



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) DE 600 09 625 T2 2005.06.23

(12)

## Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) EP 1 092 529 B1

(51) Int Cl.<sup>7</sup>: B29C 70/44

(21) Deutsches Aktenzeichen: 600 09 625.4

(96) Europäisches Aktenzeichen: 00 304 877.4

(96) Europäischer Anmeldetag: 08.06.2000

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: 18.04.2001

(97) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung beim EPA: 07.04.2004

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: 23.06.2005

(30) Unionspriorität:  
415714 12.10.1999 US

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
DE, FR, GB

(73) Patentinhaber:  
General Electric Co., Schenectady, N.Y., US

(72) Erfinder:  
Wang, Weiping, Schenectady, US; Evans, Charles  
Richard, Cincinnati, Ohio 45241, US; Bachrach,  
William Elliot, Saratoga Springs, US; Muldoon,  
John Michael, Fairfield, Ohio 45014, US; Crogan,  
Albert Benjamen, Lewiston, US; Tyler, Robert  
Paul, Harrison, Ohio 45030, US

(74) Vertreter:  
Voigt, R., Dipl.-Ing., Pat.-Anw., 65239 Hochheim

(54) Bezeichnung: Selektiv elastisches Druckstück

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 eingelebt, 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 Erfindung bezieht sich auf Verbundfertigung und insbesondere auf die Konsolidierung von dreidimensionalen, viellagigen Vorformen zu einer Nettomasse und Fertigform mit verminderter Verformung.

**[0002]** Kompressionsformen mit übereinanderliegenden Gesenken wird üblicherweise bei der Fertigung von fortgeschrittenen Verbundkörpern verwendet, wenn hohe Anforderungen an Abmessungspräzision und Oberflächenfestigkeit erfüllt werden müssen. Es kann jedoch viel mehr Mühen machen, einen Kompressionsformprozess zu entwickeln als einen Autoklavprozess. Beim Kompressionsformen sind Optimierung der Vorformgeometrie, thermische Zyklen und Formverschluss kritisch für die Qualität von dem Endprodukt, und die Steuerung dieser Prozessparameter muss sehr präzise sein.

**[0003]** Geometrische Merkmale, wie beispielsweise dicke Schnitte, große Änderung in der Querschnittsdicke oder starker Lagenabfall und hohe Krümmungen in den Verbundteilen sind bekanntlich schwierig zu bearbeiten. Im Allgemeinen sind das Innere und Äußere des Materials aufgrund von kleiner thermischer Leitfähigkeit durch die Dicke des Verbundkörpers unterschiedlich in den Aushärtungs- und Visko- sitäts-Zuständen an einem bestimmten Zeitpunkt. Für Teile mit variabler Dicke im Schnitt berührt ein dickerer Schnitt die Form früher als ein dünner aufgrund des Unterschiedes in der Masse, was den unterschiedlichen Druck während der Formgebungsphase weiter verschlimmert.

**[0004]** Faserverziehen oder -knittern, die aus dem Kriechen des Materials resultieren, wenn es unter Druck ist, ist ein wichtiges Problem bei der Fertigung faserverstärkter Verbundkörper, weil derartige Defekte zu einer Verschlechterung des mechanischen Leistungsvermögens führen können. Diese Verschlechterung ist besonders wichtig in Teilen, wie beispielsweise Fan-Verbundschaufeln in Gasturbinen- triebwerken, die rotieren und wesentliche Zentrifugal- lasten entwickeln, die durch die strukturellen Verbundlagen abgeführt werden müssen.

**[0005]** Eine typische Fanschaufel enthält einen stromlinienförmigen Abschnitt, der sich radial vom Fuß bis zur Spitze und axial von der Vorderkante bis zur Hinterkante erstreckt. Der Fuß des stromlinienförmigen Abschnittes ist integral mit einem geeigneten Schwalbenschwanz ausgeformt, der zum Befestigen der einzelnen Fanschaufeln an dem Umfang von einer Rotorscheibe verwendet wird. Der stromlinienförmige Abschnitt verdreht sich üblicherweise entlang seiner Stapelachse vom Fuß bis zur Spitze und hat eine variierende Krümmung oder Wölbung an dieser entlang. Die Dicke des stromlinienförmigen Abschnitts

nimmt von der Vorder- und Hinterkante zu seinen Mittelsehnenbereichen zu und es nimmt auch die Dicke von der Spitze zum Fuß zu. Am Fuß geht der stromlinienförmige Abschnitt in den Schwalbenschwanz über, der wesentlich dicker ist, um während des Betriebs die signifikanten Zentrifugallasten in die Rotorscheibe hinein zu führen.

**[0006]** Ein Beispiel von einer Verbund-Fanschaufel kann mehrere hundert Verbundlagen haben, die den Fuß bilden, und sie verjüngt sich auf wenige hundert Verbundlagen an der inneren Spanne des stromlinienförmigen Abschnitts. Die Anzahl von Lagen nimmt weiterhin ab vom Fuß bis zur Spitze des stromlinienförmigen Abschnitts auf etwa 100 Lagen an der Spitze.

**[0007]** Jede Verbundlage enthält üblicherweise ein Gewebe aus geeigneten strukturellen Fasern, wie beispielsweise Glas- oder Graphitfasern, in einer geeigneten Kunstharzmatrix. Die mehreren Lagen sind individuell konfiguriert, so dass sie, wenn sie zusammen gestapelt sind, gemeinsam eine Vorform bilden, die im Allgemeinen die Form von der entstehenden Fanschaufel hat. Die Vorform muss in geeigneter Weise zu der Endform geformt und ausgehärtet werden, um die entstehende Fanschaufel zu formen.

**[0008]** Wie oben angegeben ist, können zwei zusammenpassende Gesenke verwendet werden, um der Vorform durch Kompressionsformen die endgültige Form zu geben. Oder es kann ein Autoklav-Prozess verwendet werden, wobei die Vorform auf einem einzelnen Gesenk bzw. einer Gießform angeordnet und eine gleichförmig flexible Haube auf der Vorform angeordnet wird, um eine Fläche gegen das unter Druck gesetzte Gas zu bilden, das verwendet wird, um die Vorform an die Gießform unter Wärme anzupassen und die Fanschaufel zu formen.

**[0009]** In beiden Verfahren ist eine Konsolidierung bzw. Verdichtung der Vorform erforderlich, während der die Dicke der Vorform unter Druck und Temperatur verringert wird mit einer entsprechenden Kreuzvernetzung und Aushärtung der Matrix, um die endgültige Konfiguration von dem Teil oder der Schaufel zu formen.

**[0010]** Während des Formgebungsprozesses durchläuft die Vorform von Natur aus eine plastische Deformation, wenn sie in ihre Form gebracht wird. In Anbetracht der variierenden Dicke der als Beispiel betrachteten Fanschaufel und ihrer komplexen dreidimensionalen Konfiguration ändert sich die Größe der Dickenkompression und plastischen Verformung der Vorform entsprechend. Beispielsweise ist der Schwalbenschwanz relativ dick und gleichförmig und geht scharf in einen schmalen Halsbereich am Fuß des stromlinienförmigen Abschnittes über. In diesem Bereich nimmt die Anzahl der Lagen in der Vorform

wesentlich ab, eine Abnahme in der Größenordnung von mehreren hundert Lagen. Die Größe der Lagenänderung entlang dem Rest des stromlinienförmigen Abschnittes bis zu seiner Spitze ist im Vergleich relativ klein, auch mit einem relativ kleinen Übergang in der Dicke über dem relativ dünnen stromlinienförmigen Abschnitt.

[0011] Dementsprechend ändert sich unter Druck und Temperatur die Konsolidierung der Vorform mit üblicherweise mehr Konsolidierung an dem dickeren Schwanzabschnitt und weniger Konsolidierung an der Spitze des stromlinienförmigen Abschnittes. In dem oben beschriebenen Kompressionsformprozess mit angepasster Gießform ist die Gesenkbahn notwendigerweise gleichförmig über der gesamten Oberfläche der Vorform, wobei der dicke Schwanzabschnitt die Form früher berührt als der dünne Spitzenabschnitt. Dies ist notwendig, um eine effektive Konsolidierung am Fuß ohne eine unerwünschte Überkompression an der Spitze sicherzustellen, die der fertigen Schaufel eine falsche Form geben würde. Als eine Folge dieses Prozesses ist die Vorform empfindlich gegenüber unerwünschtem Verziehen oder Knittern, insbesondere in Bereichen der Schaufeln mit einer großen Dickenänderung, wie beispielsweise am Fuß. Porösität, Abblättern und andere Defekte sind ebenfalls während des Prozesses möglich.

[0012] In dem oben beschriebenen Autoklav-Prozess wird ein gleichförmiger Druck auf die Form ausgeübt ohne Verwendung einer festen oberen Form, und somit ist es schwierig gemacht, eine gute Steuerung der Abmessungen zu erzielen.

[0013] In beiden Verfahren sind deshalb kritische Abmessungs- und Prozesssteuerungen erforderlich, um unerwünschte Defekte in dem Konsolidierungsprozess zu minimieren, um genau dimensionierte Fanschaufeln zu erzeugen. Nichtsdestoweniger werden immer noch defekte Fanschaufeln erzeugt und müssen zurückgewiesen werden, wodurch die Gesamtkosten beim Produzieren akzeptabler Fanschaufeln erhöht werden.

