



(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2019 001 831.1**
(22) Anmeldetag: **14.03.2019**
(43) Offenlegungstag: **02.10.2019**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **15.02.2024**

(51) Int Cl.: **F01D 5/28 (2006.01)**
F01D 5/30 (2006.01)
F01D 5/00 (2006.01)

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(30) Unionspriorität:
2018-065687 **29.03.2018** **JP**

(73) Patentinhaber:
Mitsubishi Heavy Industries, Ltd., Tokyo, JP

(74) Vertreter:
**Henkel & Partner mbB Patentanwaltskanzlei,
Rechtsanwaltskanzlei, 80333 München, DE**

(72) Erfinder:
Kamiya, Masami, Tokyo, JP; Okabe, Ryoji, Tokyo, JP; Nonaka, Yoshinori, Tokyo, JP; Shindo, Kentaro, Tokyo, JP

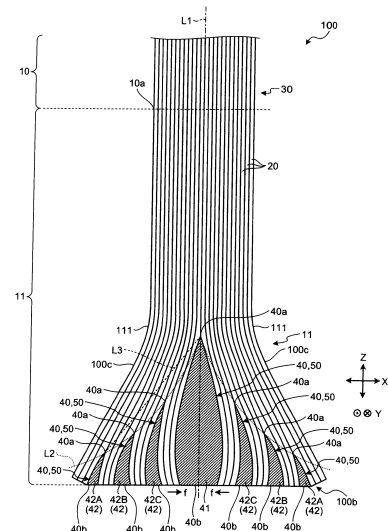
(56) Ermittelter Stand der Technik:
siehe Folgeseiten

(54) Bezeichnung: **VERBUNDSCHAUFEL UND HERSTELLUNGSVERFAHREN FÜR EINE VERBUNDSCHAUFEL**

(57) Hauptanspruch: Eine Verbundschaufel (100;200), gebildet durch Überlagern von Verbundmaterialschichten (20), in denen Verstärkungsfasern (21) mit Harz (22) imprägniert sind, in einer Dickenrichtung (X) der Verbundschaufel (100;200), wobei die Verbundschaufel (100;200) einen auf einer Seite eines Basisendes (100b) vorgesehenen Schaufelfuss (11) und ein auf einer Seite eines Außenendes (100a) vorgesehenes Profil (10) aufweist, wobei die Verbundschaufel (100;200) umfasst:

ein erstes Gelege (30;70), eingerichtet als ein Gelege, in dem einige der Verbundmaterialschichten (20) aufeinandergelegt sind, wobei das erste Gelege (30;70) in dem Schaufelfuss (11) derart vorgesehen ist, dass Teile der Verbundmaterialschichten (20) von der Seite des Basisendes (100b) her beginnend beabstandet voneinander sind, um eine Vielzahl von Abstandsteilen (50) zu bilden und dies derart, dass sie sich von der Seite des Außenendes (100a) zur Seite des Basisendes (100b) in der Dickenrichtung (X) der Verbundschaufel (100;200) erstrecken, und eine Vielzahl von zweiten Gelegen (40), die als ein Gelege konfiguriert sind, in dem einige der Verbundmaterialschichten (20) aufeinandergelegt oder überlagert sind, wobei die zweiten Gelege (40) in den Abstandsteilen (50) des ersten Geleges (30;70) in dem Schaufelfuss (11) derart vorgesehen sind, dass sie in der Dickenrichtung (X) der Verbundschaufel (100;200) ausgerichtet sind, wobei jedes der zweiten Gelege (40) ein erstes Ende (40a) und ein in einer Längsrichtung (Z) der Verbundschaufel (100;200) gegenüberliegendes zweites Ende (40b) aufweist, wobei das gegenüberliegende zweite Ende (40b) jedes zweiten Geleges (40) an der Seite des Basisendes (100b) angeordnet ist,

die zweiten Gelege (40) ein Mittelgelege (41) umfassen, das in der Dickenrichtung (X) der Verbundschaufel (100;200) im Zentrum angeordnet ist, und die zweiten Gelege (40) eine Vielzahl von Außengelegen (42) aufweisen, die in der Dickenrichtung (X) der Verbundschaufel (100;200) näher an der Außenseite als das Mittelgelege (41) angeordnet sind, dadurch gekennzeichnet, dass unter der Vielzahl von zweiten Gelegen (40) ein zweites Gelege (40) in der Dickenrichtung (X) der Verbundschaufel (100;200) näher bei der Zentrumsseite als das andere zweite Gelege ...



(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	10 2006 049 818	A1
US	8 100 662	B2
US	2005 / 0 158 171	A1
US	2018 / 0 010 614	A1

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf eine Verbundschaufel und ein Herstellungsverfahren für eine Verbundschaufel.

[0002] Im Allgemeinen war eine Technologie bekannt, die sich auf eine Verbundschaufel gebildet als eine Schaufel einer Gasturbine durch Überlagern von Verbundmaterialschichten bezog, wobei jede davon durch Imprägnieren von Verstärkungsfasern mit Harz erhalten wurde. Zum Beispiel offenbart die US 8 100 662 B2 eine Verbundschaufel, die ein Profil aufweist und einen Schaufelfuß (Schwalbenschanz), vorgesehen an einem Endstück des Profils. Bei dieser Verbundschaufel werden Verbundmaterialschichten, die sich vom Profil erstrecken, derart gebildet, dass Teile einer jeden benachbart zu zwei der Verbundmaterialschichten im Schaufelfuß voneinander beabstandet sind, wobei sich der Schaufelfuß verglichen mit dem Profil nach außen erstreckt. Andere Verbundmaterialschichten werden zusätzlich an Stellen aufeinandergelegt, an denen überkreuzend zwei korrespondierende Benachbarte der Verbundmaterialschichten beabstandet voneinander angeordnet sind, was Lagenabfälle (engl: „ply drops“) reduzieren soll, d.h. Bereiche, die keine Verstärkungsfasern (Bereiche, die nur Harz enthalten) haben und deswegen die Festigkeit des Schaufelfußes daran hindern sich zu verschlechtern.

[0003] Die oben beschriebene Verbundschaufel gemäß der US 8 100 662 B2 ist derart gebildet, dass die geschlossenen Enden der zusätzlich aufgelegten Verbundmaterialschichten in einem Übergangsbereich angeordnet sind, in dem eine Zugspannung und eine Druckspannung, die in der Verbundschaufel auftreten, zueinander versetzt sind. Folglich wird eine Spannung, die in Lagenabfällen auftritt, die keine Verstärkungsfasern sondern nur Harz enthalten, an den geschlossenen Enden der Verbundmaterialschichten reduziert. Jedoch wird keine Rücksicht auf eine Zwischenschicht-Scherspannung in den Verbundmaterialschichten genommen. Eine Zwischenschicht-Scherspannung wird besonders hoch in der Nachbarschaft der Krümmungsteile in den Oberflächenseiten des Schaufelfußes, was das Risiko des Erleidens einer Beschädigung in einem Lagenabfall in einer zusätzlich aufgelegten Verbundmaterialschicht, die relativ nahe bei der Oberflächenseite angeordnet ist, erhöht. Deswegen besteht ein Bedürfnis nach einer Technologie, die verhindert, dass die Festigkeit des Schaufelfußes abnimmt.

[0004] Aus der DE 10 2006 049 818 A1 ist eine Verbundschaufel mit den Merkmalen des Oberbegriffs des Patentanspruches 1 bekannt. Bei dieser Verbundschaufel erstrecken sich im Bereich des Zentrums in der Dickenrichtung in Abstandsteilen eines

ersten Geleges angeordnete zweite Gelege weniger weit in der Längsrichtung zur Seite des Außenendes der Verbundschaufel wie die weiter Außen angeordneten zweiten Gelege. Außerdem ist die Breite der zweiten Gelege in der Dickenrichtung im Verlauf von ersten Enden an der Seite des Außenendes im Verlauf zu gegenüberliegenden zweiten Enden an der Seite des Basisendes der Verbundschaufel hin kontinuierlich erweitert.

[0005] Die US 2005 / 0 158 171 A1 offenbart eine Verbundschaufel, bei der auch zweite Gelege in einem erweiterten Fußbereich der Verbundschaufel zwischen Abstandsteilen eines ersten Geleges angeordnet sind. Eine Erstreckungslänge der zweiten Gelege in der Längsrichtung ist länger im Bereich des Zentrums und kürzer, je weiter außen in der Dickenrichtung sich die jeweiligen zweiten Gelege befinden. Die jeweiligen zweiten Gelege haben parallele und in jedem Fall lineare Seitenflächen in der Längsrichtung nach einer anfänglichen Erweiterung der Breite im Verlauf von an der Seite eines Außenendes angeordneten jeweiligen ersten Enden der zweiten Gelege zu gegenüberliegenden zweiten Enden an der Seite des Basisendes der Verbundschaufel in der Längsrichtung.

[0006] Die US 2018 / 0 010 614 A1 beschreibt eine Schaufel für einen Strahltriebwerksantrieb, die ein an der Oberfläche eines Strömungsprofils angeordnetes energieabsorbierendes Verbundmaterial mit einem dilatanten Fluid, das innerhalb einer Matrix verteilt ist, aufweist.

[0007] Die vorliegende Erfindung wurde mit Blick auf die obigen Nachteile gemacht und eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, eine Verbundschaufel und ein Herstellungsverfahren für eine Verbundschaufel zur Verfügung zu stellen, die in der Lage sind, die Festigkeit des Schaufelfußes daran zu hindern, abzunehmen.

[0008] Um das Problem zu lösen und das Ziel zu erreichen, ist eine Verbundschaufel gemäß der vorliegenden Erfindung eine Verbundschaufel mit den Merkmalen des Patentanspruches 1, gebildet durch Überlagern von Verbundmaterialschichten in einer Dickenrichtung der Schaufel, bei denen Verstärkungsfasern mit Harz imprägniert sind. Die Verbundschaufel weist auf: einen Schaufelfuß, vorgesehen auf einer Basisendseite, und ein Profil, vorgesehen auf einer Außenendseite. Die Verbundschaufel weist auf: ein erstes Gelege, das als ein Gelege konfiguriert ist, in dem einige der Verbundmaterialschichten aufeinandergelegt oder überlagert sind, wobei das erste Gelege im Schaufelfuß derart vorgesehen ist, dass Teile der Verbundmaterialschichten beginnend von der Basisendseite beabstandet voneinander sind, um eine Vielzahl von Abstandsteilen zu bilden derart, dass sie sich in der Dickenrichtung

der Schaufel von der Außenendseite zur Basisendseite erstrecken, und eine Vielzahl von zweiten Gelegen, wobei jedes als ein Gelege konfiguriert ist, in dem einige der Verbundmaterialschichten aufeinandergelegt oder überlagert sind, wobei die zweiten Gelege in den Abstandsteilen im ersten Gelege im Schaufelfuß derart vorgesehen sind, dass sie in der Dickenrichtung der Schaufel ausgerichtet sind. Unter der Vielzahl von zweiten Gelegen hat ein zweites Gelege in der Dickenrichtung der Schaufel näher bei der Zentrumsseite als an einer Außenseite einen größeren Abstand von einer proximalen Stelle zu einer Außenendposition.

[0009] Bei dieser Konfiguration sind die entsprechenden zweiten Gelege in den Abstandsteilen zwischen den korrespondierenden Benachbarten der ersten Gelege angeordnet, was es ermöglicht, die Festigkeit des Schaufelfußes durch das Reduzieren von Bereichen, die keine Verstärkungsfaser erhalten, sogar wenn sich der Schaufelfuß auswärts in der Dickenrichtung der Schaufel erstreckt, soweit wie möglich zu verbessern. Weiterhin wird eine Linie, die die entsprechenden Enden der zweiten Gelege verbindet, derart gebildet, dass sie sich zum Außenende erstreckt, während die Linie in der Dickenrichtung der Schaufel von der Außenseite zur Zentrumsseite verläuft. Das heißt, das zweite Gelege, das in der Dickenrichtung der Schaufel näher an der Außenseite angeordnet ist, ist kürzer. Deswegen können die individuellen zweiten Gelege weg von Bereichen, in denen besonders hohe Zwischenschicht-Scherspannungen auftreten können, angeordnet werden, das heißt, in der Nachbarschaft der Krümmungsteile auf den Oberflächen des Schaufelfußes. Folglich können Spannungen, die in Lagenabfällen in den zweiten Gelegen auftreten, abgemildert werden, was es weniger wahrscheinlich macht, eine Beschädigung zu erhalten, die von den Lagenabfällen herrührt. Deswegen kann die vorliegende Erfindung eine Verbundschaufel zur Verfügung stellen, die die Festigkeit des Schaufelfußes daran hindert, abzunehmen.

