



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
05.09.2007 Patentblatt 2007/36

(51) Int Cl.:
B06B 1/06 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **07003959.9**

(22) Anmeldetag: **27.02.2007**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HU IE IS IT LI LT LU LV MC NL PL PT RO SE SI SK TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
AL BA HR MK YU

(72) Erfinder:
• **Meier, Rainer**
91058 Erlangen (DE)
• **Rehfeldt, Thomas**
91096 Möhrendorf (DE)

(30) Priorität: **04.03.2006 DE 102006010009**

(74) Vertreter: **Mörtel & Höfner**
Patentanwälte
Äussere Sulzbacher Strasse 159/161
90491 Nürnberg (DE)

(71) Anmelder: **intelligeNDT Systems & Services GmbH & Co. KG**
91058 Erlangen (DE)

(54) **Verfahren zum Herstellen eines Ultraschallprüfkopfes mit einer Ultraschallwandleranordnung mit einer gekrümmten Sende- und Empfangsfläche**

(57) Ein Verfahren zum Herstellen eines Ultraschallprüfkopfes mit einer Ultraschallwandleranordnung (200) mit einer gekrümmten Sende- und Empfangsfläche (23), die aus einer Mehrzahl nebeneinander angeordneter Wandlerelemente (14) aufgebaut ist, umfasst gemäß der Erfindung folgende Verfahrensschritte:

- a) eine den Außenabmessungen der Ultraschallwandleranordnung entsprechende piezoelektrische ebene Platte (2) wird mit einer ihrer Flachseiten (2a) auf eine Folie (4) aus einem Polymer aufgeklebt,
b) in die der Folie (4) abgewandte Flachseite (2b) der

piezoelektrischen Platte (2) werden vor oder nach dem Aufkleben auf die Folie (4) Nuten (12) eingebracht, deren Tiefe zumindest annähernd der Dicke der Platte (2) entspricht, so dass eine aus einer Mehrzahl nebeneinander angeordneter Wandlerelemente (14) bestehende ebene Ultraschallwandleranordnung (20) entsteht,
c) anschließend wird die ebene Ultraschallwandleranordnung (20) mit ihrer mit der Folie (4) verklebten Flachseite (2a) auf eine gekrümmte Auflagefläche einer Biegeeinrichtung (22) aufgebracht und dort in eine gekrümmte Form gebogen.

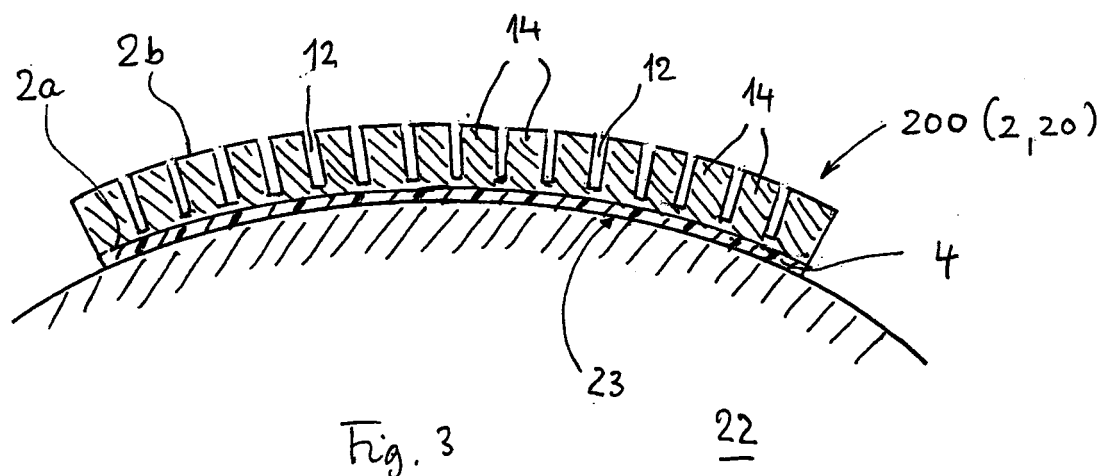


Fig. 3

22

Beschreibung

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zum Herstellen eines Ultraschallprüfkopfes mit einer Ultraschallwandleranordnung mit einer gekrümmten Sende- und Empfangsfläche.

