



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 603 11 596 T2** 2007.10.25

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 575 748 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **603 11 596.9**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/GB03/05557**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **03 768 022.0**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2004/056546**

(86) PCT-Anmeldetag: **18.12.2003**

(87) Veröffentlichungstag

der PCT-Anmeldung: **08.07.2004**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **21.09.2005**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **31.01.2007**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **25.10.2007**

(51) Int Cl.⁸: **B29C 35/02** (2006.01)
B29C 70/44 (2006.01)

(30) Unionspriorität:

0230043 23.12.2002 GB

(73) Patentinhaber:

Airbus UK Ltd., Filton, Bristol, GB

(74) Vertreter:

Manitz, Finsterwald & Partner GbR, 80336 München

(84) Benannte Vertragsstaaten:

DE, ES, FR, GB

(72) Erfinder:

STACEY, Paul Stephen, Filton, Bristol BS99 7AR, GB; WILLIAMS, Stephen, Filton, Bristol BS99 7AR, GB

(54) Bezeichnung: **METHODE UND VORRICHTUNG ZUM HÄRTEN EINES VERBUNDLAMINATES**

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] Die vorliegende Erfindung betrifft das Härten von Verbundmaterialien zur Fertigung von Bauteilen und befasst sich insbesondere mit der Steuerung des Härteprozesses.

[0002] Verbundmaterialien umfassen Fasern, wie zum Beispiel Kohlenstofffasern, Glasfasern und Aramidfasern, die in verschiedenen Harzmatrizen gehalten sind. Sie werden verwendet, um Bauteile für viele Anwendungen zu fertigen, und sie sind insbesondere in der Luft- und Raumfahrtindustrie gebräuchlich.

[0003] Um das Verbundmaterial zu bilden, wird ein chemischer Prozess, bekannt als Härten, durchgeführt, durch den das flüssige Harz quervernetzt, um einen Feststoff zu bilden. Das Härten findet allgemein während des Bauteilformens statt, obwohl es auch in anderen Stadien des Bildens des Bauteils stattfinden kann, wie zum Beispiel vor oder nach dem Formen, oder während des Formens beginnen und nach dem Formen abgeschlossen werden kann. Das Härten eines Bauteils kann Zeiten von einigen Sekunden bis zu mehreren Stunden erfordern. Das Härten erfordert, dass eine Reaktion in einem verwendeten System stattfindet. In der Flugzeugindustrie erfordern aus Verbundmaterialien gefertigte Bauteile, dass die Reaktion mit oder ohne Druck, der ausgeübt wird, um das Material zu verdichten, bei präzise gesteuerten Temperaturen stattfindet (dabei kann es sich um Raumtemperatur oder um eine erhöhte Temperatur handeln).

[0004] Umgebungsbedingungen, einschließlich der Temperaturverteilung, müssen präzise gesteuert werden, um eine gleichmäßige Aushärtung über das ganze Bauteil zu erzeugen. Um eine Steuerung der Umgebung zu ermöglichen, findet das Härten innerhalb eines Temperatur gesteuerten Behälters statt, wie zum Beispiel eines Ofens oder eines Autoklavs (bei dem auch der Druck gesteuert wird). Andere Umgebungsbedingungen, wie zum Beispiel die Feuchtigkeit, können ebenfalls gesteuert werden. Das Steuern der Temperatur über das Bauteil wird durch Konstruktionserfordernisse komplizierter gemacht, die relativ dicke Bauteile und/oder Änderungen der Dicke des Verbundmaterials umfassen. Diese Konstruktionserfordernisse erhöhen die Schwierigkeit des Aufrechterhaltens einer konstanten Temperatur über die Dicke des Verbundmaterials hinweg und an verschiedenen Punkten des fertigbearbeiteten Bauteils. Die Dickenunterschiede über das Bauteil bedeuten, dass das Material sich nicht gleichmäßig erwärmt und nicht gleichmäßig abkühlt, was zu heißen und/oder kalten Stellen (hot spots bzw. cold spots) führt.

