichten (**14**, **24**, **16**, **26**, **12**) unterschiedlicher Dichte und Dicke innerhalb der Mehrschichtstruktur (**11**) und von der Außenfläche und Innenfläche der Mehrschichtstruktur und Verwenden der Welle der Amplitude dieser reflektierten Impulse zur Korrelation der einzelnen Berge oder Täler (**50**,

54, 58, 62, 66, 70) der Welle mit entsprechenden Grenzflächen (**52, 56, 60, 64, 68, 72**) der benachbarten Schichten und mit der Außenfläche und Innenfläche der Mehrschichtstruktur (**11**) in Abhängigkeit von der Zeit;

(c) Bestimmen der Durchtrittszeit des Ultraschallimpulses für jede Schicht (**14, 24, 16, 26, 12**) innerhalb der Mehrschichtstruktur (**11**), wobei die Durchtrittszeit des Ultraschallimpulses für eine bestimmte Schicht beginnt, wenn ein reflektierter Impuls von einer ersten Fläche dieser Schicht empfangen wird, und endet, wenn ein reflektierter Impuls von einer ersten Fläche der nächsten Schicht empfangen wird; und

(d) Bestimmen der Dicke einer jeden Schicht (**14, 24, 16, 26, 12**) in Abhängigkeit von der Durchtrittszeit und der Schallgeschwindigkeit im Material einer jeden Schicht (**14, 24, 16, 26, 12**).

2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem die Dicke einer Schicht (**14, 24, 16, 26, 12**) auf der Basis von einer Hälfte der Durchtrittszeit multipliziert mit der Durchschnittsschallgeschwindigkeit im Material der Schicht bestimmt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem die Schichten (**14, 24, 16, 26, 12**), die in der Mehrschichtstruktur gemessen werden sollen, aus einem Kunststoffmaterial geformt sind und eine andere Dichte als ihre benachbarten Schichten besitzen.

4. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem die konstante Frequenz des Ultraschallimpulses zwischen etwa 10 und 20 MHz liegt.

5. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem die reflektierten Impulse mit einem Wert von 50 MHz bis 150 MHz gesampelt werden.

6. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem die Mehrschichtstruktur ein Kunststoffkraftstofftank ist, der mindestens eine Außenschicht (**14**), eine Innenschicht (**12**) und eine Dampfsperrschicht (**16**), die zwischen der Außenschicht (**14**) und der Innenschicht (**12**) angeordnet ist, aufweist.

7. Verfahren nach Anspruch 6, das des Weiteren ein Paar von Klebschichten (**24, 26**) mit einer äußeren Klebschicht (**24**), die zwischen der Dampfsperrschicht (**16**) und der Außenschicht (**14**) angeordnet ist, und einer inneren Klebschicht (**26**), die zwischen der Dampfsperrschicht (**16**) und der Innenschicht (**12**) angeordnet ist, umfasst.

8. Verfahren nach Anspruch 6, das des Weiteren den Schritt der Aufzeichnung der reflektierten Impulse über der Zeit umfasst, wobei reflektierte Impulse mit der entsprechenden Grenzfläche (**52, 56, 60, 64, 68, 72**) zwischen benachbarten Materialien auf Basis der empfangen Zeit und von Unterscheidungsmerk-

malen, die zwischen Kraftstofftanks entsprechender Konstruktion konstant bleiben, korreliert werden können.

9. Verfahren nach Anspruch 8, bei dem in der Aufzeichnung der reflektierten Impulse der Beginn der Außenschicht (**14**) durch drei eng benachbarte Peaks (**80**) relativ großer Größe gekennzeichnet ist.

10. Verfahren nach Anspruch 8, bei dem in der Aufzeichnung der reflektierten Impulse das Ende der Innenschicht (**12**) durch ein Paar von eng benachbarten Peaks (**82**) relativ großer Größe gekennzeichnet ist.

11. Verfahren nach Anspruch 8, bei dem in der Aufzeichnung der reflektierten Impulse der Beginn der Dampfsperrschicht (**16**) durch einen einzigen Peak (**58**) relativ großer Größe gekennzeichnet ist, der zwischen den reflektierten Impulsen angeordnet ist, die der Innenschicht (**14**) und der Außenschicht (**12**) entsprechen.

12. Verfahren nach Anspruch 7, das ferner den Schritt der Aufzeichnung der reflektierten Impulse über der Zeit umfasst, wodurch reflektierte Impulse mit der entsprechenden Grenzfläche (**52, 56, 60, 64, 68, 72**) zwischen benachbarten Materialien auf Basis der empfangenen Merkmale und von Unterscheidungsmerkmalen, die zwischen Kraftstofftanks einer entsprechenden Konstruktion konstant bleiben, korreliert werden können.

13. Verfahren nach Anspruch 12, bei dem die Grenzfläche (**60**) zwischen der äußeren Klebschicht (**24**) und der Dampfsperrschicht (**16**) durch einen einzigen Peak (**58**) gekennzeichnet ist, der die größte Größe besitzt und zwischen den Peaks (**82**) der Außenschicht (**12**) und der Innenschicht (**14**) angeordnet ist.