[0002] Insbesondere aus Faserverbundwerkstoffen wie z.B. glasfaserverstärkten oder kohlefaserverstärkten Kunststoffen (GFK bzw. CFK) hergestellte Werkstücke können bedingt durch das jeweils gewählte Herstellungsverfahren eine hohe Porosität oder Delaminationen aufweisen. Dies stellt insbesondere bei mechanisch hoch beanspruchten und sicherheitsrelevanten Bauteilen ein erhebliches Problem dar.

[0003] Aus Gundtoft, Hans Erik, "Quantitative material characterisation of composites by ultrasonic scanning", 15th WCNDT Conference Roma 2000, publiziert im Internet unter der Adresse www.ndt.net/article/wcndt00/papers/idn531/idn531.htm, ist ein Verfahren zum Ermitteln der Porosität eines Faserverbundwerkstoffes bekannt, bei dem in das Bauteil ein Ultraschallsignal eingekoppelt wird und die Amplitude des Rückwandechosignals erfasst und mit den entsprechenden Signalen eines einwandfreien Bauteils verglichen werden. Eine niedrigere Amplitude des Rückwandechosignals ist dabei ein Indiz für das Vorhandensein von porösen Stellen innerhalb des Bauteils.

[0004] Aus Shark L.-K., Yu, C., "Automatic estimation of ultrasonic attenuation for porosity evaluation in composite material", 15th WCNDT Conference Roma 2000, ist es bekannt, das Rückwandechosignal mit einer sogenannten wavelet-Analyse zu korrigieren, wobei zur Beurteilung der Porosität das Verhältnis zwischen Amplitude des Eintrittsechosignals und Amplitude des korrigierten Rückwandechosignals verwendet wird.

[0005] Die bekannten Verfahren setzen allerdings voraus, dass die zu prüfenden Bauteile eine ebene Oberfläche und eine dazu im wesentlichen parallele Rückwand aufweisen, um ein auswertbares Rückwandecho zu erhalten. Ein besonderes Problem stellt jedoch insbesondere die automatisierte Prüfung von Bauteilen in unebenen, fertigungstechnisch bedingt besonders fehleranfälligen Bereichen, beispielsweise in gekrümmten Radienbereichen dar. Um auch in diesen Bereichen verlässliche Prüfergebnisse zu erhalten, ist es nach wie vor erforderlich, mit Einzelschwingerprüfköpfen eine manuelle Prüfung durchzuführen.

[0006] Um in diesen gekrümmten Bereichen eine weitgehend automatisierte Prüfung zu ermöglichen, ist es grundsätzlich möglich, Prüfköpfe einzusetzen, die eine Ultraschallwandleranordnung enthalten, die aus einer Mehrzahl nebeneinander angeordneter Wandlerelemente aufgebaut sind, und deren Sende- und Empfangsfläche an die gekrümmte Oberflächengeometrie des Werkstückes angepasst ist. Die Herstellung einer solchen Ultraschallwandleranordnung ist jedoch problematisch, da die in der Regel verwendeten piezoelektrischen Ausgangskörper aus einem keramischen Verbundwerk-

stoff bestehen und in Form von ebenen Platten vorliegen, die beim Biegen sehr leicht brechen. Die Gefahr eines Bruches ist insbesondere dann hoch, wenn in den Ausgangskörper Nuten eingebracht worden sind, um auf diese Weise eine aus einzelnen, akustisch weitgehend voneinander getrennten Wandlerelementen aufgebaute Ultraschallwandleranordnung (Array) herzustellen.

[0007] Der Erfindung liegt nun die Aufgabe zu Grunde, ein Verfahren zum Herstellen eines Ultraschallprüfkopfes mit einer Ultraschallwandleranordnung mit einer gekrümmten Sende- und Empfangsfläche anzugeben, die aus einer Mehrzahl nebeneinander angeordneter Wandlerelemente aufgebaut ist, mit dem die vorgenannten Schwierigkeiten vermieden sind.