[0005] Um den Prozess zu steuern und um zu wissen, wann und wo mehr oder weniger Wärme zuge-

führt werden soll, um heiße und kalte Stellen zu beseitigen oder abzumildern, wird die Temperatur über das Bauteil überwacht. Einrichtungen, wie zum Beispiel Thermoelemente, die an dem Bauteilrand angebracht sind, werden verwendet, um die Temperatur zu überwachen. Diese Einrichtungen werden jedoch nur die lokale Randtemperatur ablesen und keinen Hinweis auf die Temperatur in von der Einrichtung entfernten Bereichen des Bauteils geben, wie zum Beispiel im Zentrum des Bauteils oder an einer Randposition, an der keine Einrichtung angebracht ist. Es wird oft beobachtet, dass es im Zentrum des Bauteils Bereiche eines schnellen oder langsamen Erwärmens (heiße oder kalte Stellen) gibt, und zwar aufgrund eines Dünnerwerdens oder Dickwerdens des Verbunds in diesen Bereichen. Das Anordnen von Thermoelementen zentral an einem härtenden Laminat, um derartige Wärmefluktuationen zu überwachen, ist nicht möglich, da die Einrichtungen das Produkt markieren, und dies ist nicht akzeptabel. In der Tat ist es inakzeptabel, überhaupt eine Einrichtung entfernt von dem Rand auf der Oberfläche des Bauteils anzuordnen. Dieser Stand der Technik ist in der US-A-5,345,397, der US-A-4,828,472 und der US-A-4,515,545 erläutert.

[0006] Die oben erklärten Schwierigkeiten können durch die Erfordernisse weiter verschlimmert werden, die Aushärtung über das Bauteil in einer rauen Umgebung, wie zum Beispiel einer hohen Temperatur und einem hohen Druck, wie sie in einem Ofen oder einem Autoklav auftreten, gleichmäßig zu steuern.

[0007] Andere Anordnungen wurden zum Messen der Temperatur in Öfen und anderen beheizten Behältern vorgeschlagen. Die US-A-4,685,812 offenbart ein Infrarotpyrometer, das für einen begrenzten Zeitraum in einen Industrieofen herabgelassen werden kann, um Infrarotstrahlung zu überwachen. Die US-A-5,209,881 offenbart die Verwendung eines Infrarotpyrometers. Es wird in einem Ofen eingesetzt, um die Temperatur von gewellten Glasfaser-Harz-Kunststoffplatten zu überwachen, die gehärtet werden. Die US-A-4,874,948 offenbart das Heizen einer Stelle auf der Oberfläche eines Gegenstands, der einem Härten unterzogen wird, mittels eines Laserstrahls und ein Schätzen der Temperatur der geheizten Stelle während eines Heizzyklus mittels eines Infrarotphotodetektors, der die Infrarotstrahlung überwacht. Dies ermöglicht es, dass der Stand des Härten des Gegenstands eingeschätzt werden kann.

[0008] Bei anderen Anwendungen offenbart die US-A-6,132,084 einen Mikrowellenofen, bei dem ein Infrarotdetektor die Temperatur in dem Mikrowellenofen überwacht. Rotierende Flügel, die zum Verteilen der Mikrowellenstrahlung eingesetzt werden, werden auch eingesetzt, um die von den Objekten in dem

Ofen ausgesendete Infrarotstrahlung zu scannen, und diese Strahlung wird an einen Photodetektor übermittelt. Die DE-A-196 15 244 offenbart einen Sensor zur InfrarotstrahlungsPyrometrie, der eine Spule umfasst, an der thermoelektrische Leitungen angebracht sind, und der in einem beheizten, leitfähigen Gehäuse angeordnet ist und hinter einem strahlungsdurchlässigen Fenster positioniert ist.

[0009] Beim kontaktlosen Überwachen der Temperatur eines Verbundmaterials, das in einem Ofen oder Autoklav gehärtet wird, sind Verbesserungen erforderlich, um die speziellen Probleme zu berücksichtigen, die oben für Luft- und Raumfahrtanwendungen angegeben sind.

[0010] Bei einem ersten Aspekt wird ein Verfahren zum Härten eines Verbundmaterials zur Verfügung gestellt, umfassend die Schritte:
Bereitstellen eines Verbundmaterials (10) in einem Temperatur gesteuerten Behälter;
Bereitstellen einer Infrarotkamera (1) innerhalb oder außerhalb des Behälters, die angeordnet ist, um die Temperatur des Verbundmaterials über zumindest einen Teil der Oberfläche des Materials zu überwachen;
Bereitstellen eines thermischen Mappings der Temperatur des Teils mittels der Infrarotkamera; und
Einstellen der Temperatur in dem Behälter in Abhängigkeit von dem thermischen Mapping, um das Material zu härten.