14. Verfahren nach Anspruch 13, bei dem die Grenzfläche (**56**) zwischen der äußeren Klebschicht (**24**) und der Außenschicht (**14**) und die Grenzfläche (**64**) zwischen der Dampfsperrschicht (**16**) und der inneren Klebschicht (**26**) lokalisiert werden, indem der nächste Peak über einer Schwellengröße benachbart zu jeder Seite des Peaks (**58**), der die Grenzfläche (**60**) zwischen der äußeren Klebschicht (**24**) und der Dampfsperrschicht (**16**) kennzeichnet, ausgewählt wird, wobei der der Grenzfläche zwischen der Dampfsperrschicht (**16**) und der inneren Klebschicht (**26**) entsprechende Peak ein negativer Peak oder ein Tal infolge der Änderung der Schallgeschwindigkeit zwischen den Materialien dieser Schichten ist.

15. Verfahren nach Anspruch 14, bei dem die Grenzfläche (**68**) zwischen der inneren Klebschicht (**26**) und der Innenschicht (**12**) lokalisiert wird, indem der nächste Peak über einer Schwellengröße be-

nachbart zu dem Peak, der der Grenzfläche (64) zwischen der inneren Klebschicht (26) und der Dampfsperrschicht (16) entspricht, ausgewählt wird.

16. Verfahren nach Anspruch 6, bei dem die Dampfsperrschicht (16) nicht mehr als etwa 5 % der Gesamtdicke des Kunststoffkraftstofftanks ausmacht.

17. Vorrichtung zum Bestimmen der Dicke einer jeden einzelnen Schicht (14, 24, 16, 26, 12) von unterschiedlichen Materialien in einer Mehrschichtstruktur (11) mit einem Impulserzeuger (32), einem Impulsempfänger (34) und einem Ultraschallgeber (36), der mit dem Impulserzeuger (32) und dem Impulsempfänger (34) gekoppelt ist, wobei der Impulserzeuger (32) ein elektrisches Signal erzeugt, das den Ultraschallgeber (36) in Vibrationen versetzt, um einen Ultraschallimpuls mit nur einer im wesentlichen konstanten Frequenz in einem Bereich von 10 MHz bis 30 MHz in die Mehrschichtstruktur (11) abzugeben, woraufhin reflektierte Impulse von jeder Grenzfläche (56, 60, 64, 68) zwischen benachbarten Schichten (24, 16, 26) und von der Innenfläche (72) und der Außenfläche (52) der Innenschicht (12) und der Außenschicht (14) der Mehrschichtstruktur (11) zum Ultraschallgeber (36) zurückgeführt, dem Impulsempfänger (34) zugeführt und in Abhängigkeit von der Zeit aufgezeichnet werden, um die Bestimmung der Dicke einer jeden einzelnen Schicht (14, 24, 16, 26, 12) der Mehrschichtstruktur (11) in Abhängigkeit von der Zeit zwischen ausgewählten Bergen und Tälern (50, 54, 58, 62, 66, 70) der Welle der reflektierten Impulse und der Schallgeschwindigkeit für das Material einer jeden unterschiedlichen Schicht (14, 24, 16, 26, 12) zu ermöglichen.

18. Vorrichtung nach Anspruch 17, die des weiteren einen Analog-Digital-Wandler (38), der mit dem Impulsempfänger (34) gekoppelt ist, um die vom Impulsempfänger empfangenen Impulse in eine digitale Form zu überführen, und einen Mikroprozessor (40) umfasst, der mit dem Wandler gekoppelt und so ausgebildet ist, dass er die relative Empfangszeit von reflektierten Impulsen ermittelt und auf diese Weise die Dicke der einzelnen Schichten (14, 24, 16, 26, 12) in Abhängigkeit von der Schallgeschwindigkeit im Material der einzelnen Schichten bestimmt.

19. Vorrichtung nach Anspruch 18, bei der der Mikroprozessor ein Computer (40) mit einer Software ist, mit der die Dicke von einzelnen Schichten (14, 24, 16, 26, 12) auf der Basis des digitalen Ausgangssignals des Wandlers (38) bestimmt werden kann.

20. Vorrichtung nach Anspruch 18, bei der die Impulsquelle, der Impulsempfänger und der Wandler (38) Hardware-Komponenten des Computers (40)

sind.

21. Vorrichtung nach Anspruch 18, bei der der Wandler (38) eine Samplingrate zwischen 50 MHz und 150 MHz besitzt.

22. Vorrichtung nach Anspruch 17, bei der der Ultraschallgeber (36) ein solcher vom Kontakttyp ist und ein Luftverdrängungsmedium zwischen der Mehrschichtstruktur (11) und dem Ultraschallgeber (36) angeordnet ist, um jegliche Luft hierzwischen auszuschließen.