[0008] Die genannte Aufgabe wird gemäß der Erfindung gelöst mit einem Verfahren mit den Merkmalen des Patentanspruches 1, umfassend die folgenden Verfahrensschritte:

- a) eine den Außenabmessungen der Ultraschallwandleranordnung entsprechende piezoelektrische ebene Platte wird mit einer ihrer Flachseiten auf eine Folie aus einem Polymer aufgeklebt,
- b) in die der Folie abgewandte Flachseite der piezoelektrischen Platte werden vor oder nach dem Aufkleben auf die Folie Nuten eingebracht, deren Tiefe zumindest annähernd der Dicke der Platte entspricht, so dass eine aus einer Mehrzahl nebeneinander angeordneter Wandlerelemente bestehende ebene Ultraschallwandleranordnung entsteht,
- c) anschließend wird die ebene Ultraschallwandleranordnung mit ihrer mit der Folie verklebten Flachseite auf eine gekrümmte Auflagefläche einer Biegevorrichtung aufgebracht und dort in eine gekrümmte Form gebogen.

[0009] Da sich die aus der piezoelektrischen Platte durch Einbringen von Nuten gebildete Ultraschallwandleranordnung (Array) beim Biegevorgang auf einer Folie befindet, mit der sie fest verklebt ist, ist ein Auseinanderbrechen der Ultraschallwandleranordnung in lose Einzelteile selbst dann verhindert, wenn die am Nutgrund noch zusammenhängenden Wandlerelemente beim Biegen an diesem Nutgrund auseinanderbrechen. Auf diese Weise ist es problemlos möglich, für die jeweilige Prüfungsaufgabe optimierte Ultraschallprüfköpfe herzustellen, deren Ultraschallwandleranordnungen eine an die jeweilige Oberflächenform des zu prüfenden Bauteils angepasste Sende- und Empfangsflächen aufweisen.

[0010] Weitere vorteilhafte Ausgestaltung des Verfahrens sind in den Unteransprüchen angegeben. Zur weiteren Erläuterung der Erfindung wird auf das Ausführungsbeispiel der Zeichnung verwiesen. Es zeigen:

Fig. 1 bis 4 jeweils in einem schematischen Schnittbild in zeitlich aufeinanderfolgenden Schritten wesentliche Verfahrensschritte bei der Herstellung eines Ultraschallprüfkopfes gemäß der Erfindung.

[0011] Gemäß Fig. 1 wird eine piezoelektrische Platte 2 mit einer ihrer ebenen Flachseiten 2a auf eine aus einem Polymer bestehende dünne Folie 4 aufgeklebt. Die Folie 4 besteht im Beispiel aus PVDF (Polyvinyliden-difluorid) und ist typisch etwa 0,1 mm dick und dient zugleich als $\lambda/4$ -Anpasssschicht, um die akustische Impedanz der aus einem piezokeramischen Kompositmaterial bestehenden Platte 2 an ein in Prüfsituationen verwendetes Koppelmedium, in der Regel Wasser, anzupassen. Die Dicke der Platte 2 selbst beträgt etwa 0,3 mm.

[0012] Auf ihrer der Platte 2 zugewandten Flachseite 6 ist die Folie 4 mit einer in der Figur nicht dargestellten elektrisch leitfähigen Schicht versehen, deren Dicke im Submikrometerbereich liegt. Am Rand der Folie 4 ist ein elektrisch leitfähiger, beispielsweise aus Silber bestehender Kontaktstreifen 8 aufgelegt, dessen Dicke nur wenige μm beträgt, und der sich in einer zur Zeichenebene senkrechten Längsrichtung der Platte 2 bzw. der Folie 4 erstreckt. Die piezoelektrische Platte 2 ist an ihren Flachseiten 2a,b ebenfalls mit einer in der Figur nicht dargestellten elektrisch leitfähigen Schicht versehen. Der Kontaktstreifen 8 dient in einem späteren Fertigungsschritt zum Anbringen der Massekontaktierung.