[0010] Es ist bevorzugt, dass ein Abstandsunterschied zwischen benachbarten zweiten Gelegen größer ist, wenn die zweiten Gelege in der Dickenrichtung der Schaufel näher bei der Zentrumsseite sind als bei der Außenseite.

[0011] Bei dieser Konfiguration können die einzelnen zweiten Gelege an Stellen angeordnet werden, die weiter weg sind von Bereichen, in denen besonders hohe Zwischenschicht-Scherspannungen auftreten können, das heißt, von den Nachbarschaften der Krümmungsteile des Schaufelfußes.

[0012] Es ist bevorzugt, dass aus der Vielzahl von zweiten Gelegen, ein zweites Gelege, das in der Dickenrichtung der Schaufel näher an der Zentrums-

seite angeordnet ist, in der Dickenrichtung der Schaufel eine größere Dicke hat als ein zweites Gelege, das in Dickenrichtung der Schaufel näher an der Außenseite angeordnet ist.

[0013] Bei dieser Konfiguration können die Verbundmaterialschichten im ersten Gelege in einem großen Maß in der X-Richtung entlang der entsprechenden Formen der zweiten Gelege nach außen kleiner werden, von denen eines, welches näher an der Zentrumsseite in der X-Richtung angeordnet ist, derart gebildet ist, dass es größer und dicker ist. Wenn eine Zentrifugalkraft auf die Verbundschaufel einwirkt, unterstützt der Schaufelfuß die Verbundschaufel gegen die Zentrifugalkraft mit einer Oberflächenzugkraft aufgenommen auf den Oberflächen des Schaufelfußes und mit Zwischenschicht-Scherbelastungen, die zwischen den Verbundmaterialschichten wirken. Unter dieser Bedingung kann die Oberfläche des Schaufelfußes mit einem größeren Abnahmewinkel der Oberfläche eine größere Oberflächenzugkraft aufnehmen und zur gleichen Zeit können Komponentenkräfte aufgrund der Zwischenschicht-Scherbelastungen kleiner werden. Deswegen werden die Zwischenschicht-Scherbelastungen, die auf die Verbundmaterialschichten einwirken, reduziert, wobei das Risiko des Auftretens einer Zerstörung zwischen den Verbundmaterialschichten weiter reduziert werden kann.

[0014] Erfindungsgemäß weisen die zweiten Gelege ein Mittelgelege auf, das in der Dickenrichtung der Schaufel im Zentrum angeordnet ist, und das Mittelgelege wird derart gebildet, dass es sich in der Dickenrichtung der Schaufel auswärts von einem Ende in der Dickenrichtung der Schaufel und einwärts zu einem gegenüberliegenden Ende erstreckt.

[0015] Bei dieser Konfiguration haben Teile des ersten Geleges, die sich auf der Begrenzungsfläche des Mittelgeleges erstrecken, auf einer Seite, die mit dem gegenüberliegenden Ende korrespondiert, Raumformen, die sich in der Dickenrichtung der Schaufel zur Zentrumsseite annähern. Das Mittelgelege kann deswegen durch die Teile der ersten Gelege gehalten werden, die sich auf der Begrenzungsfläche dessen befinden, und das Mittelgelege kann davon abgehalten werden, sich vom Schaufelfuß zu trennen, sogar wenn eine Beschädigung in der Grenze zwischen dem Mittelgelege und dem ersten Gelege auftritt.

[0016] Erfindungsgemäß weisen die zweiten Gelege eine Vielzahl von äußeren Gelegen auf, die in der Dickenrichtung der Schaufel näher bei der Außenseite angeordnet sind als es das Mittelgelege ist, wobei jedes der Vielzahl von äußeren Gelegen von einem Ende zum gegenüberliegenden Ende

gebogen ist, um in der Dickenrichtung der Schaufel konvex nach außen zu sein, und unter der Vielzahl von äußeren Gelegen ein Außengelege angeordnet ist, das in der Dickenrichtung der Schaufel näher bei der Zentrumsseite einen kleineren Krümmungsradius am gegenüberliegenden Ende als ein Außengelege ist, das in der Dickenrichtung der Schaufel näher an Außenseite angeordnet ist.

[0017] Bei dieser Konfiguration sind Teile des ersten Geleges, die sich auf der Begrenzungsfläche jeder der Außengelege erstrecken, auch gekrümmt mit Konturen, die in der Dickenrichtung der Schaufel auswärts konvex sind, und ein Teil des ersten Geleges, das näher bei der Zentrumsseite angeordnet ist, hat einen kleineren Krümmungsradius (ist schärfer gekrümmt). Als ein Ergebnis sind die Teile des ersten Geleges, die auf der Begrenzungsfläche des Mittelgeleges angeordnet sind, am schärfsten gekrümmt, wobei das Verhältnis der Maximaldicke des Mittelgeleges zur Minimaldicke dieser entlang des gegenüberliegenden Endes dieser relativ groß gemacht werden kann. Deswegen wird das Mittelgelege durch die Teile der ersten Lage, die auf deren Begrenzungsfläche angeordnet sind, günstig gehalten, wobei das Mittelgelege vorteilhafterweise von einem Ablösen von dem Schaufelfuß abgehalten werden kann.

[0018] Es ist bevorzugt, dass außerdem eine Schaumschicht gebildet aus Schaumharz an der Zentrumsseite des Profils in der Dickenrichtung der Schaufel vorhanden ist, wobei die Schaumschicht derart gebildet ist, dass ein Endteil eine Keilform hat, die sich zur Basisendseite entlang eines Verlaufes des Endteils in der Dickenrichtung der Schaufel von der Außenseite zur Zentrumsseite erstreckt und das erste Gelege Mittelschichten aufweist, die sich von dem Endteil der Schaumschicht zur Basisendseite des Schaufelfußes erstrecken.

[0019] Bei dieser Konfiguration können Teile des ersten Geleges im Prozess des Erwärmsens und Erhärtens des Schaumharzes nach außen gedrückt werden, die sich auf der Begrenzungsfläche des Endteils erstrecken, welches in einem weiten Bereich in der Dickenrichtung der Schaufel eine Keilform auswärts hat, wenn die Schaumschicht gebildet wird. Als Ergebnis wird die Bildung von Fehlstellen des ersten Geleges in der Nachbarschaft eines Wurzelteils des Profils verhindert, wobei sich das Fußteil mit dem Schaufelfuß verbindet. Deswegen kann die Festigkeit des Fußteils des Profils, welches sich mit dem Schaufelfuß verbindet, erhöht werden.

[0020] Es ist bevorzugt, dass das Endteil der Schaumschicht in einem Bereich vorgesehen ist, in dem eine Zwischenschichtzugspannung auf die Verbundmaterialschichten einwirkt.

[0021] Bei dieser Konfiguration kann die Schaumschicht daran gehindert werden, dass sie durch eine Drucklast, die auf die Schaumschicht einwirkt, zusammengedrückt wird.

[0022] Es ist bevorzugt, dass die Mittelschichten eine Deckschicht als Teil der Verbundmaterialschichten aufweisen, welche in der Dickenrichtung der Schaufel am nächsten an der Zentrumsseite angeordnet ist, wobei sich die Deckschicht auf der Peripherie der Schaumschicht und in das Profil erstreckt.

[0023] Bei dieser Konfiguration können die geschlossenen Enden der Verbundmaterialschichten, die sich auf Außenseiten der Deckschichten der Mittelschichten erstrecken, außer Kontakt mit dem Endteil der Schaumschicht halten werden. Als ein Ergebnis macht es diese Konfiguration möglich, wenn die Schaumschicht gebildet wird, einen Defekt zu verhindern, so dass benachbarte geschlossene Enden der Verbundmaterialschichten, die als Mittelschichten vorgesehen sind, wegen des Schaumharzes voneinander getrennt sind. Wie oben beschrieben, macht es diese Konfiguration auch möglich, wenn die Schaumschicht gebildet wird, die Formen der Grenzoberflächen zwischen der Schaumschicht und den Mittelschichten zu stabilisieren, weil die entsprechenden geschlossenen Enden der Verbundmaterialschichten (anders als die Deckschichten) unter den Mittelschichten durch die Deckschichten gedrückt werden.

[0024] Um das Problem zu lösen und die Aufgabe zu erreichen, umfasst ein Verfahren gemäß der vorliegenden Erfindung zum Herstellen einer Verbundschaufofel, gebildet durch Überlagern von Verbundmaterialschichten, in denen Verstärkungsfasern mit Harz imprägniert werden, in einer Dickenrichtung der Schaufel, die Merkmale des Patentanspruchs 7. Die Verbundschaufofel weist einen Schaufelfuß, vorgesehen auf einer Basisendseite, und ein Profil, vorgesehen auf einer Außenendseite, auf. Das Verfahren weist einen Erstgelege-Bildungsschritt auf, konfiguriert als ein Gelege, bei dem einige der Verbundmaterialschichten aufeinandergelegt oder überlagert werden, wobei das erste Gelege im Schaufelfuß derart vorgesehen wird, dass die Verbundmaterialschichten voneinander von der Basisendseite beginnend beabstandet sind, um eine Vielzahl von Abstandsteilen zu bilden, derart, dass sie sich in der Dickenrichtung der Schaufel von der Außenendseite zur Basisendseite erstrecken, und einen Zweitgelege-Bildungsschritt, wobei jedes hiervon als ein Gelege konfiguriert ist, in dem einige der Verbundmaterialschichten aufeinandergelegt oder überlagert werden, wobei die zweiten Gelege in den Abstandsteilen im ersten Gelege im Schaufelfuß derart vorgesehen werden, dass sie in der Dickenrichtung der Schaufel ausgerichtet sind. Unter der Vielzahl von zweiten Gelegen hat ein zwei-

tes Gelege, das in der Dickenrichtung der Schaufel näher an einer Zentrumsseite als an einer Außen-seite ist, einen größeren Abstand von einer proximalen Stelle zu einer Außenendposition. Der Erstgelege-Bildungsschritt umfasst einen Schritt des Überlagerns der Verbundmaterialschichten zum Bilden eines Teils des ersten Geleges in jedem Schritt in einem schrittweisen Ablauf zum Bilden des ersten Geleges. Der Zweitgelege-Bildungsschritt weist jedes Mal, wenn der Erstgelege-Bildungsschritt ausgeführt wird, einen Schritt des Überlagerns der Verbundmaterialschichten zum Legen der korrespondierenden zweiten Gelege auf den Verbundmaterialschichten auf, die im Erstgelege-Bildungsschritt aufeinandergelegt wurden, der unmittelbar zuvor ausgeführt wurde.

[0025] Bei dieser Konfiguration sind die entsprechenden zweiten Gelege in den Abstandsteilen zwischen den korrespondierenden Benachbarten der ersten Gelege angeordnet, was es ermöglicht, die Festigkeit des Schaufelfußes durch Reduzierung der Bereiche, die keine Verstärkungsfaser enthalten, soweit wie möglich zu vergrößern, sogar wenn sich der Schaufelfuß auswärts in der Dickenrichtung der Schaufel erstreckt. Weiterhin wird eine Linie gebildet, die die entsprechenden Enden der zweiten Gelege derart verbindet, dass sie sich zum Außenende erstreckt, während die Linie von der Außenseite zur Zentrumsseite in der Dickenrichtung der Schaufel verläuft. Das heißt, das zweite Gelege, das in der Dickenrichtung der Schaufel näher bei der Außenseite angeordnet ist, ist kürzer. Deswegen können die individuellen zweiten Gelege entfernt von Bereichen, in denen besonders hohe Zwischenschicht-Scherspannungen auftreten mögen, angeordnet werden, das heißt, in den Nachbarschaften der Krümmungsteile auf den Oberflächen des Schaufelfußes. Folglich kann eine Spannung, die in den Lagenabfällen in dem zweiten Gelege auftritt, abgemildert werden, was es weniger wahrscheinlich macht, eine Beschädigung zu erhalten, die von den Lagenabfällen herrührt. Deswegen kann die vorliegende Erfindung ein Herstellungsverfahren für eine Verbundschaufel zur Verfügung stellen, welches die Festigkeit des Schaufelfußes davon abhält, abzunehmen.