23. Vorrichtung nach Anspruch 17, die des weiteren einen Analog-Digital-Wandler (38), der mit dem Impulsempfänger (34) gekoppelt ist, um die vom Impulsempfänger (34) empfangenen Impulse in digitale Form zu überführen, und einen Computer (45) umfasst, der mit dem Wandler (38) verbunden ist und Software aufweist, die so ausgebildet ist, dass hiermit die Dicke einer jeden einzelnen Schicht (14, 24, 16, 26, 12) der Mehrschichtstruktur (11) mit mindestens einer Außenschicht (14), einer äußeren Klebschicht (24), einer Dampfsperrschicht (16), einer inneren Klebschicht (26) und einer Innenschicht (12) bestimmt werden kann.

24. Vorrichtung nach Anspruch 23, dadurch gekennzeichnet, dass der Computer (40) und die Software in der Lage sind, den Peak (50) der Welle der reflektierten Impulse, der dem Beginn der Außenschicht (14) entspricht und durch drei eng benachbarte Peaks (80) einer relativ großen Größe der Welle gekennzeichnet ist, zu bestimmen.

25. Vorrichtung nach Anspruch 23, dadurch gekennzeichnet, dass der Computer (40) und die Software in der Lage sind, den Peak (70) der Welle zu bestimmen, der dem Ende der Innenschicht (12) entspricht und durch ein Paar von eng benachbarten Peaks (82) einer relativ großen Größe der Welle gekennzeichnet ist.

26. Vorrichtung nach Anspruch 23, dadurch gekennzeichnet, dass der Computer (40) und die Software in der Lage sind, den Peak (58) der Welle zu bestimmen, der dem Beginn der Dampfsperrschicht (16) entspricht und durch einen einzigen Peak (58) einer relativ großen Größe zwischen den reflektierten Impulsen, die der Innenschicht (14) und der Außenschicht (12) entsprechen, gekennzeichnet ist.

27. Vorrichtung nach Anspruch 23, dadurch gekennzeichnet, dass der Computer (40) und die Software in der Lage sind, den Impuls (58) entsprechend der Grenzfläche (60) zwischen der äußeren Klebschicht (24) und der Dampfsperrschicht (16) zu bestimmen, der durch einen einzigen Peak (58) mit der größten Größe gekennzeichnet ist, welcher zwischen den Peaks (50, 70) der Außenschicht (14) und der In-

nenschicht (12) angeordnet ist.

28. Vorrichtung nach Anspruch 27, dadurch gekennzeichnet, dass der Computer (40) und die Software in der Lage sind, die Grenzfläche (56) zwischen der äußeren Klebschicht (24) und der Außenschicht (14) und die Grenzfläche (64) zwischen der Dampfsperrschicht (16) und der inneren Klebschicht (26) zu bestimmen, indem sie den nächsten Peak (54, 62) auswählen, der größer ist als eine Schwellengröße benachbart zu jeder Seite des Peaks (58), der die Grenzfläche (60) zwischen der äußeren Klebschicht (24) und der Dampfsperrschicht (16) kennzeichnet, wobei der Peak (62) entsprechend der Grenzfläche (64) zwischen der Dampfsperrschicht (16) und der inneren Klebschicht (26) ein Tal (62) oder ein negativer Peak infolge der Änderung der Schallgeschwindigkeit zwischen den Materialien dieser Schichten (16, 26) ist.

29. Vorrichtung nach Anspruch 28, dadurch gekennzeichnet, dass der Computer (40) und die Software in der Lage sind, die Grenzfläche (68) zwischen der inneren Klebschicht (26) und der Innenschicht (12) zu bestimmen, indem sie den nächsten Peak (66) über einer Schwellengröße benachbart zu dem Peak (62) entsprechend der Grenzfläche (64) zwischen der inneren Klebschicht (26) und der Dampfsperrschicht (16) auswählen.

Es folgen 2 Blatt Zeichnungen

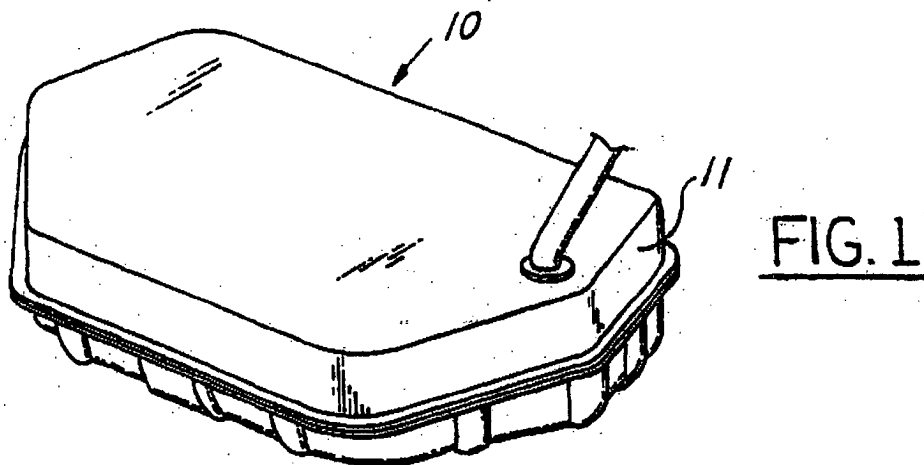


FIG. 2