[0013] Gemäß Fig. 2 wird nun die mit der elektrisch leitfähigen Folie 4 verklebte piezoelektrische Platte 2 zur weiteren Bearbeitung auf einem Sägetisch 10 fixiert, beispielsweise auf diesen lösbar aufgeklebt. In einem nächsten Arbeitsschritt werden nun ausgehend von der der elektrisch leitfähigen Folie 4 gegenüberliegenden Flachseite 2b (Kontaktierungs- oder Rückseite) der piezoelektrischen Platte 2 eine Mehrzahl von schmalen, etwa 50 μm breiten, sich senkrecht zur Flachseite 2b in das Innere der Platte 2 erstreckende Nuten 12 durch Sägeschnitte eingebracht, die parallel zur Schmalseite der Platte 2 und parallel zur Zeichenebene verlaufen, und deren Tiefe t nahezu der Dicke d der Platte 2 entspricht. Durch die Nuten 12 wird im Ausführungsbeispiel die Platte 2 in eine Vielzahl von in einer senkrecht zur Zeichenebene sich erstreckende Längsrichtung nebeneinander angeordneten Wandlerelementen 14 aufgeteilt, so dass eine lineare ebene Ultraschallwandleranordnung 20 entsteht.

[0014] Parallel zu ihrer sich senkrecht zur Zeichenebene erstreckenden Längsseite wird in die piezoelektrische Platte 2 auf der Flachseite 2b in der Nähe ihres Randes eine schmale Längsnut 16 eingebracht, die parallel zum Kontaktstreifen 8 in einem Abstand a zum Rand der Platte 2 verläuft, der größer ist als die Breite b eines Bereiches 80, in dem der Kontaktstreifen 8 die Platte 2 kontaktiert. Auf diese Weise ist der oberhalb des Kontaktstreifens 8 befindliche Teil der piezoelektrischen Platte 2 auf der Kontaktierungsseite elektrisch von den Wandlerelementen 14 getrennt, so dass Störungen des Schallfeldes im Bereich des Kontaktstreifens 8 vermieden sind. Der hierzu erforderliche Sägeschnitt hat nur eine geringe, zur Kontakttrennung notwendige Tiefe, um ein Brechen der Platte 2 an dieser Stelle zu vermeiden. In dem dargestellten Ausführungsbeispiel werden in diesem Ferti-

gungsschritt sowohl der Kontaktstreifen 8 als auch die der Folie 4 gegenüberliegende Kontaktierungsseite eines jeden Wandlerelementes 14 mit Kontaktdrähten 21 aus Kupfer kontaktiert.

5 **[0015]** Grundsätzlich ist es auch möglich, in die Platte 12 die Nuten 12 und 16 einzubringen, bevor diese mit der Folie 4 verklebt wird.

[0016] Nach Einbringen der Nuten 12 und der Längsnut 16 wird die Ultraschallwandleranordnung 20 vom Sägetisch 10 gelöst und zu einer in Fig. 3 veranschaulichten Biegevorrichtung 22 gebracht, deren Oberfläche eine im Beispiel konvexe Krümmung aufweist, die derjenigen dementsprechend konkaven Krümmung entspricht, die eine Sende- und Empfangsfläche 23 der Ultraschallwandleranordnung 200 im Endzustand aufweisen soll. In der Figur 3 ist nun eine Situation dargestellt, in der die Wandlerelemente 14 der Ultraschallwandleranordnung 200 auch im gebogenen Zustand noch zusammenhängen. Selbst wenn die Wandlerelemente 14 am Grund der Nuten 12 auseinander brechen, was sowohl ungewollt der Fall sein kann als auch beabsichtigt sein kann, werden diese durch die Folie 4 gehalten, so dass die Ultraschallwandleranordnung 200 nicht in Einzelelemente zerfällt.