Fig. 1 ist eine schematische Ansicht, welche überblicksartig den allgemeinen Aufbau einer Verbundschaufel gemäß einer ersten Ausführungsform zeigt.

Fig. 2 ist eine Schnittansicht der Verbundschaufel gesehen in einer Richtung Y.

Fig. 3 ist eine schematische Ansicht, die eine Konfiguration der Verbundmaterialschichten darstellt.

Fig. 4 ist eine erläuternde Ansicht, die eine Vielzahl von zweiten Gelegen darstellt.

Fig. 5 ist eine erläuternde Ansicht, die den Ablauf eines Herstellungsverfahrens für eine Verbundschaufel gemäß der ersten Ausführungsform darstellt.

Fig. 6 ist eine erläuternde Ansicht, die den Ablauf des Herstellungsverfahrens für eine Verbundschaufel gemäß der ersten Ausführungsform darstellt.

Fig. 7 ist eine erläuternde Ansicht, die ein Beispiel des Analyseergebnisses bezüglich der Verteilung der Von-Mises-Spannung erzeugt in der Verbundschaufel gemäß der ersten Ausführungsform darstellt.

Fig. 8 ist eine erläuternde Ansicht, die ein Beispiel des Analyseergebnisses zeigt betreffend die Zwischenschicht-Scherspannung, erzeugt zwischen benachbarten Verbundmaterialschichten in der Verbundschaufel gemäß der ersten Ausführungsform.

Fig. 9 ist eine Schnittansicht, die eine Verbundschaufel gemäß einer zweiten Ausführungsform gesehen aus der Richtung Y zeigt.

Fig. 10 ist eine vergrößerte Schnittansicht des Hauptteils der Verbundschaufel gemäß der zweiten Ausführungsform.

Fig. 11 ist eine erläuternde Ansicht, die ein Beispiel eines Analyseergebnisses zeigt, betreffend die Spannungsverteilung, erzeugt in der Verbundschaufel gemäß der zweiten Ausführungsform.

[0026] Das Folgende beschreibt im Detail Ausführungsformen einer Verbundschaufel und eines Herstellungsverfahrens für eine Verbundschaufel gemäß der vorliegenden Erfindung basierend auf den Zeichnungen.

[0027] **Fig. 1** ist eine schematische Ansicht, welche überblicksartig den allgemeinen Aufbau einer Verbundschaufel gemäß einer ersten Ausführungsform zeigt. Die Verbundschaufel 100 gemäß der ersten Ausführungsform ist eine Schaufel einer Gasturbine. Eine Gasturbine, für die die Verbundschaufel 100 vorgesehen ist, ist zum Beispiel eine enthalten in einem Flugzeugmotor, aber kann auch eine für irgendeinen Zweck, wie z. B. eine Energieerzeugungsgasturbine sein.

[0028] Wie dargestellt in **Fig. 1** erstreckt sich die Verbundschaufel 100 von einem Außenende 100a zu einem Basisende 100b. Eine Seite der Verbundschaufel 100, die das Basisende 100b hat, ist an einer Turbinenscheibe 2 befestigt. Hier ist eine Richtung Z, dargestellt in **Fig. 1**, eine Richtung, in der sich die Verbundschaufel 100 erstreckt, das heißt, eine Richtung von dem Außenende 100a zum Basisende 100b. Die Richtung Z ist die Längsrichtung der Ver-

bundschaufel 100. Die Richtung Z korrespondiert auch mit der Radiusrichtung (Radialrichtung) der Turbinenscheibe 2. Eine Richtung Y ist eine Richtung senkrecht zur Richtung Z und ist auch eine Richtung entlang der Axialrichtung der Turbinenscheibe 2. Eine Richtung X ist eine Richtung senkrecht zur Richtung Y und der Richtung Z und ist auch eine Richtung entlang einer Umfangstangentenlinie der Turbinenscheibe 2.

[0029] Die Verbundschaufel 100 weist ein Profil 10 und einen Schaufelfuß 11 (ein Schwalbenschwanzteil) auf. Das Profil 10 ist eine Schaufel, die Gas, welches in der Gasturbine strömt, mit der Rotation der Turbinenscheibe 2 verdichtet. Das Profil 10 erstreckt sich in einer verdrehten Form von dem Außenende 100a zu einem Profilende 10a in der Richtung Z (Längsrichtung) der Verbundschaufel 100. Der Schaufelfuß 11 ist am Profilende 10a vorgesehen, welches ein Ende des Profils 10 ist. Der Schaufelfuß 11 umfasst das Basisende 100b. In anderen Worten erstreckt sich das Profil 10 in der Richtung Z von einer Seite des Schaufelfußes 11, die dem Außenende 100a gegenüberliegt. Die Verbundschaufel 100 ist an die Turbinenscheibe 2 über den Schaufelfuß 11 angebunden. Die Turbinenscheibe 2 hat eine Vielzahl von Nuten 2A, die in einer Umfangsrichtung voneinander beabstandet mit Abständen dazwischen angeordnet sind. Der Schaufelfuß 11 ist derart ausgebildet, dass die Länge (Breite) dessen in der X-Richtung größer ist als die Länge des Profils 10 in der X-Richtung. Die Verbundschaufel 100 ist an der Turbinenscheibe 2 angebracht und gesichert, wobei der Schaufelfuß 11 an einer der Nuten 2A angebracht ist.

[0030] Fig. 2 ist eine Schnittansicht der Verbundschaufel gesehen aus der Richtung Y. Die Verbundschaufel 100 ist aus Gelegen zusammengesetzt, wobei sie durch Überlagern einer Vielzahl von Verbundmaterialschichten 20 in der Dickenrichtung der Schaufel erhalten wird. Wie hierin verwendet, bezieht sich der Begriff „Dickenrichtung der Schaufel“ auf alle die Dickenrichtungen der Verbundschaufel 100 im Profilende 10a, das heißt, ein Fußteil des Profils 10, wobei das Fußteil sich mit dem Schaufelfuß 11 verbindet. Deswegen bedeutet der Begriff die Richtung X (die links-nach rechts-Richtung oder rechts-nach-links-Richtung in Fig. 2). Die folgende Beschreibung benutzt den Begriff „Richtung X“ anstelle der Verwendung des Begriffs „Dickenrichtung der Schaufel“. Die nachfolgende Beschreibung benutzt auch den Begriff „Außenseite“, um einen Teil der Verbundschaufel 100 zu meinen, welcher relativ nahe bei irgendeiner der Oberflächen 100c in der X-Richtung ist, und benutzt den Begriff „Zentrumsseite“, um einen Teil der Verbundschaufel 100 zu meinen, der relativ nahe an der Zentrumslinie L1 in der X-Richtung ist.

[0031] Fig. 3 ist eine schematische Ansicht, die die Konfiguration der Verbundmaterialschichten zeigt. Jede der Verbundmaterialschichten 20 ist eine Schicht, hergestellt aus Verbundmaterialien, die durch Imprägnieren von Verstärkungsfasern 21 mit Harz 22 erhalten werden. Wie dargestellt in Fig. 3, hat jede der Verbundmaterialschichten 20 eine Vielzahl von Strängen aus Verstärkungsfasern 21, vorgehen in der Richtung Z, und hat eine Begrenzungsfläche der Verstärkungsfasern 21, die mit dem Harz 22 gefüllt ist. Jede der Verbundmaterialschichten 20 hat das Harz 22 verbunden mit dem Harz 22 in benachbarten solchen (denen die hierauf abgelegt werden) der Verbundmaterialschichten 20, wodurch sie mit den anderen Verbundmaterialschichten 20 integral verbunden sind. Deswegen ist die Verbundmaterialschicht 20 eine Schicht, die die Verstärkungsfasern 21 und das Harz 22 enthält, welches die Begrenzungsfläche der Verstärkungsfasern 21 bedeckt. Die Verbundmaterialschicht 20 kann eine andere Verstärkungsfasern aufweisen, welche sich in einer Richtung unterschiedlich von der Richtung, in welche sich die Verstärkungsfasern 21 dargestellt Fig. 3 erstreckt. In solch einem Fall kann die Verstärkungsfasern 21 in die andere Verstärkungsfasern eingewebt sein.

[0032] In der ersten Ausführungsform ist die Verstärkungsfasern 21 ein kohlefaserverstärkter Kunststoff (CFRP), welcher Kohlefaser enthält. Die Verstärkungsfasern 21 ist jedoch nicht auf Kohlefaser begrenzt und kann eine andere Kunststofffasern, Glasfasern oder metallische Fasern sein. Das Harz 22 ist zum Beispiel ein thermisch aushärtendes Harz oder ein thermoplastisches Harz. Beispiele von thermisch aushärtenden Harzen, die hierin anwendbar sind, umfassen Epoxidharz. Beispiele von thermoplastischen Harzen, die hierin anwendbar sind, umfassen Polyetheretherketon (PEEK), Polyetheretherketone (PEKK) und Polyphenylensulfid (PPS). Das Harz 22 ist nicht begrenzt auf diese Beispiele und kann ein anderes Harz sein.

[0033] Die Verbundschaufel 100 umfasst deswegen das erste Gelege 30, die Vielzahl von Verbundmaterialschichten 20, die in der X-Richtung aufeinandergelegt sind, und die zweiten Gelege 40. In Fig. 2 korrespondiert ein Gelege in einem Bereich, der nicht mit schraffierten Linien schattiert ist, mit dem ersten Gelege 30 und ein Gelege in einem Bereich, der mit schraffierten Linien schattiert ist, korrespondiert mit den zweiten Gelegen 40. Die Konfigurationen des ersten Geleges 30 und der zweiten Gelege 40 werden als nächstes im Detail beschrieben.

[0034] Wie dargestellt in Fig. 2 erstreckt sich das erste Gelege 30 kontinuierlich von dem Profil 10 zum Schaufelfuß 11. Im Profil 10 erstreckt sich das erste Gelege 30 in der Längsrichtung dessen. Im Schaufelfuß 11 hat jedoch das erste Gelege 30 eine

Vielzahl von Abstandsteilen 50 gebildet, wobei über jedes dieser hinweg Benachbarte einiger der Verbundmaterialschichten 20 beginnend vom Basisende 100b beabstandet voneinander sind. Deswegen erstreckt sich im Schaufelfuß 11 das erste Gelege 30 in einer Richtung, die in der X-Richtung auswärts geneigt ist, weil das erste Gelege 30 weiter weg vom Profil 10 ist. Das heißt, im Schaufelfuß 11 ist das erste Gelege 30 derart vorgesehen, dass es in der X-Richtung breiter ist als es sich von dem Außenende 100a zum Basisende 100b erstreckt. In **Fig. 2** wird jedes der Abstandsteile 50 jeweils zu der Zeit gebildet, wenn die drei Verbundmaterialschichten 20 aufeinandergelegt werden, wobei die Anzahl der Verbundmaterialschichten 20, die aufeinandergelegt werden, zwischen Benachbarten der Abstandsteile 50 bestimmt werden kann wie gewünscht in Übereinstimmung mit Faktoren, wie z. B. der Größe der Verbundschaufel 100, der Dicke jeder der Verbundmaterialschichten 20 und der Anzahl der Abstandsteile 50, die gebildet werden sollen.