[0014] Bekannte Einrichtungen zum Formen von Verbundgegenständen sind in US-A-5,520,532 und US-A-5,382,150 beschrieben, wobei die erste dieser Patentschriften eine formende Haubenplatte und eine Formeinrichtung gemäß dem Oberbegriff der vorliegenden Ansprüche 1 und 9 beschreibt.

[0015] Dementsprechend ist es wünschenswert, die Konsolidierung von Vorformen mit variierender Dicke zu verbessern, um unerwünschte Defekte, wie beispielsweise Verziehen, Porösität und Abblättern, zu verringern.

[0016] Gemäß der Erfindung wird eine Haube ge-

mäß Anspruch 1 und eine Einrichtung gemäß Anspruch 9 bereitgestellt.

[0017] Es werden nun Ausführungsbeispiel der Erfindung unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen beschrieben, in denen:

[0018] [Fig. 1](#) eine teilweise geschnittene Seitenansicht von einem Beispiel einer Verbund-Fanschaufel für ein Gasturbinentriebwerk ist, die gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung gefertigt ist;

[0019] [Fig. 2](#) eine radiale Schnittansicht entlang der Stapelachse der in [Fig. 1](#) dargestellten Fanschaufel und entlang der Linie 2-2 ist und (in ausgezogener Linie) ein Beispiel einer Verbund-Vorform zeigt, die zum Formen der Fanschaufel (gestrichelt gezeigt) verwendet wird;

[0020] [Fig. 3](#) eine vergrößerte Schnittansicht von einem Abschnitt der Vorform ist, der in [Fig. 2](#) in dem mit 3 bezeichneten Kreis dargestellt ist;

[0021] [Fig. 4](#) eine schematische Darstellung von einem Autoklav gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung ist und auch eine Haube auf der Vorform in [Fig. 2](#) zeigt;

[0022] [Fig. 5](#) eine Seitenansicht von der in [Fig. 4](#) dargestellten Haube ist für eine Verwendung beim Formen der Fanschaufel gemäß [Fig. 1](#) aus der Vorform gemäß [Fig. 2](#);

[0023] [Fig. 6](#) eine Draufsicht auf die Haube ist, die in [Fig. 4](#) dargestellt und im Allgemeinen entlang der Linie 6-6 in [Fig. 4](#) gemacht ist, und ein erstes Ausführungsbeispiel der Haube zeigt;

[0024] [Fig. 7](#) eine vergrößerte Schnittansicht von einem Teil der Haube ist, die in [Fig. 4](#) dargestellt und entlang der Linie 7-7 in [Fig. 6](#) gemacht ist;

[0025] [Fig. 8](#) eine Draufsicht auf die in [Fig. 4](#) dargestellte Haube gemäß einem zweiten Ausführungsbeispiel der Erfindung ist;

[0026] [Fig. 9](#) eine schematische Darstellung von Isoklinalen von einem Beispiel einer Konsolidierung für den Fuß und Schwanzabschnitt von der in [Fig. 1](#) dargestellten Fanschaufel unter Verwendung der in [Fig. 8](#) dargestellten Vorform ist.

[0027] [Fig. 1](#) stellt ein Ausführungsbeispiel von einer Verbund-Fanschaufel 10 für ein Gasturbinentriebwerk dar. Die Schaufel 10 enthält einen stromlinienförmigen Abschnitt 10a und einen integralen Schwanzabschnitt 10b, wobei sich zwischen dem stromlinienförmigen Abschnitt und dem Schwanzabschnitt eine gemeinsame Stapelachse 10c erstreckt. Der stromlinienförmige Abschnitt weist einen

radial inneren Fuß **10d**, eine radial äußere Spitze **10e** und eine axial im Abstand angeordnete Vorderkante **10f** und Hinterkante **10g** auf. Die Schaufel **10** enthält auch eine erste oder Saugseite **10h** und eine gegenüberliegende, zweite oder Druckseite **10j**.

**[0028]** Die Schaufel **10** kann jede geeignete Form haben, einschließlich eines Musters, das sich dreidimensional über der gesamten Länge ihrer Stapelachse verändert. Somit ist die Schaufel **10** mit einer Dicke A gezeigt, die sich von dem Schwalbenschwanz bis zur Spitze und zwischen ihren Vorder- und Hinterkanten ändert. Der stromlinienförmige Abschnitt **10a** ist üblicherweise entlang der Stapelachse **10c** vom Fuß bis zur Spitze stark verdreht, wie es aus aerodynamischen Gründen üblicherweise erforderlich ist, und die Krümmung des stromlinienförmigen Abschnittes an jedem radialen Schnitt zwischen den Vorder- und Hinterkanten ändert sich ebenfalls, wie es für die aerodynamische Leistungsfähigkeit erforderlich ist, wobei die Mittelsehnenschnitte nahe der Stapelachse dicker sind als die Vorder- und Hinterkanten.

**[0029]** Die Fanschaufel **10** ist üblicherweise konfiguriert als eine Aufschichtung von mehreren Verbundlagen **10k**, die zwischen den Seiten der Schaufel seitlich gestapelt sind. Jede der Lagen **10k** ist in der Form speziell konfiguriert, so dass die Lagen **10k** gemeinsam das gewünschte dreidimensionale Profil der Schaufel **10** formen.

**[0030]** Die in [Fig. 1](#) dargestellte Fanschaufel **10** ist aus einer im wesentlichen identischen Vorform **12** geformt, die in [Fig. 2](#) dargestellt ist. Die Vorform **12** ist der anfängliche, ungehärtete Zustand der Fanschaufel **10**, die zunächst dicker ist, wie es durch ihre veränderliche Dicke B dargestellt ist, als die Schaufeldicke A an entsprechenden Abschnitten. Somit ist die Vorform **12** dicker als die Schaufel **10**, aber ansonsten ist sie gleich geformt wie die Schaufel **10**. Da die Vorform **12** lediglich die Anfangsform von der endgültigen Fanschaufel **10** ist, enthält sie entsprechende Teile, wie beispielsweise einen stromlinienförmigen Abschnitt **12a** bis Verbundlagen **12k**, die auf entsprechende Weise den gleichen Komponenten **10a-k** für die endgültige Fanschaufel direkt entsprechen.

**[0031]** Die Vorform **12** kann jede übliche Form annehmen, und [Fig. 3](#) stellt als Beispiel einen Schnitt von ihr dar. Jede einzelne Verbundlage **12k** enthält eine übliche Strukturfaser **14**, wie beispielsweise Glas oder Graphit, in einer geeigneten Kunstharmatrix **16**. Die Fasern **14** können jede Konfiguration haben, wie beispielsweise Band oder gewebter Stoff mit einer geeigneten Richtungsorientierung. Das Band oder Gewebe kann in üblicher Weise mit der Harzmatrix **16** im Voraus getränkt sein. Beispiele der Zusammensetzungen der Verbundlagen **12k** umfassen Faser-wärmegehärtetes Epoxid, Faser-Thermoplastik,

Faser-Bismaleimid und zerhacktes Faser-Epoxyd/Bismaleimid oder ein sauberes Kunstharm, wie beispielsweise thermoplastisch oder wärmehärtend oder ein Elastomer. In einer beispielhaften Konfiguration hat der Schwalbenschwanz **12b** etwa mehrere Hundert Verbundlagen, die sich auf wenige Hundert Verbundlagen am Fuß **12d** verjüngen. Die Anzahl der Lagen nimmt ab auf etwa ein Hundert an der Spitze **12e**.

**[0032]** Wie in [Fig. 4](#) dargestellt ist, ist die Vorform **12** in einem üblichen Autoklav **18** angeordnet, um eine Konsolidierung und Aushärtung zu durchlaufen, um eine endgültige, ausgehärtete Fanschaufel **10** zu bilden. Der Autoklav **18** enthält eine Druckkammer **20** und eine untere Form **22**, die in der Kammer **20** angeordnet und geformt ist, um die zweite Seite **12j** der Vorform **12** zu bilden. Die Vorform **12** ist auf der unteren Form **22** angeordnet, wobei ihre zweite Seite **12j** mit der Form **22** in Kontakt ist.

**[0033]** Eine speziell geformte Haube **24** ist auf der Vorform **12** angeordnet. Ein übliches flexibles Vakuumblech **24** ist auf der Haube **24** angeordnet, um eine wirksame Vakuumdichtung darüber zu bilden. Eine übliche Vakuumpumpe **28** ist mit der Kammer **20** operativ verbunden, um zunächst Luft aus der Vorform **12** zu ziehen. Eine übliche Vorrichtung **30** ist operativ mit der Kammer **20** verbunden, um die Kammer zu erwärmen und die Kammer auf einen geeigneten Druck P zu bringen, um auf die Haube **24** zu pressen und die Vorformlagen **12k** auf die Endform zu verdichten, wenn die Vorform eine Aushärtung durchläuft.

**[0034]** Die Haube **24** bildet ein effektives Formwerkzeug, das sich an die Form der Vorform **12** während der Verdichtung oder des Vorhärtungszyklus anpasst, was weniger Wärme erfordert als der Härtungszyklus und somit bei einer niedrigeren Temperatur und einer kürzeren Zeit abläuft als während des Härtungszyklus, so dass das Vorformharz zu dieser Zeit gehärtet bleibt. Die Haube passt sich auch an die Form der Vorform an während des Autoklav-Fertigungsprozesses oder des Härtungszyklus. Während also die Dicke der Vorform **12** während dieser Zyklen verkleinert wird, bleibt die Form der Vorform **12** unverändert. Die Haube gibt den Verbundlagen Stabilität, indem sie die Druckbelastung während der Konsolidierung über die Vorform verteilt, ohne irgendeine Verschiebung oder relative Bewegung zwischen benachbarten Lagen zu bewirken. Dies führt zu einer Verringerung in Fertigungsdefekten, wie beispielsweise Verziehen und Abblättern zwischen den Lagenschichten.