25 **[0017]** Die gebogene Ultraschallwandleranordnung 200 wird nun aus der Biegevorrichtung 22 entnommen und gemäß Fig. 4 über eine Fertigungsverfahren 24 gespannt. In dieser Fertigungsverfahren 24 wird über die Ultraschallwandleranordnung 200 passgenau ein Gehäuseteil 26 geschoben und an der Fertigungsverfahren 24 befestigt. Ein zwischen der Rückseite der Ultraschallwandleranordnung 200 und der Oberkante des Gehäuseteils 26 befindlicher Hohlraum 30 wird nun mit einer aushärtenden Dämpfungsmasse 32 ausgegossen. Nach Aushärten der Dämpfungsmasse 32 wird die Ultraschallwandleranordnung 200 gemeinsam mit dem Gehäuse 26 entnommen. Dieses wird mit einem Deckel verschlossen und der Ultraschallprüfkopf ist nach Befestigung der Anschlusskabel fertiggestellt.

30 **[0018]** Anstelle der in Fig. 2 geschilderten Vorgehensweise können die Rückseiten der Wandlerelemente 14 sowie die in Fig. 3 nicht sichtbare Kontaktstreifen 8 auch in der Biegevorrichtung 22 oder in der Fertigungsverfahren 24 mit Kontaktdrähten 21 kontaktiert werden.

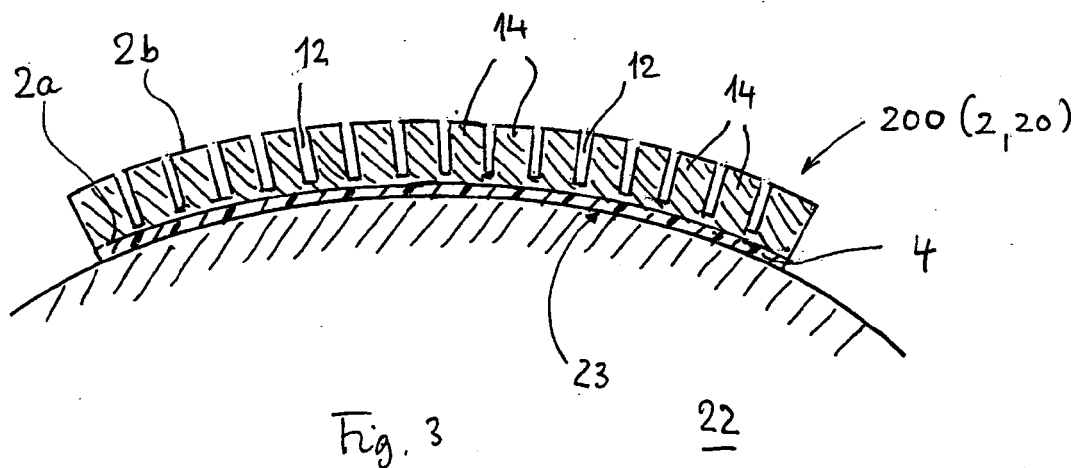
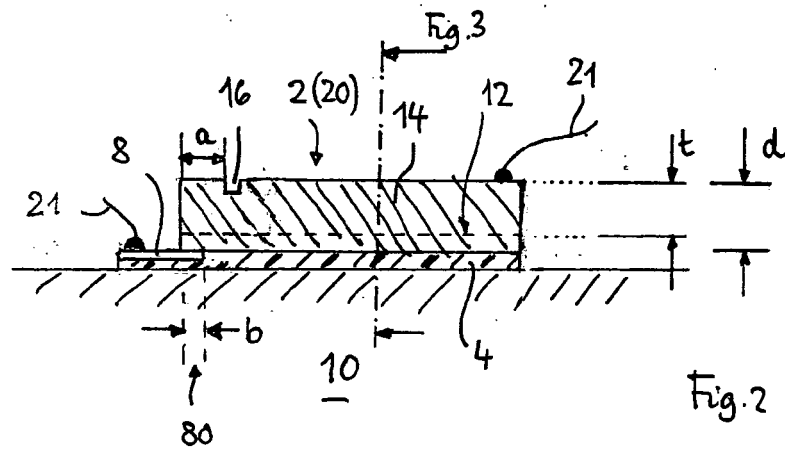
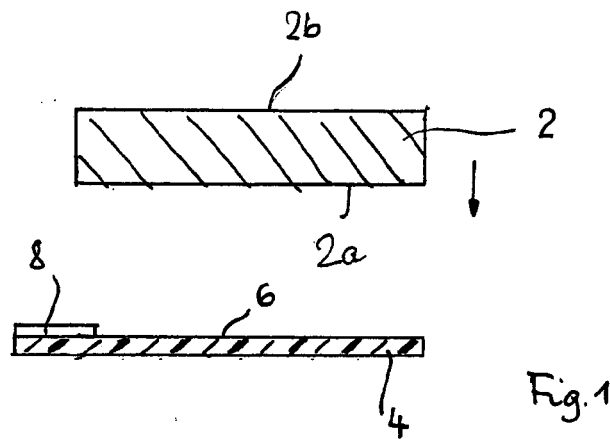
40 **[0019]** Im dargestellten Ausführungsbeispiel ist die Herstellung einer konkav gekrümmten Ultraschallwandleranordnung erläutert, bei der die Wandlerelemente nebeneinander entlang einer gekrümmten Linie angeordnet sind (gekrümmtes lineares Array). Die Erfindung ist jedoch grundsätzlich auch zur Herstellung konvex gekrümmter "linearer" Ultraschallwandleranordnungen oder konvex oder konkav gekrümmter "zweidimensionaler" Ultraschallwandleranordnungen (gekrümmtes matrixförmiges Array) geeignet.