[0011] Bei einem zweiten Aspekt stellt die Erfindung eine Vorrichtung zum Härten eines Verbundmaterials zur Verfügung, umfassend:
einen Temperatur gesteuerten Behälter zum Aufnehmen eines Verbundmaterials zum Härten;
eine Infrarot-Temperaturmeseinrichtung, die sich innerhalb oder außerhalb des Behälters und entfernt von dem Bauteil befindet, um die Temperatur des Materials während des Härten zu messen;
eine Infrarotkamera (1), die sich innerhalb oder außerhalb des Behälters befindet und die angeordnet ist, um die Temperatur des Verbundmaterials über zumindest einen Teil der Oberfläche des Materials zu überwachen und um ein thermisches Mapping der Temperatur des Teils bereitzustellen; und
ein Mittel zum Einstellen der Temperatur in dem Behälter in Abhängigkeit von der durch die Kamera überwachten Temperatur.

[0012] Die Messeinrichtung kann sich innerhalb oder außerhalb des Behälters befinden. Ein Anordnen der Einrichtung innerhalb des Behälters ermöglicht es, dass gegenwärtig verwendete Autoklaven und Öfen auf einfache Weise modifiziert werden, um aus den Vorzügen der Erfindung einen Nutzen zu ziehen. Neue Autoklaven und Öfen können derart gestaltet und gebaut werden, dass sich die Einrichtung außerhalb der Heizkammer befinden kann, sie aber

immer noch in der Lage ist, das Infrarot innerhalb der Kammer zu detektieren. Der Vorteil von derartigen Ausgestaltungen besteht darin, dass die Einrichtung nicht vor den Extremwerten von Hitze und Druck geschützt werden muss, die in der Kammer auftreten. Der Temperatur gesteuerte Behälter kann ein Autoklav oder ein Ofen sein.

[0013] Die Verwendung einer entfernten Temperaturmeseinrichtung ermöglicht es, dass die Temperatur des Bauteils an von den Rändern des Bauteils entfernten Punkten gemessen wird, ohne zu riskieren, dass dem Bauteil Schaden zugefügt wird. Dies ermöglicht es, dass mehr Daten der tatsächlichen Temperatur, die durch das Bauteil während der Aushärtung erfahren wird, gesammelt und analysiert werden, und ermöglicht es deshalb, dass der Härteprozess präziser gesteuert wird, was zu einer genaueren Aushärtung und somit zu einem Bauteil mit höherer Intaktheit führt.

[0014] Die überwachte Temperatur kann beurteilt werden, um die Anwesenheit von Hohlräumen in dem Verbundmaterial zu ermitteln.

[0015] Vorzugsweise ist die Kamera in dem Behälter montiert und in einer schützenden Struktur montiert, die sowohl luftgekühlt als auch wassergekühlt ist. Die Struktur ist doppelwandig, wobei Wasser zwischen den Wänden fließt und Luft im Innern der Struktur um die Kamera herum strömt. Eingangs- und Ausgangsröhren sind enthalten, von denen jede doppelwandig ist, um eine unabhängige Strömung von Luft und Wasser zu ermöglichen, und wobei Datenerfassungs- und Steuerungskabel zu der Kamera zum Kühlen der Kabel in einer der Röhren angeordnet sind.

[0016] Eine Ausführungsform der Erfindung wird nun beispielhaft unter Bezugnahme auf die folgenden Zeichnungen beschrieben, in denen:

[0017] [Fig. 1](#) eine Ansicht einer schützenden Kammer für eine Infrarotkamera ist;

[0018] [Fig. 2a](#) eine Rückansicht der Kammer von [Fig. 1](#) ist;

[0019] [Fig. 2b](#) eine Seitenansicht der Kammer von [Fig. 1](#) ist; und

[0020] [Fig. 3](#) das thermische Mapping eines Testlaminats zeigt, das unter Verwendung der Vorrichtung und des Verfahrens dieser Erfindung analysiert wurde.