**[0035]** Wie in [Fig. 4](#) gezeigt ist, formt die Form **22** die zweite Seite **12j** von der Vorform, wobei die Haube **24** konfiguriert ist, um die erste Seite **12h** von der Vorform zu formen. Die Haube wird deshalb geformt,

um mit der allgemeinen Form von sowohl der Fanschaufel als auch der Vorform **12** übereinzustimmen oder dieser zu entsprechen.

**[0036]** [Fig. 5](#) enthält ein Ausführungsbeispiel der Haube **24**, die einen Bereich **24a** des stromlinienförmigen Abschnittes, einen Schwalbenschwanzabschnitt **24b**, eine Längsachse **24c**, einen Fuß **24d**, eine Spitze **24e**, eine Vorderkante **24i**, eine Hinterkante **24g**, eine obere oder äußere Seite **24h** und eine untere oder innere Seite **24j** aufweist.

**[0037]** Die Haube **24** hat einen tragenden Körper **24k**, der vorzugsweise ein Verbundkörper ist und mehrere Lagen aufweist. Die Haube ist so konfiguriert, dass sie mit der ersten Seite **12h** der Vorform übereinstimmt, und ihre untere Seite **24j** ist deshalb komplementär dazu, und sie hat eine Biegefflexibilität, die sich über ihrem Körper ändert, um vorzugsweise oder selektiv die Konsolidierung der Vorform in einer geeigneten entsprechenden Art und Weise zu verändern, um Defekte, wie beispielsweise Verziehen, Porenosität und Abblättern der Lagen, zu reduzieren oder zu eliminieren. Wie in [Fig. 5](#) gezeigt ist, hat der Haubenkörper **24k** eine Dicke C, die sich in vorbestimmter Weise über der Haube **24** ändert, um wünschenswerte Änderungen in der Biegefflexibilität zwischen ihren relativ steifen und biegsamen Abschnitten zu bewirken. Indem die Biegefflexibilität der Haube **24** über einem Bereich von minimaler oder relativ steifer bis zu maximaler oder relativ biegsamer Flexibilität verändert wird, damit die Flexibilität in der Vorform **12** einer maximalen bzw. minimalen Konsolidierung entspricht, können Defekte reduziert oder eliminiert werden.

**[0038]** Wie oben in Bezug auf [Fig. 2](#) ausgeführt wurde, durchläuft die langgestreckte Vorform **12** eine Verminderung in der Dicke B vom Schwalbenschwanz **12b** zum Fuß **12d** des stromlinienförmigen Abschnittes und von dort zur Spitze **12e**. Während des ersten Stapelns der Vorformlagen **12k** wird Luft in der Form von Leerstellen in der Anordnung eingeschlossen. Dementsprechend quetscht während der Konsolidierung die Druckbelastung die mehreren Vorformlagen **12k** zusammen, um die Fehlstellen herauszudrücken, wobei der Aushärtprozess auch den Umfang der erzielten Konsolidierung beeinflusst.

**[0039]** Als eine allgemeine Regel ist mehr Konsolidierung und Kontraktion der Vorformlagen **12k** an den zunächst größeren Dickenbereichen erforderlich, wie beispielsweise am Schwalbenschwanz **12b** und am Fuß **12d**, im Vergleich zu der relativ dünnen Spitze **12e**, die entsprechend weniger Konsolidierung oder Kontraktion benötigt. Wenn die Haube **24** in dem Autoklav angeordnet wird, wird der Haubenfuß **24d** auf dem Vorformfuß **12d** angeordnet und die Haubenspitze **24e** wird auf der Vorformspitze **12e** angeordnet. Die Haube **24** hat vorzugsweise eine grö-

ßere werdende Biegefflexibilität von ihrem Fuß **24d** bis zu ihrer Spitze **24e**, um der abnehmenden Dicke von dem Vorformfuß **12d** zur Vorformspitze **12e** zu entsprechen.

**[0040]** In dem Bereich des Schwalbenschwanz **12b** und des Fußes **12d** der Vorform ist mehr Zwang erforderlich, um eine plastische Verformung zu verhindern, die zu einem unerwünschten Verziehen führt. Indem für eine entsprechende Größe von Steifigkeit oder Festigkeit in dem Schwalbenschwanz **24b** und dem Fuß **24d** der Haube gesorgt wird, wird in diesem Bereich für einen geeigneten Zwang der Vorform **12** gesorgt. Jedoch ändert oder verjüngt sich radial außen über dem Vorformfuß **12d** die Dicke leicht, und die Größe der erforderlichen Konsolidierung ist auch gleichförmiger und kleiner als diejenige, die an dem Schwalbenschwanz **12b** der Vorform erforderlich ist. Die Haube **24** ist deshalb flexibler und passt sich deshalb einfacher unter dem ausgeübten Druck P an die Vorform **12** an.

**[0041]** Ein erstes Ausführungsbeispiel der Haube **24** ist in den [Fig. 6](#) und [Fig. 7](#) dargestellt. Wie oben ausgeführt wurde, hat der Körper **24k** der Haube **24** vorzugsweise die Form von mehreren sich überlappenden Verbundlagen, die einzeln nummeriert mit **1–8** gezeigt sind. [Fig. 7](#) stellt einen vergrößerten Querschnitt der Haube **24** mit den sich überlappenden Verbundlagen **1–8** dar. Wie die Vorform **12** selbst enthält jede der Haubenlagen **1–8** eine geeignete Strukturfaser **14** in einer geeigneten Kunstharzmatrix **16**. Die Faser **14** kann jede geeignete Form haben, wie beispielsweise ein Band oder eine gewebte Schicht von Fasern, die vorzugsweise mit der Kunstharzmatrix **16** im voraus getränkt sind. Die Faser **14** kann irgendeine geeignete Zusammensetzung haben, wie beispielsweise Glas oder Graphit, und die Kunstharzmatrix kann jede übliche Zusammensetzung haben, wie beispielsweise diejenigen, die oben für die Vorform **12** selbst aufgelistet sind. Die Faser **14** und die Matrix **16** sind in [Fig. 6](#) durch einen ausgeschnittenen Abschnitt von der oberen oder äußeren Seite **24h** sichtbar.

**[0042]** Wie in [Fig. 6](#) gezeigt ist, sind die einzelnen Lagen **1–8**, die die Haube **24** formen, individuell konfiguriert, so dass sie nach dem Stapeln und Härteten die gewünschte Änderung in der Biegefflexibilität entlang der radialen und axialen Ausdehnung der Haube **24** bilden. Die untere Haubenseite **24j** ist über einer geeigneten Form (nicht gezeigt) angeordnet, die dem gewünschten Profil von der oberen oder ersten Seite **10h** ([Fig. 1](#)) des stromlinienförmigen Abschnittes zur Verwendung beim Definieren dieser Seite in der Vorform entspricht. Wie in [Fig. 7](#) dargestellt ist, verwendet die Haube **24** die acht Lagen **1–8**, die übereinander gestapelt sind, was einer Gesamtdicke von etwa 0,1–0,125mm (40–50 Mils) entspricht. Wie in [Fig. 6](#) gezeigt ist, sind die Haubenlagen **1–8** im Allgemeinen

symmetrisch um die longitudinale oder radiale Stape-lachse **24c** angeordnet, um der Symmetrie von der Fanschaufel selbst zu entsprechen. Als eine Folge dieser Symmetrie, wie sie in [Fig. 6](#) dargestellt ist, ent-hält der Hauptteil von dem stromlinienförmigen Ab-schnitt **24a** der Haube nur zwei Strukturlagen **1** und **2** mit einer Gesamtdicke von etwa 0,025–0,038 mm (10–15 Mils), die sich von der Haubenspitze **24e** nach unten entlang beiden Seiten und den Vorder- und Hinterkanten **24f**, **24g** nach unten bis zum Hauben-fuß **24d** erstrecken. Die Anzahl oder Quantität der Lagen nimmt vorzugsweise von der Spitze **24e** bis zum Fuß **24d** zu, der, in dem Ausführungsbeispiel ge-mäß [Fig. 6](#), nahe dem Fuß **24d** lokalisiert ist. Vom Haubenfuß **24d** bis zum Boden des Schwalben-schwanzes **24b** nimmt die Anzahl der Lagen sequen-tiell von **2**, **3**, **4**, **5**, **6**, **7** bis **8** zu. Nach dem Aufstapeln der Anfangslagen **1–8** wird die Haube **24**, üblicher-weise, selbst konsolidiert und ausgehärtet, um ihre Fertigung abzuschließen. Das Ergebnis ist ein ein-stöckiges, einheitliches massives Teil mit einer vor-be-stimmten Biegeflextibilität entlang seiner radialen und axialen Ausdehnung, gesteuert zum größten Teil durch die Anzahl der Lagen, Orientierung und Konfi-geuration in der gleichen Art und Weise, wie bei jeder technischen Verbundstruktur.