[0035] Eine Vielzahl von zweiten Gelegen 40 ist im Schaufelfuß 11 vorgesehen, wobei sie zwischen einigen Benachbarten der Verbundmaterialschichten 20 im ersten Gelege 30 angeordnet und in der X-Richtung ausgerichtet sind. Die zweiten Gelege 40 sind zusätzliche Gelege, wobei jedes zwischen einem Korrespondierenden der Abstandsteile 50 gebildet im ersten Gelege 30 angeordnet ist. Deswegen stimmt die Form jedes der Abstandsteile 50 im ersten Gelege 30 mit der Form eines Korrespondierenden der zweiten Gelege 40, die dort angeordnet sind, überein. Die zweiten Gelege 40 sind zu einem Teil im Schaufelfuß 11 vorgesehen und sind näher am Basisende 100b als es die Krümmungsteile 111 sind, welche Teile sind, von denen das erste Gelege 30 geneigt auswärts gehend in der X-Richtung beginnt, verglichen mit dem Profil 10, wie dargestellt in **Fig. 2**.

[0036] **Fig. 4** ist eine erläuternde Ansicht, die die Vielzahl von zweiten Gelegen zeigt. Wie hierin dargestellt, ist jedes der zweiten Gelege 40 durch Überlagern zweier oder mehrerer Verbundmaterialschichten 20 in der X-Richtung gebildet. In dem zweiten Gelege 40 ist jede der Verbundmaterialschichten 20 als eine Schicht konfiguriert, die die Verstärkungsfaser 21 und das Harz 22 umfasst, wie es in **Fig. 3** gezeigt ist. Deswegen lässt **Fig. 4** die Darstellung der Verstärkungsfaser 21 und des Harzes 22 enthalten in jeder der Verbundmaterialschichten 20 weg. Jedoch werden Lagenabfälle P, welche Bereiche sind, die nur das Harz 22 enthalten, zwischen Benachbarten der entsprechenden geschlossenen Enden 20a der Verbundmaterialschichten 20 gebildet. Die Anzahl der zweiten Gelege 40, die aufeinandergelegt werden, ist nicht auf das in **Fig. 4** gezeigte Beispiel begrenzt und kann wie gewünscht in Übereinstimmung mit Faktoren bestimmt werden, wie z.

B. die Größe der Verbundschaufel 100, die Dicke jeder der Verbundmaterialschichten 20 und die Anzahl der Abstandsteile 50, die gebildet werden sollen. Jedes der zweiten Gelege 40 ist derart gebildet, dass, während die Verbundmaterialschicht 20 hierin, die näher an der Zentrumsseite in der X-Richtung gebildet ist, um eine kürzere Länge in der Richtung Z zu haben, die Verbundmaterialschicht 20 hierin näher bei jeder der Außenseiten in der X-Richtung angeordnet ist, gebildet ist, um eine längere Länge in der Richtung Z zu haben, wie dargestellt in **Fig. 4**. Weiterhin hat jedes der zweiten Gelege 40 eine konvexe Form in einem Ende 40a dessen, hin zum Außenende 100a (die obere Seite dessen in **Fig. 4**) und hat ein gegenüberliegendes Ende 40b dessen, welches einen Teil des Basisendes 100b der Verbundschaufel 100 bildet.

[0037] Die Vielzahl der zweiten Gelege 40 weist ein Mittelgelege 41 und eine Vielzahl von äußeren Gelegen 42 auf, wie dargestellt in **Fig. 4** und **Fig. 2**. Das Mittelgelege 41 ist im Zentrum der Verbundschaufel 100 in der X-Richtung angeordnet. Das Mittelgelege 41 ist derart angeordnet, dass es die Zentrumlinie L1 in der X-Richtung der Verbundschaufel 100 überlappt. Das Mittelgelege 41 hat die längste Länge in der Richtung Z unter der Vielzahl von zweiten Gelegen 40. Das Mittelgelege 41 hat auch die größte Dicke in der X-Richtung unter einer Vielzahl von zweiten Gelegen 40. Außerdem hat das Mittelgelege 41 eine Form, die sich auswärts in der X-Richtung erstreckt, und sich dann zur Zentrumsseite in der X-Richtung vom Ende 40a zum gegenüberliegenden Ende 40b verengt. Das heißt, dass gesehen aus der Y-Richtung die Querschnittsform der Mittelgelege 41 eine fassähnliche Querschnittsform und symmetrisch um die Zentrumlinie L1 ist.

[0038] Die Außengelege 42 sind näher angeordnet an den korrespondierenden Außenseiten in der X-Richtung als das Mittelgelege 41. In der ersten Ausführungsform sind drei Außengelege 42, die sich jeweils an beiden Seiten der Mittelgelege 41 gegenüberliegen, angeordnet, aber die Anzahl der Außengelege 42 ist nicht hierauf begrenzt. Hier werden diese drei Außengelege 42 als die Außengelege 42A, 42B und 42C in der Reihenfolge von der Außenseite zur Zentrumsseite in der X-Richtung bezeichnet.

[0039] Die Außengelege 42A, 42B und 42C sind derart gebildet, dass sie kürzere Längen in der Richtung Z als das Mittelgelege 41 haben. In anderen Worten, unter der Vielzahl von zweiten Gelegen 40 hat ein zweites Gelege, das näher an der Zentrumsseite ist als an einer Außenseite, in der Dickenrichtung der Schaufel einen größeren Abstand von einer proximalen Stelle zu einer Außenendposition in der Richtung Z und ein Abstandsunterschied zwischen benachbarten zweiten Gelegen ist größer, wenn die

zweiten Gelege in der Dickenrichtung der Schaufel näher an der Zentrumsseite als an der Außenseite sind. Die Außengelege 42A, 42B und 42C sind auch derart gebildet, dass sie kürzere Längen in der Richtung Z zur Außenseite hin in der X-Richtung haben. Die Außengelege 42A, 42B und 42C sind derart gebildet, dass sie größere Dicken in der X-Richtung als das Mittelgelege 41 haben und größere Dicken in der X-Richtung zur Zentrumsseite in der X-Richtung hin. Jedes der Außengelege 42A, 42B und 42C hat eine Form, die vom Ende 40a zum gegenüberliegende Ende 40b gekrümmt ist, mit einer in der X-Richtung auswärts konvexen Kontur. Das heißt, gesehen aus der Richtung Y hat jedes der Außengelege 42A, 42B und 42C eine Querschnittsform gekrümmt in einer Art und Weise, die sich in der X-Richtung ausbaucht.

[0040] Weiterhin sind die Außengelege 42A, 42B und 42C derart gebildet, dass sie kleinere Krümmungsradien r an den gegenüberliegenden Enden 40b zur Zentrumsseite in der X-Richtung haben, wie durch eine unterbrochene Linie angedeutet, die sich vom korrespondierenden gegenüberliegenden Ende 40b in **Fig. 4** aus erstreckt. Das heißt, dass das Außengelege 42, das näher an der Zentrumsseite in der X-Richtung angeordnet ist, schärfer gekrümmt ist. Deswegen ist unter den Verbundmaterialschichten 20 im ersten Gelege 30, die sich auf den Begrenzungsflächen der Außengelege 42 erstrecken, eine, die in der X-Richtung näher bei der Zentrumsseite ist auch schärfer gekrümmt.

[0041] Bei der Vielzahl von zweiten Gelegen 40, die derart konfiguriert sind, wie angezeigt durch die unterbrochenen Linien in **Fig. 2**, erstrecken sich Linien L2, die korrespondierende Enden 40a dieser, die dem Außenende 100a gegenüberliegen, verbinden, zum Außenende 100a (aufwärts in der Zeichnung), während sie von den korrespondierenden Außenseiten zur Zentrumsseite in der X-Richtung verlaufen. Das heißt, jede der Linien L2 hat in einem Querschnitt gesehen aus der Richtung Y, eine Hügelform. In der ersten Ausführungsform ist die Linie L2 in einer Art und Weise von der korrespondierenden Außenseite zur Zentrumsseite in der X-Richtung auf einem Pfad gekrümmt gebildet, der konvex weg von dem Profil 10 ist. In anderen Worten, die Linie L2 erstreckt sich auf einem Pfad, der näher am Basisende 100b läuft, als eine gerade Linie L3, die das Ende 40a des korrespondierenden Außengeleges 42A, angeordnet am weitesten an der Außenseite in der X-Richtung, und das Ende 40a der Mittelgeleges 41, angeordnet am nächsten zur Zentrumsseite in der X-Richtung verbindet.

[0042] Der Ablauf eines Herstellungsverfahrens für eine Verbundschaufel gemäß der ersten Ausführungsform wird als nächstes beschrieben werden. **Fig. 5** und **Fig. 6** sind erläuternde Ansichten, die

den Ablauf des Herstellungsverfahrens für eine Verbundschaufel gemäß der ersten Ausführungsform zeigen. Der Ablauf des Herstellungsverfahrens der Verbundschaufel gemäß der ersten Ausführungsform weist einen Erstgelege-Bildungsschritt S1, einen Zweitgelege-Bildungsschritt S2, einen Formsetzschrift S3 und einen Härteschritt S4 auf.

[0043] Der Ablauf des Herstellungsverfahrens für eine Verbundschaufel gemäß der ersten Ausführungsform weist am Beginn ein wiederholtes Durchführen des Erstgelege-Bildungsschrittes S1 und des Zweitgelege-Bildungsschrittes S2 auf, um separat entsprechende Hälften der Verbundschaufel 100 zu bilden, welche Gelege 100A und 100B sind (siehe **Fig. 6**). Die folgende Beschreibung bezieht sich auf den Erstgelege-Bildungsschritt S1 und den Zweitgelege-Bildungsschritt S2, die zum n-ten Mal durchgeführt werden, als der Erstgelege-Bildungsschritt S1n und der Zweitgelege-Bildungsschritt S2n. Die folgende Beschreibung bezieht sich auch auf die Verbundmaterialschichten 20, die beim zum n-ten Mal ausgeführten Erstgelege-Bildungsschritt S1n aufeinandergelegt werden, als Verbundmaterialschichten 20n. Beim Erstgelege-Bildungsschritt S1n und beim Zweitgelege-Bildungsschritt S2n ist das Harz 22 der Verbundmaterialschichten 20 noch nicht ausgehärtet, das heißt, sie befinden sich in einem „Prepreg“-Zustand.

[0044] Der Erstgelege-Bildungsschritt S1 ist ein Schritt des Bildens eines Teils des ersten Geleges 30 durch Überlagern der Verbundmaterialschichten 20 auf einer Stelle, an der ein Korrespondierendes der oben beschriebenen Abstandsteile 50 in jedem Schritt eines schrittweisen Ablaufs gebildet ist. Insbesondere werden zuerst beim Erstgelege-Bildungsschritt S1, der zum ersten Mal ausgeführt werden muss, die Vielzahl von Verbundmaterialschichten 201 auf eine Basis 1, wie dargestellt in **Fig. 5**, auflegt.

[0045] Darauffolgend wird der Zweitgelege-Bildungsschritt S21 als ein solcher Schritt durchgeführt, der zum ersten Mal durchgeführt werden soll. Der Zweitgelege-Bildungsschritt S2 ist ein Schritt des Überlagerns von Verbundmaterialschichten 20 zum Bilden der korrespondierenden zweiten Gelege 40 jedes Mal, wenn der Erstgelege-Bildungsschritt S1 durchgeführt wird, auf den Verbundmaterialschichten 20, die beim Erstgelege-Bildungsschritt S1 aufeinandergelegt werden, der unmittelbar zuvor ausgeführt wurde. Beim Zweitgelege-Bildungsschritt S21, der zum ersten Mal ausgeführt werden soll, wird das Außengelege 42A, des am nächsten zur Außenseite in der X-Richtung angeordnet werden muss, auf den Verbundmaterialschichten 201, die auf der Basis 1 aufgelegt wurden, aufgelegt, wie dargestellt in **Fig. 5**. In den Außengelegen 42 hat die Verbundmaterialschicht 20, die näher bei der Außenseite in der X-Richtung angeordnet ist, eine größere Länge in der

Richtung Z, wie dargestellt in **Fig. 4**. Deswegen können, jedes Mal wenn der Zweitgelege-Bildungsschritt S2n durchgeführt wird, die Verbundmaterialschichten 20 in absteigender Ordnung der Längen in der Richtung Z aufgelegt werden.