[0021] Wie in [Fig. 2a](#) und [Fig. 2b](#) zu sehen ist, wurde eine Infrarotkamera 1 in einer schützenden Kammer 2 angeordnet, um die Kamera 1 von den in einem Autoklav auftretenden Extremwerten von Hitze

und Temperatur zu schützen, die typischerweise bis zu 200°C bzw. $8 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ betragen können. Die Kammer **2** ist als eine doppelwandige Struktur **3**, **4** aus rostfreiem Stahl konstruiert, die eine Zinkselenidlinse **5** aufweist. Für die Linse **5** wird Zinkselenid verwendet, weil es im Gegensatz zu normalem Glas durchlässig für Infrarot ist und es somit ermöglicht, dass das Infrarot zu dem Detektor in der Kamera **1** durchgeht. Die Linse **5** ist aus einem speziellen, 12 mm dicken Kristall gebildet, der den in dem Autoklav auftretenden Temperaturen und Drücken standhalten kann (nicht gezeigt).

[0022] Die Kammer **2** wird gleichzeitig sowohl durch Wasser als auch durch Luft gekühlt, um die durch die Kamera **1** erfahrene Umgebung bei einer akzeptablen Temperatur und einem akzeptablen Druck zu halten. Um es der Kammer **2** zu ermöglichen, das Kühlwasser, die Luft und die Daten-/Kamerasteuerungskabel aufzunehmen, führen eine Eingangsröhre **6** und eine Ausgangsröhre **7** durch die Kammer **2** hindurch zu der Kamera **1**. Beide Röhren **6**, **7** sind als flexible, doppelwandige Röhren konstruiert, die einen inneren Durchgang und einen umgebenden äußeren Durchgang schaffen. Die Eingangsröhre **6** stellt ein Kühlmittel in Form von Luft und Wasser bereit. Der innere Durchgang der Röhre **6** transportiert Luft in die Kammer **2**, um Lüftungsklappen anzutreiben und um kühle Luft in die Kammer **2** einzuführen. Der äußere Durchgang der Röhre **6** wirkt als ein Wassermantel, der Kühlwasser zu der Doppelwand der Kammer transportiert. Die Ausgangsröhre **7** ist auf die gleiche Weise ausgebildet und entfernt das Wasser (das durch den äußeren Durchgang hindurchfließt) und Luft (die durch den inneren Durchgang hindurchströmt), wenn diese die Wärme aufgenommen haben. Es führen auch Kabel durch den inneren Durchgang der Röhre **7**, die es ermöglichen, die Kamera zu steuern und Daten an ein Steuerungssystem weiterzuleiten.

[0023] Das Steuerungssystem verwendet eine Software, um die von der Kamera **1** empfangenen Daten zu verarbeiten. Dies kann in Echtzeit oder zu einem späteren Zeitpunkt bewerkstelligt werden. Ein Verarbeiten und Analysieren der Daten in Echtzeit ermöglicht es, Aushärtungstemperaturen zu steuern und die Temperatur des Autoklaven wie erforderlich einzustellen. Durch Auswählen bestimmter Punkte an dem zu härtenden Bauteil, um davon Messwerte abzulesen (gewöhnlich Punkte, von denen erwartet wird, dass es sich um heiße oder kalte Stellen handelt), und Ausrichten der Kamera **1** auf diese Punkte kann die Bauteiltemperatur mit beträchtlicher Genauigkeit gemessen werden, wodurch es ermöglicht wird, das Härten sehr präzise zu steuern.

[0024] Die Kamera **1** kann auch dazu verwendet werden, die Aufheiz- und Abkühleigenschaften des Autoklaven zu analysieren, bevor der Autoklav zum

Härten der Bauteile verwendet wird. Bestimmte Punkte in dem Autoklaven können über einen Heizzyklus (Aufheizen und Abkühlen) überwacht werden, um zu sehen, wie schnell die Temperatur in dem Autoklaven auf Änderungen der bereitgestellten Wärme anspricht. Auf diese Weise kann die Änderung von Eigenschaften aufgrund der Einführung von Werkzeugen und/oder Trägerstrukturen für einzelne Bauteile durch thermisches Untersuchen derartiger Werkzeuge und Träger unter Verwendung der Kamera analysiert werden. Die Ergebnisse der Analyse können in der Steuerungssystem-Software beim Beurteilen, wann und wie die dem Autoklaven zugeführte Wärme zu ändern ist, verwendet werden, was noch einmal die Präzision und Genauigkeit des Härstens eines Bauteils verbessert und es ermöglicht, das Heizpotenzial zu maximieren. Ein Beispiel von Umgebungseigenschaften, die geändert werden können, ist die Rate der Luftströmung durch den Autoklaven sowie die Luftströmungstemperatur.