**[0043]** Wie in [Fig. 7](#) gezeigt ist, enthält die Haube **24** vorzugsweise eine flexible Auskleidung **24m**, die integral mit der unteren Seite **24j** des Haubenköpers verbunden ist für einen Eingriff in Stoßkontakt mit der oberen Seite **12h** der Vorform ([Fig. 4](#)) um ihre Ober-flächengüte (Finish) zu steuern. Die Auskleidung **24m** kann aus einem geeigneten Elastomer gebildet sein, das eine glatte Oberflächengüte hat, so dass die Oberflächengüte von der Vorform entsprechend glatt ist.

**[0044]** Die Haube **24** enthält vorzugsweise auch eine flexible Abdeckung **24n**, die mit der oberen Seite **24h** des Haubenköpers integral verbunden ist, um den Haubenkörper zu schützen. Die Abdeckung **24n** kann beispielsweise aus Gummi gebildet sein und hat eine geeignete Dicke, um die Einfachheit der Handhabung der Haube selbst zu verbessern, wäh-rend sie genügend flexibel ist, um eine unerwünschte Behinderung der Strukturlagen **1–8** zu verhindern. Die optionale Auskleidung und Abdeckung **24m** und **24n** verbessern den Gebrauch der Haube **24**, wobei die Auskleidung **24** in direktem Kontakt mit der ersten Seite **12h** der Vorform ([Fig. 4](#)) in dem Autoklav ange-ordnet und ihr Vakuumblech **26** auf der Abdeckung **24n** angeordnet ist.

**[0045]** Wie in [Fig. 6](#) gezeigt ist, sind die Haubenlagen **1–8** in vorbestimmter Weise in dem Körper **24k** orientiert, um die Fasern **14** so darin anzuordnen, dass die Biegeflextibilität verkleinert, oder die Festig-keit dementsprechend vergrößert wird, nahe dem Haubenfuß **24d** und dem Schwalbenschwanz **24b**

zum Fördern der gerichteten Konsolidierung. In [Fig. 6](#) sind die Fasern senkrecht zueinander in jeder Schicht oder Lage bei  $0^\circ$  und  $90^\circ$  relativ zur Längs-achse **24c** orientiert. Zusätzlich enthält die in [Fig. 6](#) dargestellte Haube **24** zwei im Allgemeinen mondför-mige Ausschnitte, um nur eine Lage über dem Fuß **24d** und entlang den entsprechenden Vorder- und Hinterkanten **24f** und **24g** für eine geeignete Teil-spannenausdehnung zu bewirken. Dies beeinflusst die gewünschte Konsolidierung in den entsprechen-den Bereichen der Vorform.

**[0046]** In [Fig. 8](#) ist ein zweites Ausführungsbeispiel von einer Haube **24b** dargestellt, die ebenfalls acht Lagen **1–8** in einer modifizierten Form der in [Fig. 6](#) dargestellten Konfiguration aufweist. In dem zweiten Ausführungsbeispiel haben die Haubenlagen **1–8** die gewebten Fasern **14** in jeder Schicht, die senkrecht zueinander angeordnet sind, aber bei  $\pm 45^\circ$  relativ zur Längsachse **24c**. Die symmetrische Orientierung der sich überlappenden Lagen **1–8** sorgt für zusätzliche Lagen entlang der Achse **24c** in einer zentrierten Spitze, die sich etwa zur Mittelspanne des stromlinienförmigen Abschnittes **24a** erstreckt. Dieses Aus-führungsbeispiel sorgt für eine gleichförmigere Kon-solidierung in der Vorform nahe ihrem Fuß und Schwalbenschwanz. Wie in dem in [Fig. 6](#) dargestellten Ausführungsbeispiel ist die Dicke (und folglich die Biegeflextibilität) entlang der Vorderkante **24f** iden-tisch zu derjenigen entlang der Hinterkante **24g**.

**[0047]** [Fig. 9](#) ist eine graphische Darstellung von Isoklinaten der Konsolidierung für das Ausführungs-beispiel gemäß [Fig. 8](#), ausgedrückt in relativen nu-merischen Einheiten für die Vorform **12**. Die zwei Pfeile zeigen die Richtungen von minimaler zu maxi-maler Konsolidierung in dem Vorformfuß **12d** und dem Schwalbenschwanz **12b** an. Die analytische Darstellung von dieser Konsolidierung gemäß [Fig. 9](#) korreliert mit Testergebnissen. Die Isoklinaten zeigen eine gleichförmigere Konsolidierung entlang dem Schwalbenschwanz **12b** der Vorform an, was der er-forderlichen endgültigen Konfiguration der entste-henden Fanschaufel mit minimierter Konsolidie-ungsverformung besser entspricht. [Fig. 9](#) stellt dar, dass weniger Konsolidierung, z.B. minus zehn Ein-heiten, in dem stromlinienförmigen Abschnitt auftritt und sie radial nach unten zum Boden des Schwalben-schwanzes **12b** mit einer Größe von beispiels-weise minus 50 Einheiten zunimmt. Die Haube **24** ist deswegen wirksam, nicht nur für eine vergrößerte Konsolidierung und Kontraktion an dem relativ dicke-rem Schwalbenschwanz **12b** zu sorgen, sondern auch für einen geeigneten Übergang in der Konsoli-dierung zu der verringerten Größe zu sorgen, die in dem stromlinienförmigen Abschnitt **12a** erforderlich ist, und zwar ohne unerwünschte Verformung der Konsolidierung.

**[0048]** Die zwei Ausführungsbeispiele, die in den

**Fig. 6** und **Fig. 8** dargestellt sind, haben Ähnlichkeit in der erforderlichen Anzahl und Konfiguration der sich überlappenden Lagen **1–8** zum Bewirken der erwünschten Änderung in der Biegeflextibilität der Huben **24** und **24b**, aber sie weisen auch kleine Unterschiede auf. Beispielsweise sind die Designs im Allgemeinen achssymmetrisch entlang der Längsachse **24c** auf der oberen Seite **24h**. Die untere Seite **24j** ist üblicherweise eine einzelne strukturelle Lage **1**, die sich über ihre gesamte Oberfläche von der Vorderkante zur Hinterkante und vom Schwalbenschwanz bis zur Spitze erstreckt, auf der die zusätzlichen Lagen **2–8** an gewünschten Stellen in geeigneter Weise gestapelt sind. Die maximale Anzahl an Lagen befindet sich am Schwalbenschwanz **24b** und nimmt zahlenmäßig zum Fuß **24d** ab und nimmt zahlenmäßig weiter ab an der Teilespanne, bevor sie bei beispielsweise zwei Lagen an der Spitze konstant bleibt. Beide Designs enthalten lokale Ausschnitte in der zweiten Lage **2**, um eine einzelne strukturelle Lage **1** für eine geeignete Mittelspannenausdehnung an den Vorder- und Hinterkanten zu bewirken.

**[0049]** Selbstverständlich hängt das Design der einzelnen Haube von der gewünschten endgültigen Konfiguration der Fanschaufel selbst ab. Ein individuelles Haubendesign kann deshalb mit einer spezifischen Konfiguration der Fanschaufel hergestellt werden. Dies kann erreicht werden, indem konventionelle analytische Werkzeuge benutzt werden, um die komplexen dreidimensionalen Anforderungen der Konsolidierung in der viellagigen Vorform vorherzusagen und deshalb eine geeignete Konfiguration für die erforderliche Haube vorherzusagen.

**[0050]** Die variable Flextibilität der Haube kann in irgendeiner geeigneten Art und Weise implementiert werden, beispielsweise indem die Änderung in den vielen Lagen **1–8**, die in den **Fig. 6** und **Fig. 8** dargestellt sind, mit geeigneten Konfigurationen dafür verwendet wird. Die Anzahl der Lagen kann geändert werden, die Orientierung der Lagenfasern kann verändert werden und der Ort der sich überlappenden Übergangsbereiche kann ebenfalls geändert werden, um die resultierende Flextibilität der Haube herbeizuführen. Die Haube kann deshalb maßgeschneidert werden, entweder analytisch oder durch systematische Änderungen in den operativen Parametern, um eine optimale Haubenkonfiguration für ein spezielles Teiledesign zu erzeugen. Auf diese Weise kann eine Änderung in der Vorform-Konsolidierung optimiert werden, um Defekte, wie beispielsweise Verziehen, Porosität und Abblättern, signifikant zu verringern, die anderenfalls ohne eine derartige kontrollierte Konsolidierung auftreten würden.

### Patentansprüche

1. Haube (**24**) zum Konsolidieren einer Verbund-Vorform (**12**) zu einer Schaufel,

wobei die Verbund-Vorform erste und zweite gegenüberliegende Seiten (**12h,j**) und eine variierende Dicke (B) dazwischen aufweist, wobei die Vorform eine grössere Dicke hat als zu erzeugende Schaufel, aber eine identische Form wie die zu erzeugende Schaufel hat, wobei die Haube einen Körper (**24k**) komplementär zu der ersten Vorformseite (**12h**) aufweist und der Haubenkörper (**24k**) eine variierende Dicke (C) hat, um eine variierende Biegeflextibilität von einer minimalen zu einer maximalen Flextibilität herbeizuführen, um der maximalen bzw. minimalen Konsolidation der Vorform (**12**) zu entsprechen, wobei die Vorform (**12**) einen Fuß (**12d**) und eine Spitze (**12e**) aufweist, dadurch gekennzeichnet, daß die Vorform in der Dicke von dem Fuß bis zur Spitze abnimmt und wobei der Haubenkörper (**24k**) einen entsprechenden Fuß (**24d**) und Spitze (**24e**) hat und in der Flextibilität von dem entsprechenden Fuß zur entsprechenden Spitze zunimmt.