[0046] Daraufhin wird der Erstgelege-Bildungsschritt S12 als ein solcher Schritt durchgeführt, der das zweite Mal durchgeführt werden muss. Beim Erstgelege-Bildungsschritt S12, der zum zweiten Mal durchgeführt werden muss, werden die Verbundmaterialschichten 202 neuerlich auf die Verbundmaterialschichten 201 und das Außengelege 42A aufgelegt, wie dargestellt in **Fig. 5**. Darüber hinaus wird der Zweitgelege-Bildungsschritt S22 als ein solcher Schritt durchgeführt, der zum zweiten Mal ausgeführt werden muss. Bei dem Zweitgelege-Bildungsschritt S22, der zum zweiten Mal durchgeführt wird, wird das Außengelege 42B, das am zweitdichsten an der Außenseite in der X-Richtung angeordnet werden soll, auf die Verbundmaterialschichten 202, wie dargestellt in **Fig. 5**, aufgelegt.

[0047] Diese Schritte werden wiederholt, so dass die Verbundmaterialschichten 20, die das erste Gelege 30 sind und die Außengelege 42, die die zweiten Gelege 40 sind, nacheinander aufeinandergelegt werden. Als ein Ergebnis werden die Verbundmaterialschichten 201, 202, 203 und 204, die das erste Gelege 30 bilden, und Außengelege 42A, 42B und 42C aufeinandergelegt, wie dargestellt in **Fig. 6**. Danach werden bei dem Zweitgelege-Bildungsschritt S24, der als letztes ausgeführt wird (zum vierten Mal in der vorliegenden Ausführungsform), Schichten, die mit der Hälfte des Mittelgeleges 41 korrespondieren, auf die Verbundmaterialschichten 204 aufgelegt. Das Gelege 100A wird deswegen korrespondierend zur Hälfte der Verbundschaufel 100 in der X-Richtung gebildet. Im Folgenden wird das Gelege 100B korrespondierend zur Hälfte der Verbundschaufel 100 in der X-Richtung in der gleichen Art und Weise gebildet.

[0048] Im Folgenden werden, wie dargestellt in **Fig. 6**, das Gelege 100A und das Gelege 100B, welche Hälften der Verbundschaufel 100 sind, die einzeln gebildet sind, beim Formsetzschrift S3. Nach der Vervollständigung des Formsetzschriftes S3 wird der Härteschritt S4 durchgeführt. Der Härteschritt S4 ist ein Schritt des Bildens der Form der Verbundschaufel 100 durch Härten des Harzes 22, welches noch nicht in dem Gelege 100A und dem Gelege 100B gehärtet ist, deren entsprechende Formen übereinstimmend gemacht wurden. Beim Härteschritt S4 wird das Harz 22 gehärtet, zum Beispiel in einer Art und Weise, dass die Verbundschaufel 100 in einem ungehärteten Zustand mit einem Einpackmaterial 110 bedeckt wird, welches einem Vakuum ausgesetzt wird und dann in einem Autoklaven unter Druck gesetzt und beheizt wird. Dies komplet-

tiert die Herstellung der Verbundschaufel 100. Beim Härteschritt S4 ist ein anwendbares Verfahren nicht auf dieses begrenzt und irgendein Verfahren, welches ein Härten des Harzes 22 und eine Bildung eines gehärteten Körpers der Verbundschaufel 100 ermöglicht, kann angewandt werden.

[0049] Wie oben beschrieben, sind gemäß der Verbundschaufel 100 und dem Herstellungsverfahren für eine Verbundschaufel gemäß der ersten Ausführungsform die entsprechenden zweiten Gelege 40 in den Abstandsteilen 50 im ersten Gelege 30 im Schaufelfuß 11 angeordnet. Sogar mit dem Schaufelfuß 11, der sich auswärts in der X-Richtung (Dickenrichtung der Schaufel) erstreckt, kann diese Konfiguration Bereiche minimieren, die keine Verstärkungsfaser 21 enthalten, wobei die Festigkeit des Schaufelfußes 11 verbessert werden kann.

[0050] **Fig. 7** ist eine erläuternde Ansicht, die ein Beispiel eines Analyseergebnisses der Verteilung der Von-Mises-Spannung erzeugt in der Verbundschaufel gemäß der ersten Ausführungsform zeigt und **Fig. 8** ist eine erläuternde Ansicht, die ein Beispiel des Analyseergebnisses der Verteilung der Zwischenschicht-Scherspannung erzeugt zwischen benachbarten Verbundmaterialschichten in der Verbundschaufel gemäß der ersten Ausführungsform zeigt. **Fig. 7** und **Fig. 8** sind Ergebnisse erhalten durch Analyse mit Modellen der Verbundschaufel 100, wobei die Spannungsverteilung mit der Zentrifugalkraft F wirkend in der Richtung Z, unter einer Bedingung, dass der Schaufelfuß 11 sicher durch die Nut 2A der Turbinenscheibe 2 gehalten wird, beobachtet wurde. Mit der Zentrifugalkraft F, die in dem Modell für die Verbundschaufel 100 wirkt, steigen die Von-Mises-Spannung und die Zwischenschicht-Scherspannung in den Nachbarschaften der Krümmungsteile 111 in Teilen, die relativ nahe bei jeder der Oberfläche 100c des Schaufelfußes 11 sind.

[0051] In der Verbundschaufel 100 werden Linien L2, die die korrespondierenden Enden 40a der korrespondierenden zweiten Gelege 40, die dem Außenende 100a gegenüberliegen, derart gebildet, dass sie sich zum Außenende 100a erstrecken, während sie von den korrespondierenden Außenseiten zur Zentrumsseite in der X-Richtung verlaufen. Das heißt, das Gelege 40, das näher bei jeder der Außenseiten in der X-Richtung angeordnet ist, ist kürzer. In anderen Worten, unter der Vielzahl von zweiten Gelegen 40 hat ein zweites Gelege, welches in der Dickenrichtung der Schaufel näher bei einer Zentrumsseite als bei einer Außenseite ist, einen größeren Abstand von einer proximale Stelle zu einer Außenendposition in der Richtung Z und ein Abstandsunterschied zwischen benachbarten zweiten Gelegen ist größer, wenn die zweiten Gelege näher bei der Zentrumsseite sind als bei der Außenseite in der Dickenrichtung der Schaufel. Deswegen

können die individuellen zweiten Gelege 40 entfernt von Bereichen, in denen besonders hohe Von-Mises-Spannungen und Zwischenschicht-Scherspannungen auftreten können, angeordnet werden, das heißt, die Nachbarschaften der Krümmungsteile 111 der Oberfläche 100c des Schaufelfußes 11. Als ein Ergebnis wird eine Spannung, erzeugt an Lagenabfällen P (siehe Fig. 4), in jedem der zweiten Gelege 40 vermindert, was es weniger wahrscheinlich macht, dass eine Beschädigung, die von den Lagenabfällen P herrührt, auftritt. Deswegen kann die Verbundschaukel 100 und das Herstellungsverfahren für eine Verbundschaukel gemäß der ersten Ausführungsform die Festigkeit des Schaufelfußes 11 daran hindern, abzunehmen.

[0052] Jede der Linien L2 ist auf einem Pfad gekrümmt, der zum Basisende 100b in einem Bereich von der korrespondierenden Außenseite zur Zentrumsseite in der X-Richtung konvex ist.

[0053] Bei dieser Konfiguration können die individuellen zweiten Gelege 40 weiter weg von Bereichen angeordnet werden, in denen besonders hohe Von-Mises-Spannungen und Zwischenschicht-Scherspannungen wahrscheinlich aufzutreten, das heißt, von den Nachbarschaften der Krümmungsteile 111 im Schaufelfuß 11.

[0054] Unter einer Vielzahl von zweiten Gelegen 40 hat eines, das näher an der Zentrumsseite in der X-Richtung angeordnet ist, eine größere Dicke in der X-Richtung (Dickenrichtung der Schaukel) als ein anderes, das näher bei einer der Außenseiten in der X-Richtung angeordnet ist.

[0055] Bei dieser Konfiguration können die Verbundmaterialschichten 20 des ersten Geleges 30 nach außen in einem hohen Maße in der X-Richtung zurückgenommen werden, entlang der entsprechenden Raumform der zweiten Gelege 40, unter denen eines, das näher angeordnet ist an der Zentrumsseite in der X-Richtung, derart geformt ist, dass es größer und dicker ist. Wenn die Zentrifugalkraft F auf die Verbundschaukel 100 einwirkt, unterstützt der Schaufelfuß 11 die Verbundschaukel 100 gegen die Zentrifugalkraft F mittels Oberflächenzugkraft, die auf den Oberflächen 100c der Nut 2A der Turbinenscheibe 2 aufgenommen wird und mit Zwischenschicht-Scherbelastungen, die zwischen den Verbundmaterialschichten 20 wirken. Unter dieser Bedingung kann mit einem größeren Abfallwinkel der Oberfläche 100c des Schaufelfußes 11 die größere Oberflächenzugkraft von der Nut 2A aufgenommen werden und zur gleichen Zeit können Komponentenkräfte aufgrund der Zwischenschicht-Scherbelastungen kleiner sein. Deswegen reduziert die Verbundschaukel 100 die Zwischenschicht-Scherbelastungen, die zwischen den Verbundmaterialschichten 20 wirken und kann deswegen weiter

das Risiko des Auftretens einer Beschädigung zwischen den Verbundmaterialschichten 20 reduzieren.

[0056] Außerdem weisen die zweiten Gelege 40 das Mittelgelege 41 auf, das im Zentrum dieser in der X-Richtung angeordnet und derart gebildet ist, dass es sich auswärts von dem Ende 40a in der X-Richtung erstreckt und einwärts zum gegenüberliegenden Ende 40b in der X-Richtung.

[0057] Bei dieser Konfiguration haben Teile des ersten Geleges 30, die sich auf der Begrenzungsfläche des Mittelgeleges 41 erstrecken, auf einer Seite des ersten Geleges 30 zu den gegenüberliegenden Enden 40b hin, Raumformen, die sich zur Zentrumsseite in der X-Richtung erstrecken. Deswegen wirkt auf einer Seite des ersten Geleges 30 und des Mittelgeleges 41 zu den gegenüberliegenden Enden 40b hin die Kraft f (siehe Fig. 2) in einer Richtung, die das Mittelgelege 41 verdichtet, auf das Mittelgelege 31 von den Teilen des ersten Geleges 30, die sich in der Peripherie hiervon erstrecken. Als Ergebnis tritt eine Zwischenschicht-Scherspannung an den Zwischenflächen zwischen den obigen Teilen des Mittelgeleges 41 und des ersten Geleges 30 auf und die Zwischenschicht-Scherspannung wirkt auf einer Seite zu den Enden 40a und auf den anderen Seiten zu den gegenüberliegenden Enden 40b in entgegengesetzten Richtungen, wobei das Mittelgelege 41 Kraft aufnimmt, die das Mittelgelege 41 zu dem Außenende 100a drückt (aufwärts in der Zeichnung). Das Mittelgelege 41 kann deswegen durch die Teile des ersten Geleges 30, die auf der Begrenzungsfläche dieses sind, gehalten werden, und das Mittelgelege 41 kann daran gehindert werden, sich vom Schaufelfuß 11 abzutrennen, sogar wenn eine Beschädigung an der Grenze zwischen dem Mittelgelege 41 und dem ersten Gelege 30 auftritt.

[0058] Darüber hinaus weisen die zweiten Gelege 40 die Vielzahl von äußeren Gelegen 42 auf, die in der X-Richtung näher bei der Außenseite als das Mittelgelege 41 angeordnet sind. Die Vielzahl von äußeren Gelegen 42 sind von den entsprechenden Enden 40a dieser zu den entsprechenden gegenüberliegenden Enden 40b dieser gekrümmt, mit entsprechenden konvexen Konturen in der X-Richtung auswärts und das Außengelege 42, das in der X-Richtung näher bei der Zentrumsseite angeordnet ist, hat einen kleineren Krümmungsradius r an dem gegenüberliegenden Ende 40b dieser als das Außengelege 42, das in der X-Richtung näher an der Außenseite angeordnet ist.