[0025] Der Aushärtungsprozess von Verbundmaterialien kann einem Einschluss von Luft ausgesetzt sein, was Hohlräume verursacht, die für den Hersteller normalerweise bis nach der Entnahme aus der Aushärtung nicht sichtbar sind und die nur sichtbar sind, wenn sie einer zerstörungsfreien Prüfung wie einem C-Scan unterzogen werden. Die unter Verwendung des oben beschriebenen Systems in Echtzeit durchgeführte Analyse kann weitergebildet werden, um eine Inspektion von Verbundbauteilen während des Härstens zu ermöglichen, und dies kann zur Echtzeit-Inspektion von Bauteilen in den Aushärtungsprozess einbezogen werden.

[0026] Die Kamera **1** kann in einer Position fixiert sein oder beweglich angebracht sein, um es zu ermöglichen, größere Strukturen durch eine einzelne Kamera **1** zu überwachen.

[0027] [Fig. 3](#) zeigt eine Ansicht eines anfänglichen Testlaminats **10** in einem Autoklav. Die Schattierung der Ansicht gibt die Temperaturunterschiede über das Laminat **10** an. Kühlere Stellen erscheinen als hellere Töne und heißere Stellen als dunklere Töne, wie durch den Temperaturschlüssel **11** angegeben ist. Wie zu sehen ist, ist der Rand des Laminats **12** kühler als der Rest des Laminats **10**.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Härten eines Verbundmaterials, umfassend die Schritte:
Bereitstellen eines Verbundmaterials (**10**) in einem Temperatur gesteuerten Behälter;
Bereitstellen einer Infrarotkamera (**1**) innerhalb oder außerhalb des Behälters, die angeordnet ist, um die Temperatur des Verbundmaterials über zumindest einen Teil der Oberfläche des Materials zu überwachen;

Bereitstellen eines thermischen Mappings der Temperatur des Teils mittels der Infrarotkamera; und Einstellen der Temperatur in dem Behälter in Abhängigkeit von dem thermischen Mapping, um das Material zu härten.

2. Verfahren nach Anspruch 1, welches umfasst, dass die Temperatur des Verbundmaterials an einem oder mehreren ausgewählten Punkten an dem Verbundmaterial überwacht wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, welches umfasst, dass das thermische Mapping beurteilt wird, um die Anwesenheit von Hohlräumen in dem Verbundmaterial zu ermitteln.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Kamera in dem Behälter montiert ist und die Kamera in einer schützenden Struktur (2) montiert ist, um sie vor Hitze in dem Behälter zu schützen.

5. Verfahren nach Anspruch 4, wobei die schützende Struktur sowohl luftgekühlt als auch wassergekühlt wird.

6. Verfahren nach Anspruch 5, wobei die schützende Struktur doppelwandig (3, 4) ist, um zwischen den Wänden fließendes Wasser und ein Mittel zum Bereitstellen einer Luftströmung im Innern der Struktur um die Kamera herum aufzunehmen.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Ofen ein Autoklav ist.

8. Vorrichtung zum Härten eines Verbundmaterials, umfassend:
einen Temperatur gesteuerten Behälter zum Aufnehmen eines Verbundmaterials (10) zum Härten;
eine Infrarotkamera (1), die sich innerhalb oder außerhalb des Behälters befindet und die angeordnet ist, um die Temperatur des Verbundmaterials über zumindest einen Teil der Oberfläche des Materials zu überwachen und um ein thermisches Mapping der Temperatur des Teils bereitzustellen; und
ein Mittel zum Einstellen der Temperatur in dem Behälter in Abhängigkeit von dem durch die Kamera bereitgestellten thermischen Mapping.

9. Vorrichtung nach Anspruch 8, wobei die Infrarotkamera in dem Behälter montiert und in einer schützenden Struktur (2) montiert ist, um die Kamera vor Hitze in dem Behälter zu schützen, wobei die schützende Struktur eine Linse aufweist, um den Durchgang von Infrarotstrahlung zu der Kamera zu ermöglichen.