2. Haube nach Anspruch 1, wobei der Körper (**24k**) einen Verbund von Fasern (**14**) in einer Matrix (**16**) aufweist.

3. Haube nach Anspruch 2, wobei der Körper (**24k**) ferner mehrere Lagen (**1–8**) von Fasern in der Matrix aufweist, wobei die Lagen in der Menge von der Spitze (**24e**) des Haubenkörpers zum Fuß (**24d**) des Haubenkörpers zunehmen.

4. Haube nach Anspruch 3, wobei: die Vorform (**12**) in einer Gasturbinen-Fanschaufelkonfiguration mit einem stromlinienförmigen Abschnitt (**12a**) geformt ist, der radial zwischen dem Vorformfuß (**12d**) und der Vorformspitze (**12e**) und axial zwischen der Vorderkante (**12f**) der Vorform und der Hinterkante (**12g**) der Vorform gebildet ist, und mit einem Schwalbenschwanz (**12b**), der mit dem Vorformfuß einstückig verbunden ist, wobei der Haubenkörper (**24k**) auf entsprechende Weise eine Gasturbinen-Fanschaufelkonfiguration mit einem stromlinienförmigen Abschnitt (**24a**) hat, der radial zwischen dem Haubenfuß (**24d**) und der Haubenspitze (**24e**) und axial zwischen der Vorderkante (**24f**) der Haube und der Hinterkante (**24g**) der Haube gebildet ist, und mit einem Schwalbenschwanz (**24b**), der mit dem Haubenfuß einstückig verbunden ist, und wobei die Haubenlagen (**1–8**) im allgemeinen symmetrisch zu einer radialen Stapelachse (**24c**) des Haubenkörpers angeordnet sind.

5. Haube nach Anspruch 4, wobei die Haubenlagen (**1–8**) in dem Körper so orientiert sind, daß die Fasern darin angeordnet sind, um die Flextibilität nahe dem Haubenfuß (**24d**) und dem Hauben-Schwalbenschwanz (**24b**) zu verringern, um dadurch die gerichtete Konsolidierung zu fördern.

6. Haube nach Anspruch 4, ferner enthaltend:

eine Auskleidung (**24m**), die mit einer unteren Seite (**24j**) des Haubenkörpers einstückig verbunden ist, für einen Eingriff mit der ersten Seite (**12h**) der Vorform und zum Steuern ihres Oberflächenaussehens und  
 eine Oberflächen-Abdeckung (**24n**), die mit einer oberen Seite (**24h**) des Haubenkörpers einstückig verbunden ist.

7. Haube nach Anspruch 4, wobei die Vorform einen Mittelsehnenschnitt nahe der Stapelachse aufweist, der dicker als die Vorder- und Hinterkanten ist, und wobei der Haubenkörper in einem Mittelsehnenschnitt nahe der Stapelachse dicker ist als an der Vorder- und Hinterkante der Haube.

8. Haube nach Anspruch 7, wobei die Vorform entlang der Stapelachse verdreht ist.

9. Einrichtung zum Konsolidieren einer zusammengesetzten viellagigen Vorform (**12**) zu einer Schaufel, wobei die Vorform (**12**) Kunstharz enthält und erste und zweite Seiten aufweist, wobei die Einrichtung enthält:

eine Haube (**24**) mit einer Biegeflextilität, die sich über ihren Körper ändert, eine Autoklavkammer (**20**), eine untere Form (**22**), die in der Kammer (**20**) angeordnet ist und zur Bildung der zweiten Seite (**12j**) der Vorform (**12**) konfiguriert ist,  
 wobei die Vorform (**12**) auf der unteren Form (**22**) positionierbar ist, wobei ihre zweite (**12j**) damit in Kontakt ist, wobei die Vorform eine grösitere Dicke hat als die zu erzeugende Schaufel, aber eine identische Form mit der zu erzeugenden Schaufel hat,  
 die Haube (**24**) auf der Vorform positionierbar ist  
 eine Haubenauskleidung (**24m**) für einen Kontakt mit der ersten Vorformseite (**12h**) und eine Einrichtung (**30**) zum Erwärmen und Komprimieren der Kammer (**20**), um die Haube (**24**) auf der Vorform (**12**) zusammenzupressen und die Vorformlagen (**12k**) zu konsolidieren, wodurch die Vorform zu einer Schaufel zusammengepresst werden kann ohne eine Relativbewegung zwischen benachbarten Lagen, dadurch gekennzeichnet, daß  
 die Vorform einen Fuß und eine Spitze aufweist und in der Dicke vom Fuß zur Spitze abnimmt, und wobei die Haube einen entsprechenden Fuß und Spitze aufweist und in der Flexibilität von dem entsprechenden Fuß zur entsprechenden Spitze zunimmt, wobei die Haube einen Körper komplementär zur ersten Seite der Vorform aufweist und eine Biegeflextilität hat, die sich über den Körper ändert zur entsprechend veränderlichen Konsolidierung der Vorform.

10. Einrichtung nach Anspruch 9, wobei die Vorform einen Mittelsehnenschnitt nahe der Stapelachse, eine Vorform-Vorderkante und eine Vorform-Hinterkante aufweist, wobei der Haubenkörper in einem Mittelsehnenschnitt nahe der Stapelachse dicker ist als an der Vorder- und Hinterkante der

Haube.

11. Einrichtung nach Anspruch 9, wobei die Einrichtung zum Erwärmen und Komprimieren der Kammer in der Lage ist, genügend Wärme an die Vorform zu liefern, um das Kunstharz in der Vorform zu härten.

12. Einrichtung nach Anspruch 11, wobei die Einrichtung zum Erwärmen und Komprimieren der Kammer in der Lage ist, weniger Wärme an die Vorform zu liefern als zum Härten des Kunstharzes in der Vorform nötig ist, und anschließend gestattet, daß die Vorform abkühlt, bevor ausreichend Wärme zugeführt wird, um die Vorform zu erwärmen, um das Kunstharz in der Vorform zu härten.