[0059] Bei dieser Konfiguration sind Teile des ersten Geleges 30, die sich auf der Begrenzungsfläche jedes der Außengelege 42 erstrecken, auch mit Konturen konvex auswärts in der X-Richtung gekrümmt und ein Teil des ersten Geleges 30, das in der X-Richtung näher bei der Zentrumsseite angeordnet

ist, hat einen Krümmungsradius r (ist schärfer gekrümmt). Als ein Ergebnis sind die Teile des ersten Geleges 30, die auf den Begrenzungsflächen des Mittelgeleges 41 angeordnet sind, am schärfsten gekrümmt, wobei das Verhältnis der maximalen Dicke B_{\max} (siehe **Fig. 4**) des Mittelgeleges 41 zur minimalen Dicke B_{\min} (siehe **Fig. 4**) dessen entlang des gegenüberliegenden Endes 40b relativ groß gemacht werden kann. Deswegen ist das Mittelgelege 41 günstiger gehalten durch die Teile des ersten Geleges 30, die auf deren Begrenzungsfläche sind, wobei das Mittelgelege 41 in günstigerer Art und Weise davon abgehalten werden kann, sich von der Schaufelfuß 11 zu trennen.

[0060] Eine Verbundschaufoel 200 gemäß einer zweiten Ausführungsform wird als nächstes beschrieben. Während **Fig. 9** eine Schnittansicht der Verbundschaufoel gemäß der zweiten Ausführungsform gesehen aus der Richtung Y ist, ist **Fig. 10** eine vergrößerte Schnittansicht des Hauptteiles der Verbundschaufoel gemäß der zweiten Ausführungsform. Die Verbundschaufoel 200 weist weiterhin eine Schaumschicht 60 zusätzlich zu den Komponenten der Verbundschaufoel 100 gemäß der ersten Ausführungsform auf. Die Verbundschaufoel 200 weist ein erstes Gelege 70 an der Stelle des ersten Geleges 30 der Verbundschaufoel 100 auf. Die anderen Komponenten der Verbundschaufoel 200 sind ungeändert gegenüber der Verbundschaufoel 100 und die Beschreibungen dieser werden deswegen weggelassen, zusammen mit den gleichen Bezugszeichen, die hierfür verwendet werden.

(Schaumschicht 60)

[0061] Die Schaumschicht 60 ist eine Schicht, die aus einem Schaumharz gebildet ist. Die Schaumschicht 60 wird durch Platzieren eines Schaumharzes auf einer Deckschicht 711, die später beschrieben werden wird, des ersten Geleges 70 und dann durch Härten des Schaumharzes gebildet. Die Schaumschicht 60 ist im Zentrum des Profils 10 in der X-Richtung angeordnet. Die Schaumschicht 60 ist an einer Stelle angeordnet, die die Zentrumlinie L1 der Verbundschaufoel 200 überlappt. Die Schaumschicht 60 hat einen Teil, der sich in den Schaufelfuß 11 hinein erstreckt.

[0062] Die Schaumschicht 60 ist derart gebildet, dass ein Endteil 60a hiervon im Schaufelfuß 11 eine Keilform hat, die sich in der X-Richtung zum Basisende 100b entlang eines Verlaufes des Endteils 60a von jeder der Außenseiten zur Zentrumsseite erstreckt. Das heißt, das Endteil 60a der Schaumschicht 60 ist in einer rechteckigen Form gebildet, die konvex hin zum Basisende 100b ist, wie dargestellt in den **Fig. 9** und **10**. Ein Neigungswinkel α des Endteils 60a zur Zentrumlinie L1 wird entsprechend der Stelle des oberen Endes des Endteils 60a und

den Abmessungen (der Länge in der Richtung Z und der Dicke) des Endteils 60a bestimmt. Der Neigungswinkel α ist bevorzugt auf zum Beispiel ca. 30° festgesetzt.

[0063] Die Schaumschicht 60 hat das Endteil 60a in einem Bereich H1 vorgesehen, wie dargestellt in **Fig. 9**. Hier ist die **Fig. 11** eine erläuternde Ansicht, die ein Beispiel des Analyseergebnisses bezüglich der Spannungsverteilung erzeugt in der Verbundschaufoel, gemäß der zweiten Ausführungsform zeigt. **Fig. 11** ist ein Ergebnis der Spannungsverteilung erhalten durch Analyse mit einem Modell für die Verbundschaufoel 200 beobachtet bei der Zentrifugalkraft F in der Richtung Z, die einwirkt, bei einer Bedingung, dass der Schaufelfußes 11 sicher durch die Nut 2A der Turbinenscheibe 2 gehalten wird. Das Analyseergebnis dargestellt in **Fig. 11** zeigt, dass in dem Bereich H1 eine Zugspannung zwischen den Verbundmaterialschichten 20 wirkt. Zur gleichen Zeit wird ein Bereich H2, der näher am Basisende 100b als es der Bereich H1 ist, angeordnet ist, als ein Bereich erkannt, in dem eine Druckspannung zwischen den Verbundmaterialschichten 20 wirkt. Wie hier erkennbar ist, ist in der zweiten Ausführungsform das Endteil 60a der Schaumschicht 60 in dem Bereich H1 angeordnet, in dem eine Zugspannung zwischen den Verbundmaterialschichten 20 wirkt. Das Endteil 60a der Schaumschicht 60 kann an irgendeiner Stelle im Bereich H1 vorgesehen sein, ist aber bevorzugt in der Nachbarschaft des unteren Endes des Bereichs H1 im Sinne des Reduzierens des Gewichts der Verbundschaufoel 200 vorgesehen.

[0064] Das erste Gelege 70 weist Mittelschichten 71, die sich vom Endteil 60a der Schaumschicht 60 zum Basisende 100b im Schaufelfuß 11 erstrecken, auf. In **Fig. 9** korrespondiert ein Bereich, der im ersten Gelege 70 mit schraffierten Linien schattiert ist, mit der Mittelschicht 71. Die anderen Konfigurationen der ersten Gelege 70 sind ungeändert gegenüber dem ersten Gelege 30 und Beschreibungen werden deswegen weggelassen.

[0065] Die Mittelschichten 71 weisen Deckschichten 711 und eine Vielzahl von äußeren Schichten 712 auf. Die Deckschichten 711 sind Schichten, die in der X-Richtung am nächsten zur Zentrumsseite unter den Verbundmaterialschicht 20 umfasst in den Mittelschichten 71 angeordnet sind. Die Deckschichten 711 sind, wie dargestellt in **Fig. 9** und **Fig. 10**, Schichten, die sich auf der Begrenzungsfläche der Schaumschicht 60 erstrecken und sind auch Schichten, die sich vom Basisende 100b in das Profil 10 hinein erstrecken. Die Deckschichten 711 sind derart gebildet, dass sie eine Seite der Schaumschicht 60, die dem Basisende 100b gegenüberliegt, bedecken. Die äußeren Schichten 712 sind benachbart zu den Deckschichten 711 und weisen eine Vielzahl von

Schichten (drei Schichten in der zweiten Ausführungsform) aufeinandergelegt auf jede der Außenseiten der Deckschichten 711 in der X-Richtung auf. Die äußeren Schichten 712 erstrecken sich von dem Basisende 100b zu Stellen, an denen die entsprechenden äußeren Schichten 712 die Deckschicht 711 erreichen, wie dargestellt in **Fig. 9**. Insbesondere haben die äußeren Schichten 712 entsprechende geschlossene Enden 712a, wobei jede gegen ein geneigtes Teil 711a der korrespondierenden Deckschicht 711 gesetzt ist, wobei sich das geneigte Teil 711a entlang des Endteils 60a der Schaumschicht 60, wie dargestellt in **Fig. 10**, erstreckt. Somit werden die entsprechenden geschlossenen Enden 712a der äußeren Schichten 712 wegen der Anwesenheit der Deckschichten 711 davon abgehalten, einen direkten Kontakt mit dem Endteil 60a der Schaumschicht 60 zu haben.

[0066] Um die Verbundschaufel 200 herzustellen, die wie oben beschrieben konfiguriert ist, wird ein Gelege, das das erste Gelege 70 hat, mit Ausnahme der Schaumschicht 60, und die zweiten Gelege 40, die hierin aufeinandergelegt werden, gemäß dem Vorgang gezeigt in **Fig. 5** und **Fig. 6**. Danach wird Schaumharz auf den Deckschichten 711 platziert und thermisch gehärtet, so dass die Schaumschicht 60 gebildet ist. Wenn die Schaumschicht 60 so gebildet ist, können Teile des ersten Geleges 70, die sich auf der Begrenzungsfläche des Endteils 60a befinden, welche eine Keilform hat, in einem weiten Bereich in dem Vorgang des Wärmens und Härtens des Schaumharzes gepresst werden, wie schematisch angedeutet durch die umrissenen Pfeile in **Fig. 9**. Als ein Ergebnis wird die Erzeugung von Fehlstellen im ersten Gelege 70 in der Nachbarschaft des Profilendes 10a vermieden, welches ein Fußteil des Profils 10 ist, wobei das Fußteil mit dem Schaufelfuß 11 verbunden ist. Deswegen können die Festigkeit des Profils 10 und des Schaufelfußes 11 erhöht werden.

[0067] Das Endteil 60a hat eine Keilform, was es der Schaumschicht 60 erlaubt, die Mittelschichten 71 zu drücken, und folglich sind die äußeren Schichten 712, die am weitesten außen in der X-Richtung unter den Mittelschichten 71 angeordnet sind, eng und starr mit den Verbundmaterialsichten 20i (siehe **Fig. 10**) benachbart zu diesen äußeren Schichten 712 angebunden. Als ein Ergebnis, wenn die Zentrifugalkraft F auf die Verbundschaufel 200 wirkt, wird Kraft stabil zwischen den Verbundmaterialsichten 20i und den Mittelschichten 71 übertragen und die Mittelschichten 71 und die zweiten Gelege 40, die sich auf der Begrenzungsfläche der Mittelschichten 71 erstrecken, können in günstiger Art und Weise mit der Zentrifugalkraft F belastet werden. Weiterhin hat das Endteil 60a eine Form (eine Keilform), so dass die Grenzoberflächen zwischen der Schaumschicht 60 und der Mittelschicht 71 sich

graduell ändern, was es erlaubt, eine Spannungskonzentration der Oberfläche zwischen der Schaumschicht 60 und der Mittelschicht 71 zu verhindern, wenn die Zentrifugalkraft F auf die Verbundschaufel 200 einwirkt. Als Ergebnis kann das Risiko des Auftretens einer Beschädigung auf den Grenzoberflächen reduziert werden.

[0068] Die Schaumschicht 60 hat das Endteil 60a dieser in einem Bereich H1 vorgesehen, in dem die Zugspannung zwischen den Verbundmaterialsichten 20 wirkt.

[0069] Bei dieser Konfiguration kann die Schaumschicht 60 davon abgehalten werden, mit einer Drucklast, die auf die Schaumschicht 60 einwirkt, zerdrückt zu werden.

[0070] Weiterhin sind die Mittelschichten 71, die die Verbundmaterialsichten 20 sind, die als am nächsten zur Zentrumsseite in der X-Richtung (Dickenrichtung der Schaufel) angeordnet sind, die Deckschichten 711, die sich in das Profil 10 erstrecken, während sie sich auf der Begrenzungsfläche der Schaumschicht 60 erstrecken.

[0071] Bei dieser Konfiguration können die geschlossenen Enden 712a der äußeren Schichten 712 (Verbundmaterialsichten 20), die sich auf den Außenseiten der Deckschichten 711 der Mittelschichten 71 erstrecken, fern von Kontakt mit dem Endteil 60a der Schaumschicht 60 gehalten werden. Als Ergebnis kann, wenn die Schaumschicht 60 gebildet wird, das Schaumharz einen Defekt, wie z. B. dass Benachbarte der geschlossenen Enden 712a der äußeren Schicht 712 unter den Mittelschichten 71 voneinander getrennt werden, verhindern. Wenn die Schaumschicht 60 gebildet ist, macht es diese Konfiguration ebenfalls möglich, die Raumformen der Grenzoberflächen von und zwischen der Schaumschicht 60 und der Mittelschichten 71 zu stabilisieren, weil die entsprechenden geschlossenen Enden 712a der äußeren Schichten 712 (die anderen Verbundmaterialsichten 20) anders als die Deckschichten 711 unter den Mittelschichten 71 durch die Deckschichten 711 gedrückt werden.