10. Vorrichtung nach Anspruch 9, wobei die schützende Anordnung doppelwandig (3, 4) ist, um zwischen den Wänden fließendes Wasser und ein

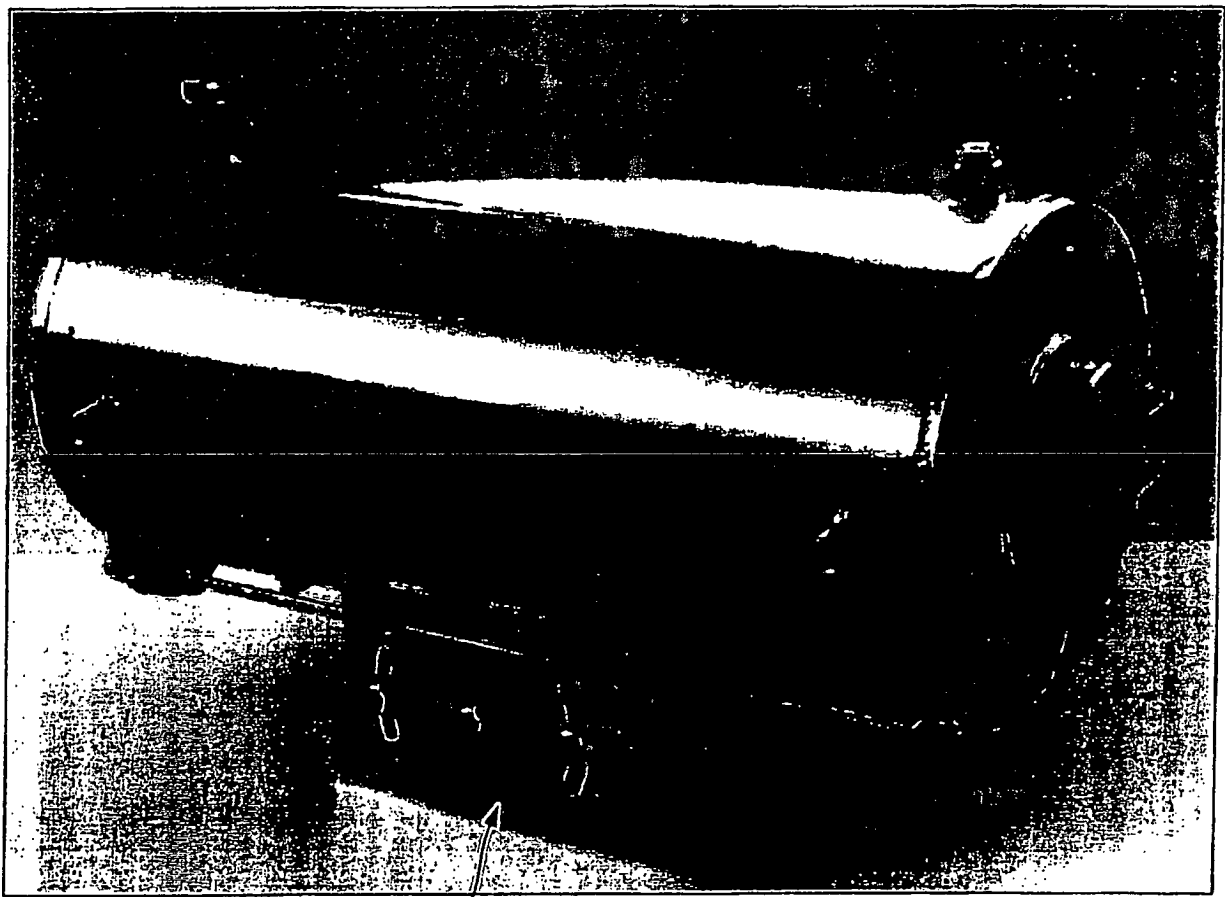
Mittel zum Bereitstellen einer Luftströmung im Innern der Struktur um die Kamera herum aufzunehmen.

11. Vorrichtung nach Anspruch 10, welche Eingangs- und Ausgangsröhren (6, 7) zu der schützenden Struktur umfasst, von denen jede doppelwandig ist, um eine unabhängige Strömung von Luft und Wasser zu der doppelwandigen Struktur zu ermöglichen, und welche elektrische Steuerungs- und Datenerfassungskabel zu der Kamera umfasst, die zum Kühlen in einer der Röhren angeordnet sind.

12. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 8 bis 11, wobei der Behälter einen Autoklav umfasst.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

Fig.1.