Es folgen 8 Blatt Zeichnungen

## Anhängende Zeichnungen

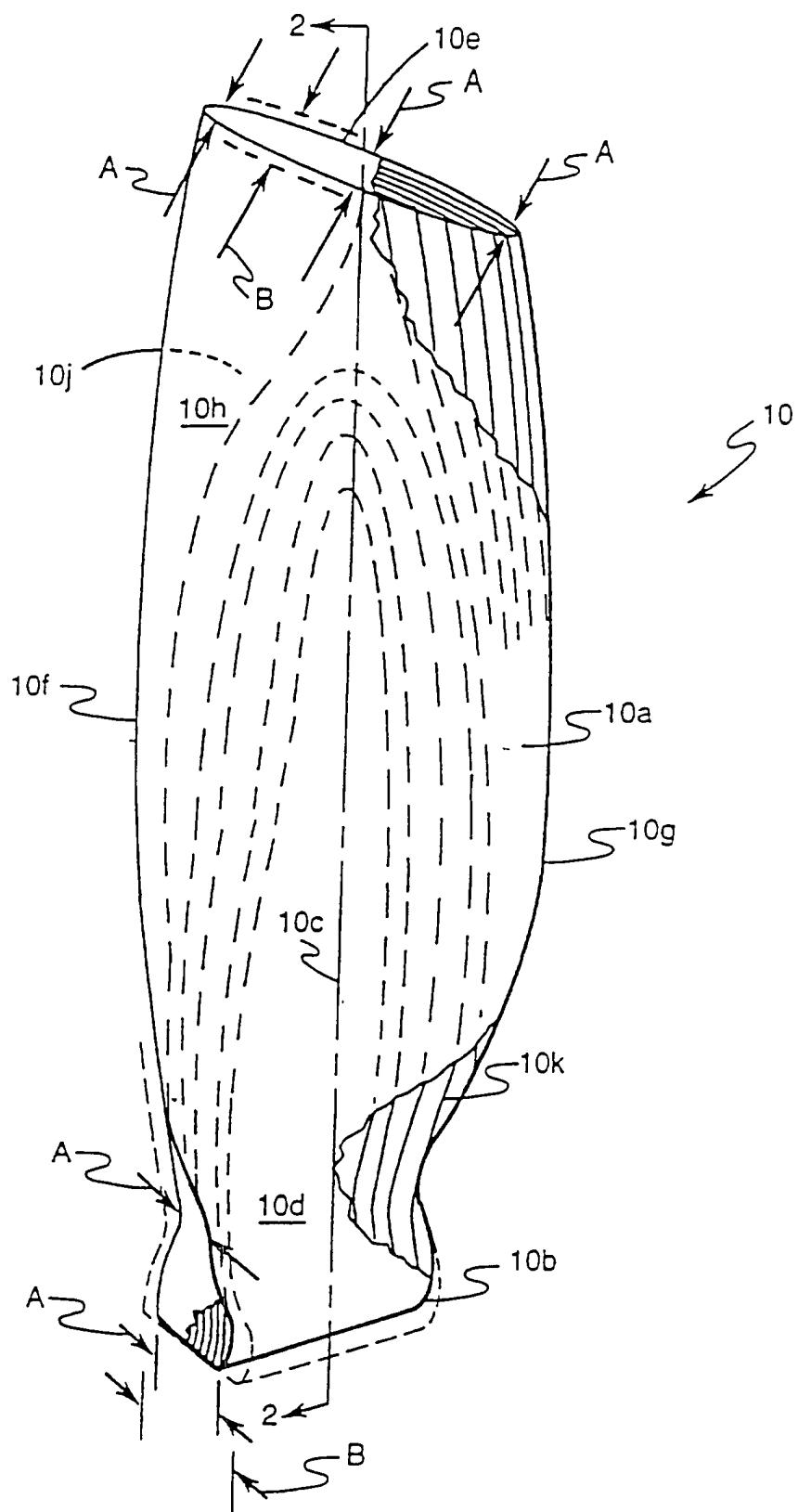


FIG. 1

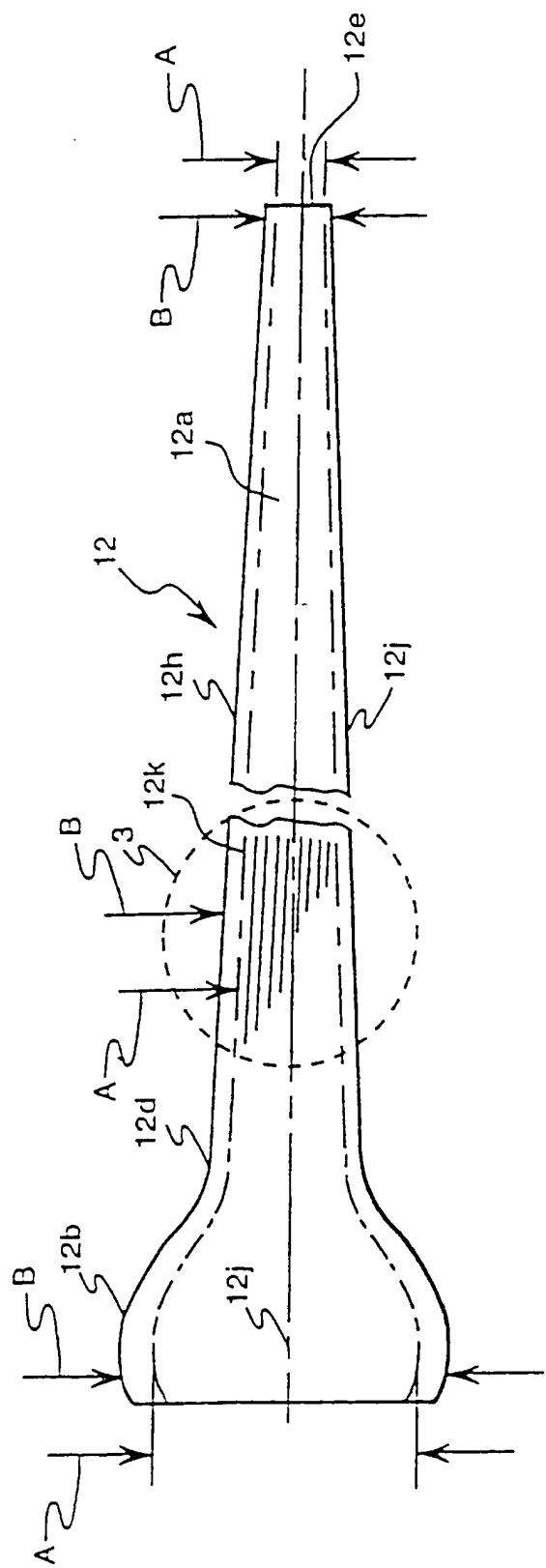


FIG. 2

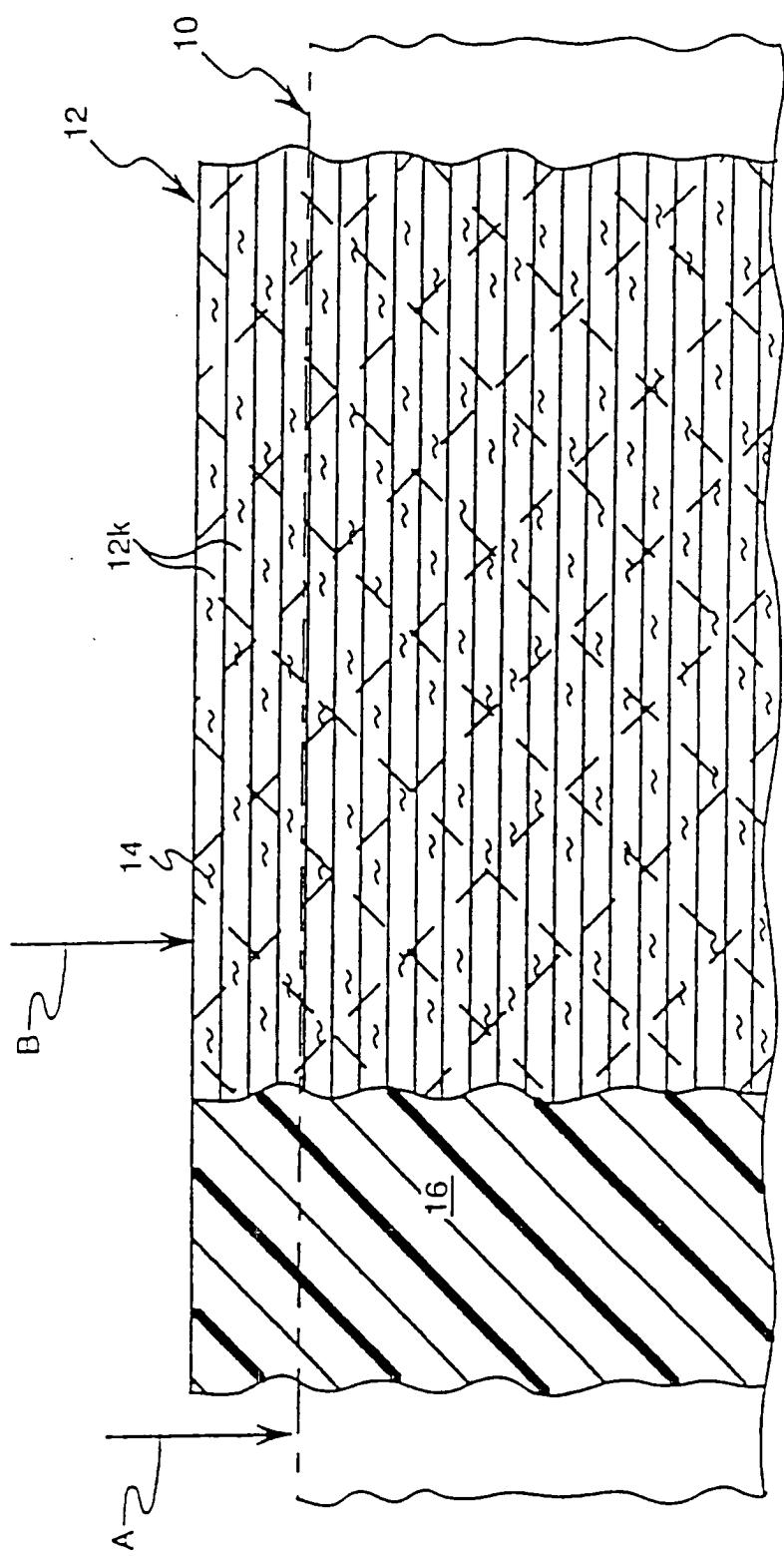
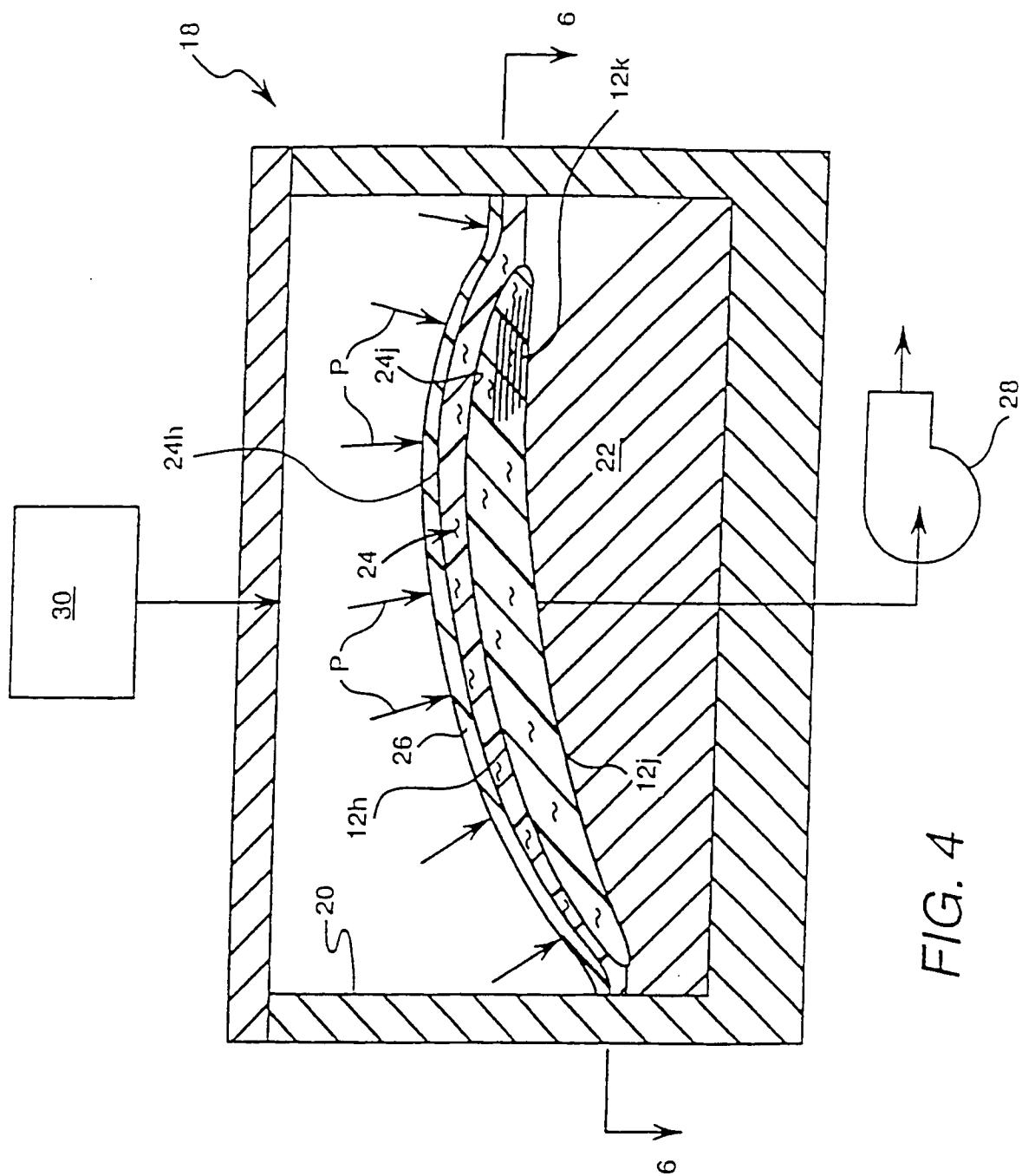