[0072] In der ersten Ausführungsform und der zweiten Ausführungsform ist die Linie L2, die die entsprechenden Enden 40a der zweiten Gelege 40 verbindet, mit einer Kontur konvex zum Basisende 100b hin, von jeder der Außenseiten zur Zentrumsseite in der X-Richtung gekrümmt. Jedoch kann die Linie L2 linear sein. Das heißt, die Linie L2 kann mit der geraden Linie L3 in **Fig. 2** zusammenfallen.

[0073] In der ersten Ausführungsform und der zweiten Ausführungsform sind die zweiten Gelege 40 zur Zentrumsseite hin in der X-Richtung dicker ausgebil-

det. Jedoch können die zweiten Gelege 40 in gleichmäßiger Dicke ausgebildet sein oder können derart gebildet sein, dass sie zu jeder der Außenseiten in der X-Richtung hin dicker werden.

[0074] In der ersten Ausführungsform und in der zweiten Ausführungsform ist das Mittelgelege 41 unter den zweiten Gelegen 40 derart konfiguriert, dass es gesehen aus der Richtung Y eine fassartige Querschnittsform hat. Jedoch ist das Mittelgelege 41 nicht auf diese Raumform begrenzt. Das Mittelgelege 41 kann gesehen aus der Richtung Y zum Beispiel eine rechteckige Querschnittsraumform haben.

[0075] In der ersten Ausführungsform und der zweiten Ausführungsform ist jedes der Außengelege 42 unter den zweiten Gelegen 40 derart konfiguriert, dass sie eine Querschnittsform haben, die gekrümmt ist in einer Art und Weise, dass sie sich in Richtung X gesehen zu den korrespondierenden Außenseiten aus der Richtung Y ausbauchen. Jedoch sind die Außengelege 42 nicht auf diese Raumform begrenzt. Jedes der Außengelege 42 kann gesehen aus der Richtung Y zum Beispiel eine rechteckige Querschnittsraumform haben.

[0076] In der ersten Ausführungsform und der zweiten Ausführungsform sind die zweiten Gelege 40 derart konfiguriert, dass während die Verbundmaterialschicht 20 hierin, die in der X-Richtung näher bei der Zentrumsseite angeordnet ist, eine kürzere Länge in der Richtung Z hat, die Verbundmaterialschicht 20 die in der X-Richtung näher zu einer der Außenseiten angeordnet ist, eine längere Länge in der Richtung Z hat, wie dargestellt in **Fig. 4**. Jedoch können die zweiten Gelege 40 derart geformt sein, dass während die Verbundmaterialschichten 20 hierin in der Richtung Z zur Zentrumsseite in der X-Richtung kürzere Längen haben, die Verbundmaterialschichten 20 längere Längen in der Richtung Z zu jeder der Außenseiten in der X-Richtung haben.

[0077] In der zweiten Ausführungsform ist das Endteil 60a der Schaumschicht 60 innerhalb des Bereichs H1, in der Zugspannung zwischen den Verbundmaterialschichten 20 wirkt, vorgesehen. Wenn es keine Möglichkeit gibt, dass die Schaumschicht 60 zerdrückt wird, kann jedoch das Endteil 60a innerhalb des Bereichs H2, in dem Druckspannung zwischen den Verbundmaterialschichten 20 herrscht, vorgesehen sein.

[0078] In der zweiten Ausführungsform weisen die Mittelschichten 71 im ersten Gelege 70 die Deckschichten 711 auf. Jedoch kann die Deckschicht 711 weggelassen werden.

Bezugszeichenliste

1

BASIS

2	TURBINEN-SCHEIBE
2A	NUT
10	PROFIL
10A	PROFILENDE
11	SCHAUFELFUß
20, 201, 202, 203, 204	VERBUNDMATERIALSCHICHT
20a	GESCHLOSSENES ENDE
21	VERSTÄRKUNGSFASER
22	HARZ
30	ERSTES GELEGE
40	ZWEITES GELEGE
40a	ENDE
40b	GEGENÜBERLIEGENDES ENDE
41	MITTELGELEGE
42,	42A, 42B, 42C AUßENGELEGE
50	ABSTANDSTEIL/ABSTANDSHALTERTEIL
60	SCHAUMSCHICHT
60a	ENDTEIL
70	ERSTES GELEGE
71	MITTELSCHICHT
711	DECKSCHICHT
711a	GENEIGTES TEIL
712	ÄUSSERE SCHICHT
712a	GESCHLOSSENES ENDE
100, 200	VERBUNDSCHAUFEL
100A, 100B	LAGE
100a	AUSSENENDE
100b	BASISENDE
100c	OBERFLÄCHE
110	EINPACKMATERIAL
111	KRÜMMUNGSTEIL
F	ZENTRIFUGALKRAFT

f	KRAFT
H1, H2	BEREICH
L1	MITTELLINIE
L2	LINIE
L3	GERADE LINIE
P	LAGENABFALL (engl.: „ply drop“)

Patentansprüche

1. Eine Verbundschaufel (100;200), gebildet durch Überlagern von Verbundmaterialschichten (20), in denen Verstärkungsfasern (21) mit Harz (22) imprägniert sind, in einer Dickenrichtung (X) der Verbundschaufel (100;200), wobei die Verbundschaufel (100;200) einen auf einer Seite eines Basisendes (100b) vorgesehenen Schaufelfuss (11) und ein auf einer Seite eines Außenendes (100a) vorgesehenes Profil (10) aufweist, wobei die Verbundschaufel (100;200) umfasst:

ein erstes Gelege (30;70), eingerichtet als ein Gelege, in dem einige der Verbundmaterialschichten (20) aufeinandergelegt sind, wobei das erste Gelege (30;70) in dem Schaufelfuss (11) derart vorgesehen ist, dass Teile der Verbundmaterialschichten (20) von der Seite des Basisendes (100b) her beginnend beabstandet voneinander sind, um eine Vielzahl von Abstandsteilen (50) zu bilden und dies derart, dass sie sich von der Seite des Außenendes (100a) zur Seite des Basisendes (100b) in der Dickenrichtung (X) der Verbundschaufel (100;200) erstrecken, und

eine Vielzahl von zweiten Gelegen (40), die als ein Gelege konfiguriert sind, in dem einige der Verbundmaterialschichten (20) aufeinandergelegt oder überlagert sind, wobei die zweiten Gelege (40) in den Abstandsteilen (50) des ersten Geleges (30;70) in dem Schaufelfuss (11) derart vorgesehen sind, dass sie in der Dickenrichtung (X) der Verbundschaufel (100;200) ausgerichtet sind, wobei

jedes der zweiten Gelege (40) ein erstes Ende (40a) und ein in einer Längsrichtung (Z) der Verbundschaufel (100;200) gegenüberliegendes zweites Ende (40b) aufweist, wobei das gegenüberliegende zweite Ende (40b) jedes zweiten Geleges (40) an der Seite des Basisendes (100b) angeordnet ist, die zweiten Gelege (40) ein Mittelgelege (41) umfassen, das in der Dickenrichtung (X) der Verbundschaufel (100;200) im Zentrum angeordnet ist, und die zweiten Gelege (40) eine Vielzahl von Außengelegen (42) aufweisen, die in der Dickenrichtung (X) der Verbundschaufel (100;200) näher an der Außenseite als das Mittelgelege (41) angeordnet sind,

dadurch gekennzeichnet, dass

unter der Vielzahl von zweiten Gelegen (40) ein zweites Gelege (40) in der Dickenrichtung (X) der Verbundschaufel (100;200) näher bei der Zentrumsseite als das andere zweite Gelege (40) oder die

anderen zweiten Gelege (40) sich über einen größeren Abstand von dem zweiten gegenüberliegenden Ende (40b) davon zu dem ersten Ende (40a) davon erstreckt,

das Mittelgelege (41) derart gebildet ist, dass es sich von dem ersten Ende (40a) davon in der Dickenrichtung (X) der Verbundschaufel (100;200) auswärts und dann einwärts in der Dickenrichtung (X) der Verbundschaufel (100;200) zu dem zweiten gegenüberliegenden Ende (40b) davon erstreckt, jedes der Vielzahl von Außengelegen (42) von dem ersten Ende (40a) davon zu dem zweiten gegenüberliegenden Ende (40b) davon gekrümmt ist, derart, dass es in der Dickenrichtung (X) der Verbundschaufel (100;200) konvex nach außen ist, und unter der Vielzahl von Außengelegen (42), ein Außengelege (42), das in der Dickenrichtung (X) der Verbundschaufel (100;200) näher an der Zentrumsseite angeordnet ist, einen kleineren Krümmungsradius an dem zweiten gegenüberliegenden Ende (40b) davon hat als ein Außengelege (42), das in der Dickenrichtung (X) der Verbundschaufel (100;200) näher an der Außenseite angeordnet ist.

2. Die Verbundschaufel (100;200) nach Anspruch 1, wobei ein Unterschied des Abstands von dem zweiten gegenüberliegenden Ende (40b) zu dem ersten Ende (40a) zwischen benachbarten zweiten Gelegen (40) größer ist, wenn die zweiten Gelege (40) in der Dickenrichtung (X) der Verbundschaufel (100;200) näher an der Zentrumsseite als an der Außenseite sind.

3. Die Verbundschaufel (100;200) nach Anspruch 1 oder 2, wobei aus der Vielzahl von zweiten Gelegen (40), ein zweites Gelege (40), das in der Dickenrichtung (X) der Verbundschaufel (100;200) näher an der Zentrumsseite angeordnet ist, eine größere Dicke in der Dickenrichtung (X) der Verbundschaufel (100;200) hat als ein anderes zweites Gelege (40), das in der Dickenrichtung (X) der Verbundschaufel (100;200) näher an der Außenseite angeordnet ist.

4. Die Verbundschaufel (200) nach einem der Ansprüche 1 bis 3, außerdem umfassend:

eine Schaumschicht (60), die aus einem Schaumharz gebildet ist und in der Dickenrichtung (X) der Verbundschaufel (200) an der Zentrumsseite des Profils (10) angeordnet ist, wobei

die Schaumschicht (60) derart gebildet ist, dass ein Endteil (60a) eine Keilform hat, die sich zu der Seite des Basisendes (100b) entlang eines Verlaufes des Endteils (60a) in der Dickenrichtung (X) der Verbundschaufel von der Außenseite zu der Zentrumsseite erstreckt, und

das erste Gelege (70) Mittelschichten (71) aufweist, die sich von dem Endteil (60a) der Schaumschicht (60) zu der Seite des Basisendes (100b) in dem Schaufelfuss (11) erstrecken.

5. Die Verbundschaufel (200) nach Anspruch 4, wobei das Endteil (60a) der Schaumschicht (60) in einem Bereich (H1) vorgesehen ist, in dem eine Zwischenschichtzugspannung auf die Verbundmaterialschichten (20) einwirkt.

6. Die Verbundschaufel (200) nach Anspruch 4 oder 5, wobei die Mittelschichten (71) eine Deckschicht (711) als einen Teil der Verbundmaterialschichten (20) aufweisen, die in der Dickenrichtung (X) der Verbundschaufel (200) am nächsten zu der Zentrumsseite angeordnet ist, wobei sich die Deckschicht (711) auf der Peripherie der Schaumschicht (60) erstreckt und sich in das Profil (10) erstreckt.