2

Fig.2a.

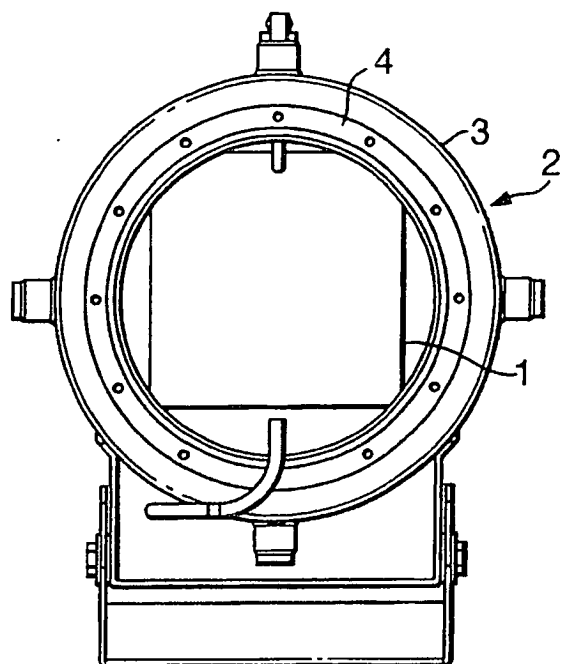


Fig.2b.

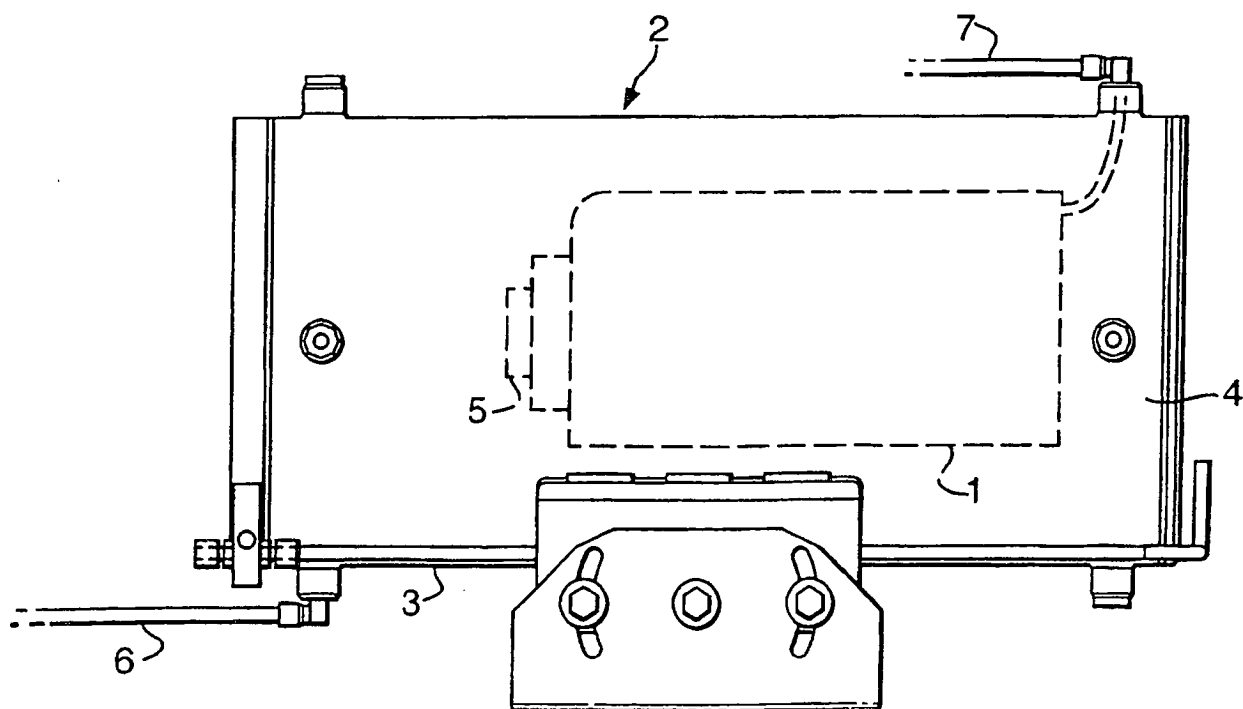


Fig.3.