FIG. 3



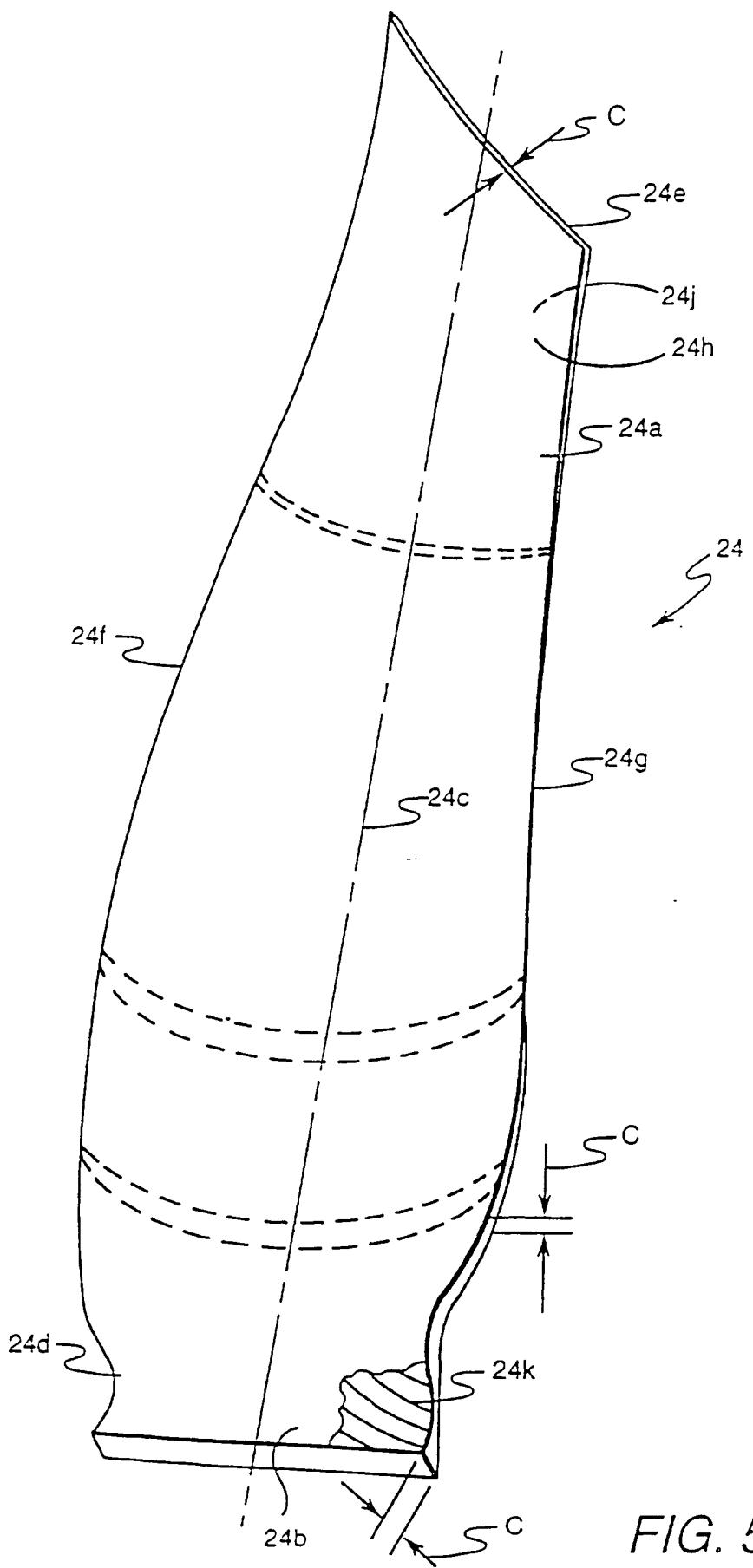


FIG. 5

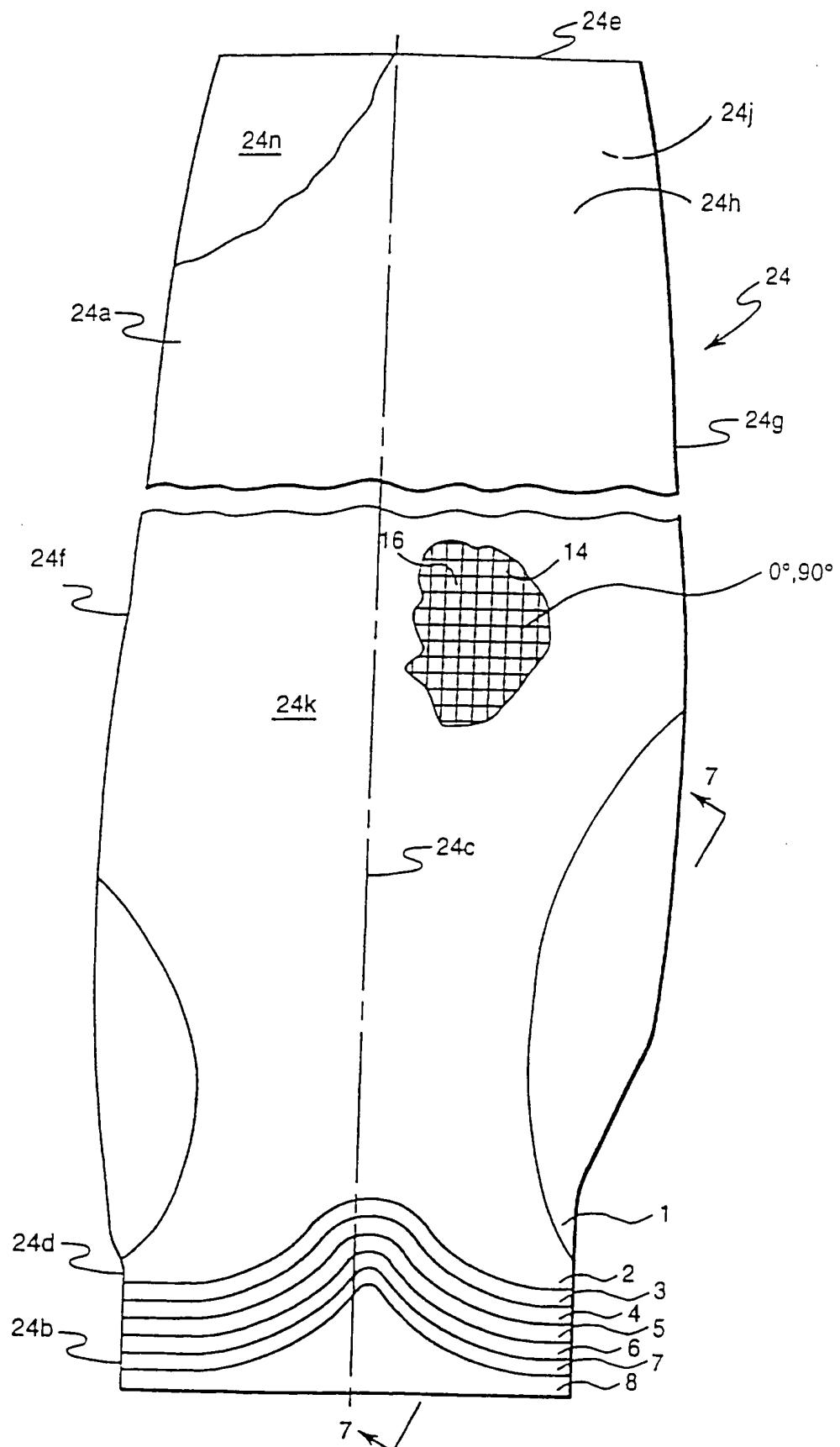


FIG. 6