55

Patentansprüche

ten:

1. Verfahren zum Herstellen eines Ultraschallprüfkopfes mit einer Ultraschallwandleranordnung (200) mit einer gekrümmten Sende- und Empfangsfläche (23), die aus einer Mehrzahl nebeneinander angeordneter Wandlerelemente (14) aufgebaut ist, umfassend folgende Verfahrensschritte:
 - a) eine den Außenabmessungen der Ultraschallwandleranordnung entsprechende piezoelektrische ebene Platte (2) wird mit einer ihrer Flachseiten (2a) auf eine Folie (4) aus einem Polymer aufgeklebt, 5
 - b) in die der Folie (4) abgewandte Flachseite (2b) der piezoelektrischen Platte (2) werden vor oder nach dem Aufkleben auf die Folie (4) Nuten (12) eingebracht, deren Tiefe (t) zumindest annähernd der Dicke (d) der Platte (2) entspricht, so dass eine aus einer Mehrzahl nebeneinander angeordneter Wandlerelemente (14) bestehende ebene Ultraschallwandleranordnung (20) entsteht, 10
 - c) anschließend wird die ebene Ultraschallwandleranordnung (20) mit ihrer mit der Folie (4) verklebten Flachseite (2a) auf eine gekrümmte Auflagefläche einer Biegevorrichtung (22) aufgebracht und dort in eine gekrümmte Form gebogen. 15
2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem die Folie (4) auf ihrer der Platte (2) zugewandten Flachseite elektrisch leitfähig beschichtet ist. 20
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, bei dem die Platte (2) eine Längsseite und eine Schmalseite aufweist und bei dem zwischen die Platte (2) und die Folie (4) parallel zur Längsseite und am Rand der Platte (2) ein elektrisch leitfähiger Kontaktstreifen (8) eingelegt wird. 25
4. Verfahren nach Anspruch 3, bei dem zusätzlich zu den sich parallel zu den Schmalseiten erstreckenden und die Trennung der Wandlerelemente (14) bewirkenden Nuten (12) auf der der Folie abgewandten Flachseite (2b) der Platte (2) eine sich am Rand der Platte (2) parallel zu ihrer Längsseite erstreckende Längsnut (16) in einem Abstand (a) zum Rand der Platte (2) eingebracht, der größer ist als die Breite (b) eines Bereiches (80), in dem der Kontaktstreifen (8) die Platte (2) kontaktiert. 30
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die Platte (2) beim Biegen am Grund der Nuten (12) auseinandergebrochen wird. 35
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, mit folgenden zusätzlichen Verfahrensschritten:
 - d) die gebogene Ultraschallwandleranordnung (200) wird in eine Fertigungsvorrichtung (24) eingespannt, und spätestens in diesem Fertigungsstadium mit den Kontaktdrähten (21) versehen, 40
 - e) über die kontaktierte gebogene Ultraschallwandleranordnung (200) wird anschließend ein vorgefertigtes Gehäuseteil (26) geschoben und in der Fertigungsvorrichtung (24) fixiert, 45
 - f) ein zwischen der der Folie abgewandten Flachseite (2b) der gebogenen Ultraschallwandleranordnung (200) und der Oberkante (28) des Gehäuseteils (26) befindlicher Hohlraum (30) wird mit einer aushärtenden Dämpfungsmasse (32) ausgegossen. 50
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die Platte (2) beim Biegen am Grund der Nuten (12) auseinandergebrochen wird. 55
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, mit folgenden zusätzlichen Verfahrensschritten:



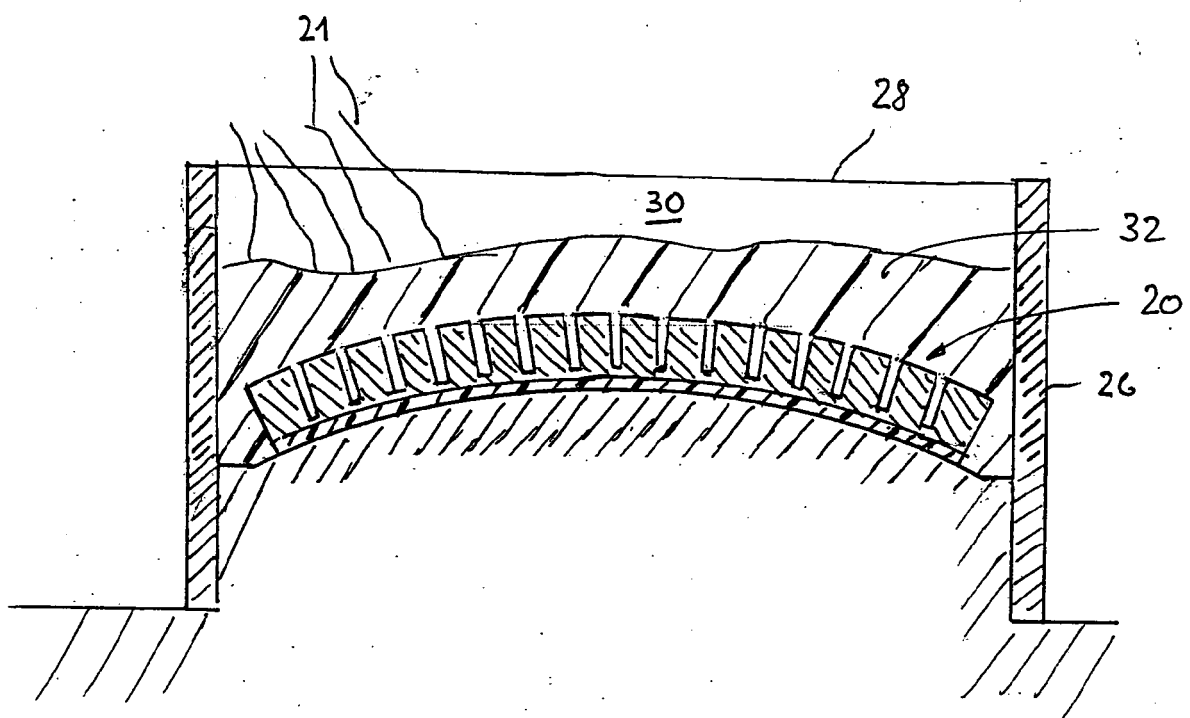


Fig. 4

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur

- **HANS ERIK.** Quantitative material characterisation of composites by ultrasonic scanning. *15th WCNDT Conference Roma, 2000*, www.ndt.net/article/wcndt00/papers/idn531/idn531.htm **[0003]**
- **SHARK L.-K. ; YU, C.** Automatic estimation of ultrasonic attenuation for porosity evaluation in composite material. *15th WCNDT Conference Roma, 2000* **[0004]**