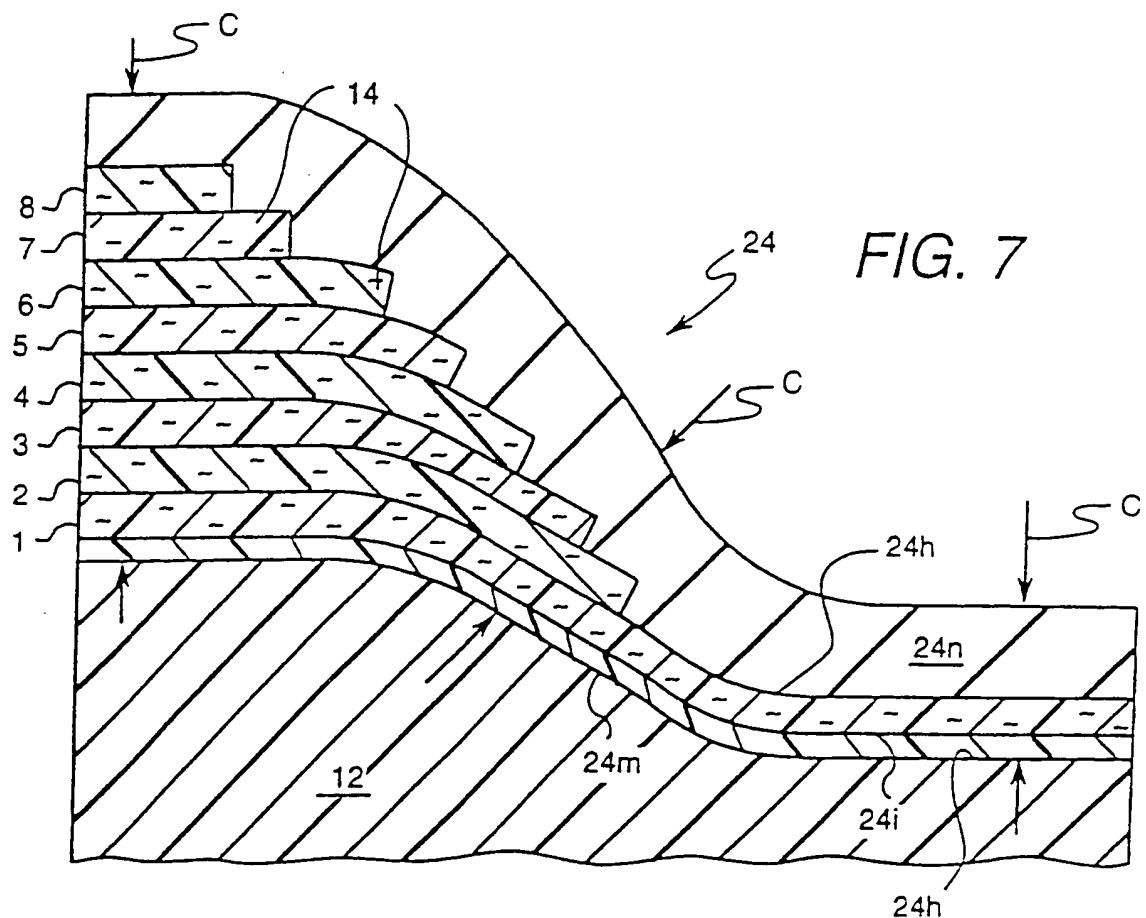


FIG. 7

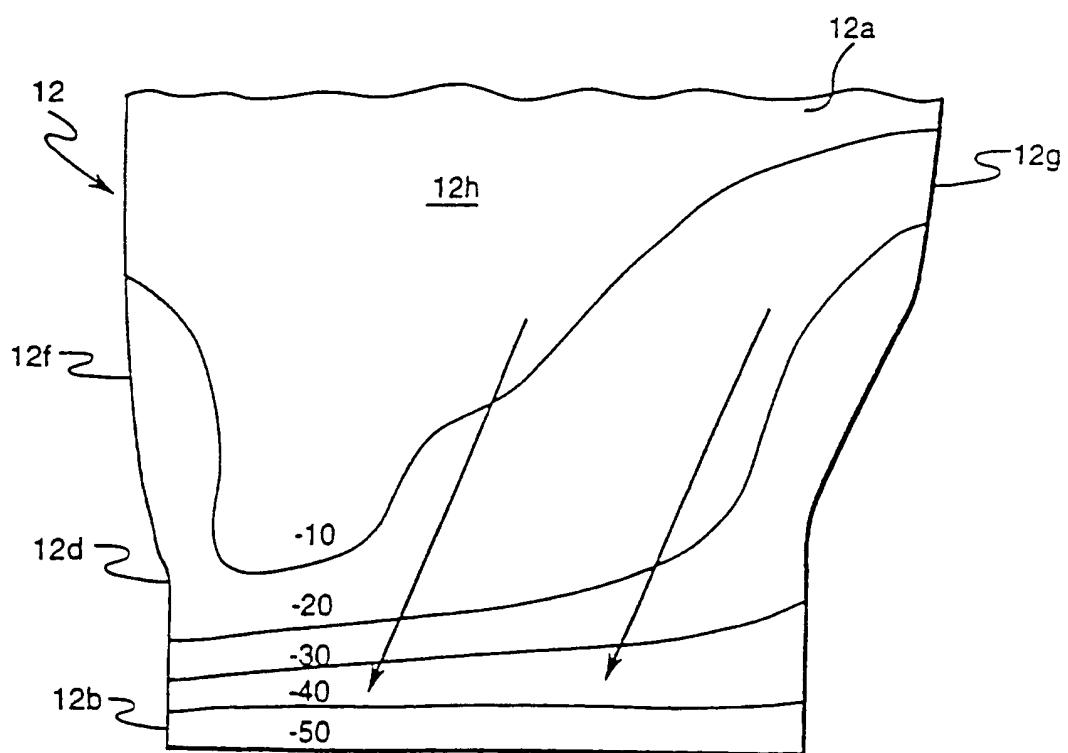


FIG. 9

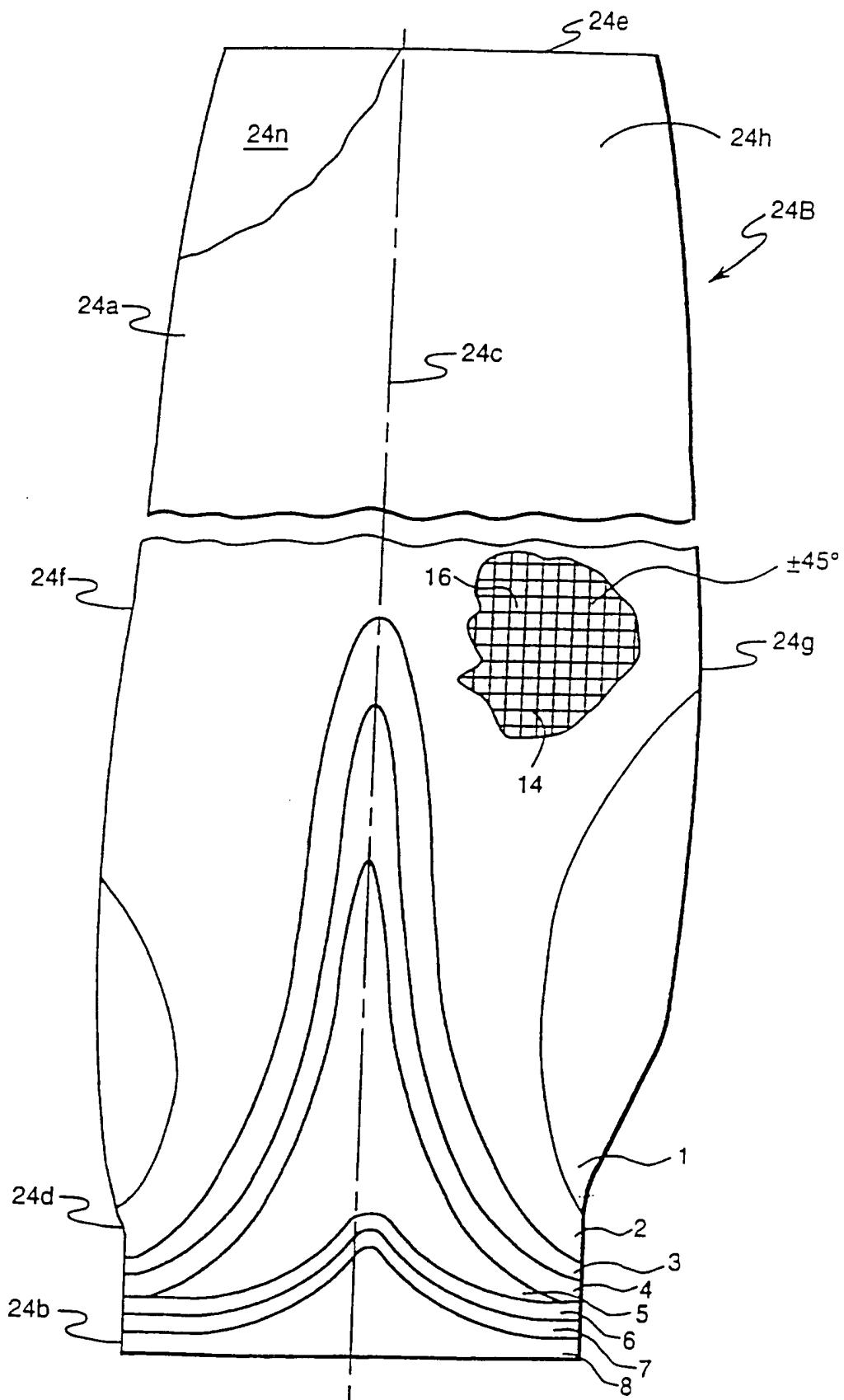


FIG. 8