7. Ein Herstellungsverfahren für eine Verbundschaufel (100;200), gebildet durch Überlagern von Verbundmaterialschichten (20), in denen Verstärkungsfasern (21) mit Harz (22) imprägniert sind, in einer Dickenrichtung (X) der Verbundschaufel (100;200), wobei die Verbundschaufel (100;200) einen Schaufelfuss (11), der auf einer Seite eines Basisendes (100b) vorgesehen ist, und ein Profil (10), welches auf einer Seite eines Außenendes (100a) vorgesehen ist, aufweist, wobei das Verfahren umfasst:

einen Erstgelege-Bildungsschritt (S1) des Bildens eines ersten Geleges (30;70), das als ein Gelege konfiguriert ist, in dem einige der Verbundmaterialschichten (20) aufeinandergelegt oder überlagert werden, wobei das erste Gelege (30) in dem Schaufelfuss (11) derart vorgesehen ist, dass Teile der Verbundmaterialschichten (20) beabstandet voneinander sind, beginnend von der Seite des Basisendes (100b) derart, dass sie eine Vielzahl von Abstandsteilen (50) bilden, und dies derart, dass sie sich in der Dickenrichtung (X) der Verbundschaufel von der Seite des Außenendes (100a) zu der Seite des Basisendes (100b) erstrecken, und einen Zweitgelege-Bildungsschritt (S2) des Bildens einer Vielzahl von zweiten Gelegen (40), die jeweils konfiguriert sind als ein Gelege, in dem einige der Verbundmaterialschichten (20) aufeinandergelegt oder überlagert sind, wobei die zweiten Gelege (40) in den Abstandsteilen (50) in dem ersten Gelege (30;70) im Schaufelfuss (11) derart vorgesehen sind, dass sie in der Dickenrichtung (X) der Verbundschaufel (100;200) ausgerichtet sind, wobei jedes der zweiten Gelege (40) ein erstes Ende (40a) und ein in einer Längsrichtung (Z) der Verbundschaufel (100;200) gegenüberliegendes zweites Ende (40b) aufweist, wobei das gegenüberliegende zweite Ende (40b) jedes zweiten Geleges (40) an der Seite des Basisendes (100b) angeordnet ist, unter der Vielzahl von zweiten Gelegen (40), ein zweites Gelege (40), das in der Dickenrichtung (X) der Verbundschaufel (100;200) einer Zentrumsseite näher ist als das andere zweite Gelege (40) oder die anderen zweiten Gelege (40), sich über einen größeren Abstand von dem zweiten gegenüberliegen-

den Ende (40b) davon zu dem ersten Ende (40a) davon erstreckt, die zweiten Gelege (40) ein Mittelgelege (41), das in der Dickenrichtung (X) der Verbundschaufel (100;200) im Zentrum angeordnet ist, und eine Vielzahl von Außengelegen (42) aufweisen, die in der Dickenrichtung (X) der Verbundschaufel (100;200) näher an der Außenseite als das Mittelgelege (41) angeordnet sind, der Erstgelege-Bildungsschritt (S1) in jedem Schritt einen Schritt des Überlagerns der Verbundmaterialschichten (20) zum Bilden eines Teils des ersten Geleges (30;70) in einem schrittweisen Ablauf, um das erste Gelege (30;70) zu bilden, aufweist, und der Zweitgelege-Bildungsschritt (S2) jedes Mal, wenn der Erstgelege-Bildungsschritt (S1) durchgeführt wird, einen Schritt des Überlagerns der Verbundmaterialschichten (20) zum Bilden des zweiten Geleges (40) auf den Verbundmaterialschichten (20), die bei dem unmittelbar davor durchgeführten Erstgelege-Bildungsschritt (S1) aufgelegt wurden, aufweist, so dass das Mittelgelege (41) derart gebildet ist, dass es sich von dem ersten Ende (40a) davon in der Dickenrichtung (X) der Verbundschaufel (100;200) auswärts und dann einwärts in der Dickenrichtung (X) der Verbundschaufel (100;200) zu dem zweiten gegenüberliegenden Ende (40b) davon erstreckt, jedes der Vielzahl von Außengelegen (42) von dem ersten Ende (40a) davon zu dem zweiten gegenüberliegenden Ende (40b) davon gekrümmt ist, derart, dass es in der Dickenrichtung (X) der Verbundschaufel (100;200) konvex nach außen ist, und unter der Vielzahl von Außengelegen (42), ein Außengelege (42), das in der Dickenrichtung (X) der Verbundschaufel (100;200) näher an der Zentrumsseite angeordnet ist, einen kleineren Krümmungsradius an dem zweiten gegenüberliegenden Ende (40b) davon hat als ein Außengelege (42), das in der Dickenrichtung (X) der Verbundschaufel (100;200) näher an der Außenseite angeordnet ist.

8. Das Herstellungsverfahren für eine Verbundschaufel (200) nach Anspruch 7, ferner mit einem Ausbilden einer Schaumschicht (60) aus einem Schaumharz in der Dickenrichtung (X) der Verbundschaufel (200) an der Zentrumsseite des Profils (10), wobei die Schaumschicht (60) derart gebildet wird, dass ein Endteil (60a) eine Keilform hat, die sich zu der Seite des Basisendes (100b) entlang eines Verlaufes des Endteils (60a) in der Dickenrichtung (X) der Verbundschaufel von der Außenseite zu der Zentrumsseite erstreckt, und derart, dass das erste Gelege (70) Mittelschichten (71) aufweist, die sich von dem Endteil (60a) der Schaumschicht (60) zu der Seite des Basisendes (100b) in dem Schaufelfuss (11) erstrecken.

Es folgen 11 Seiten Zeichnungen

FIG.1

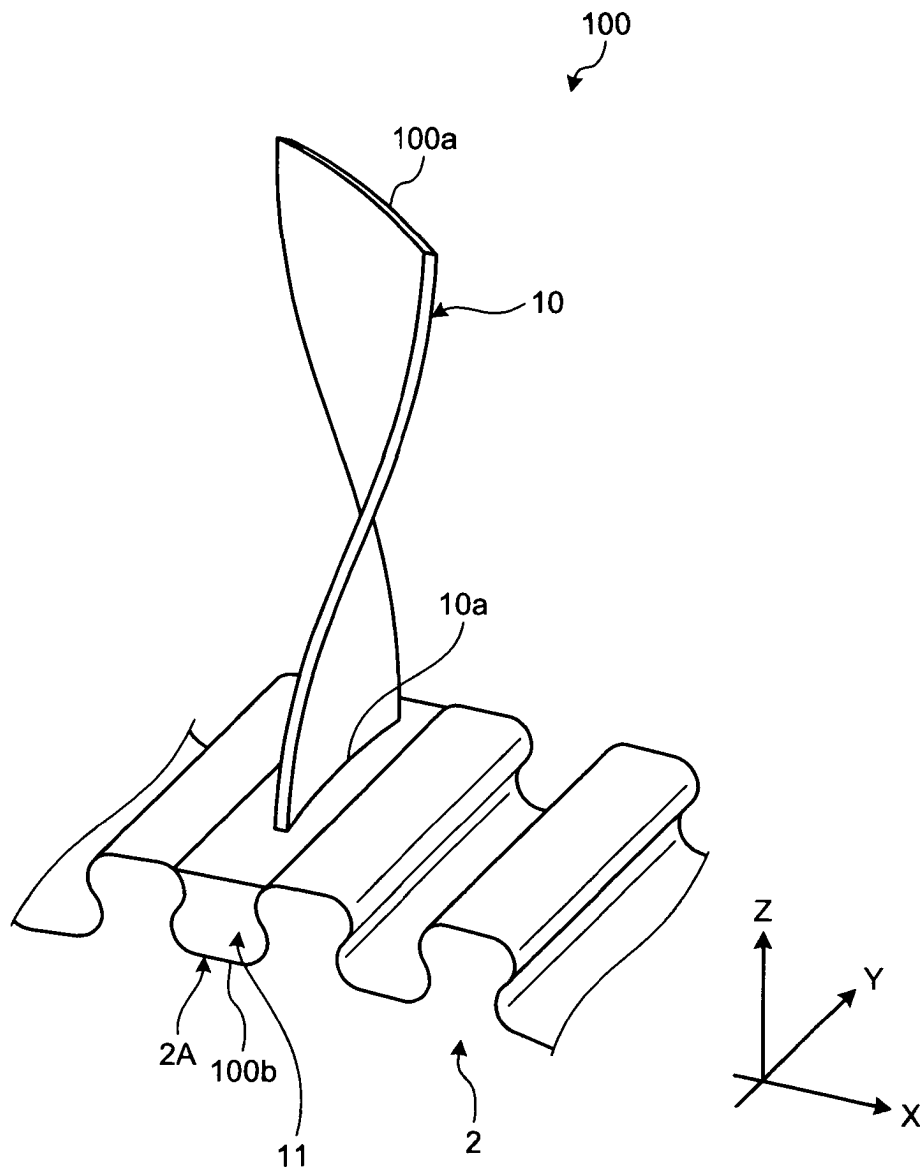


FIG.2

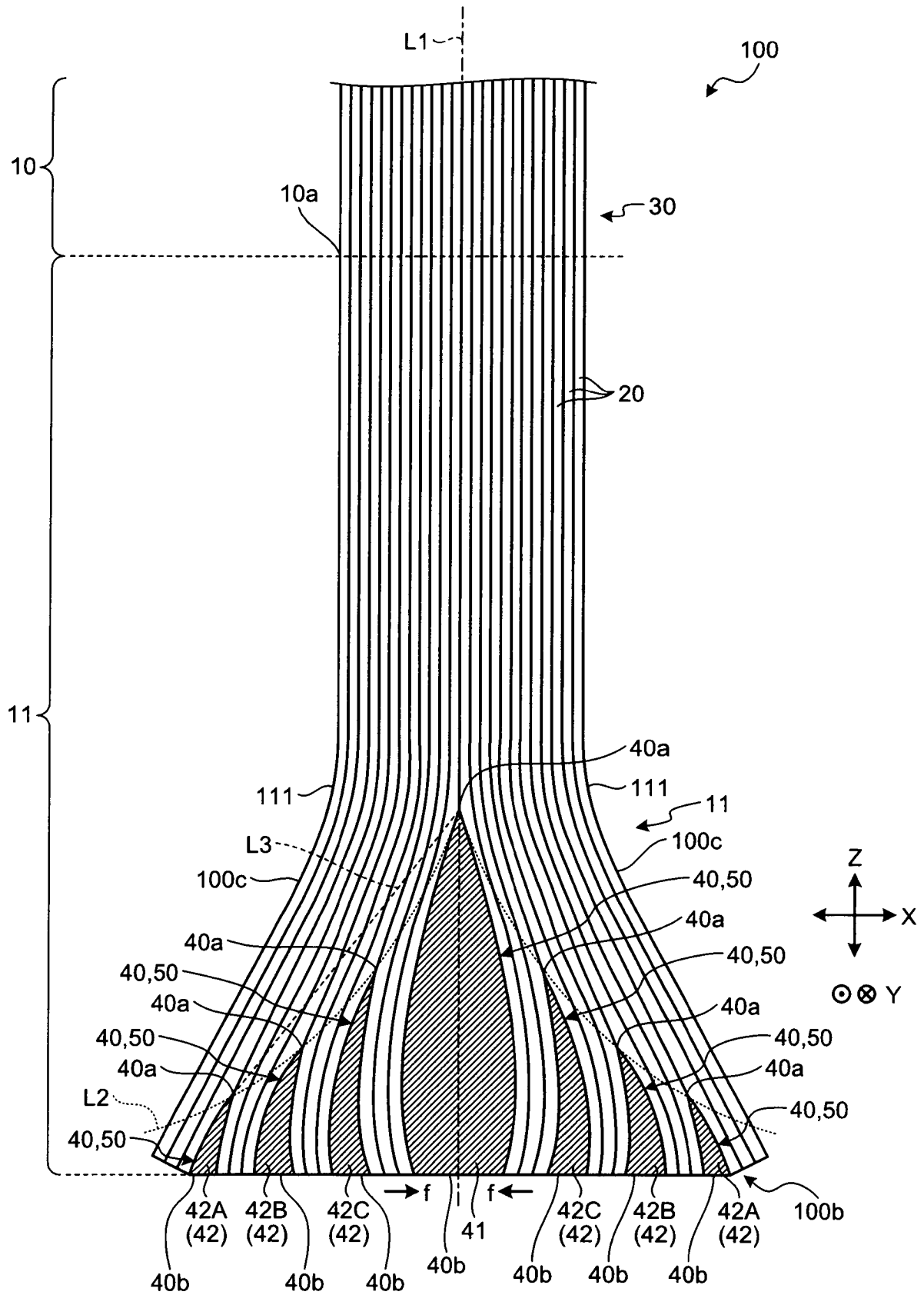


FIG.3

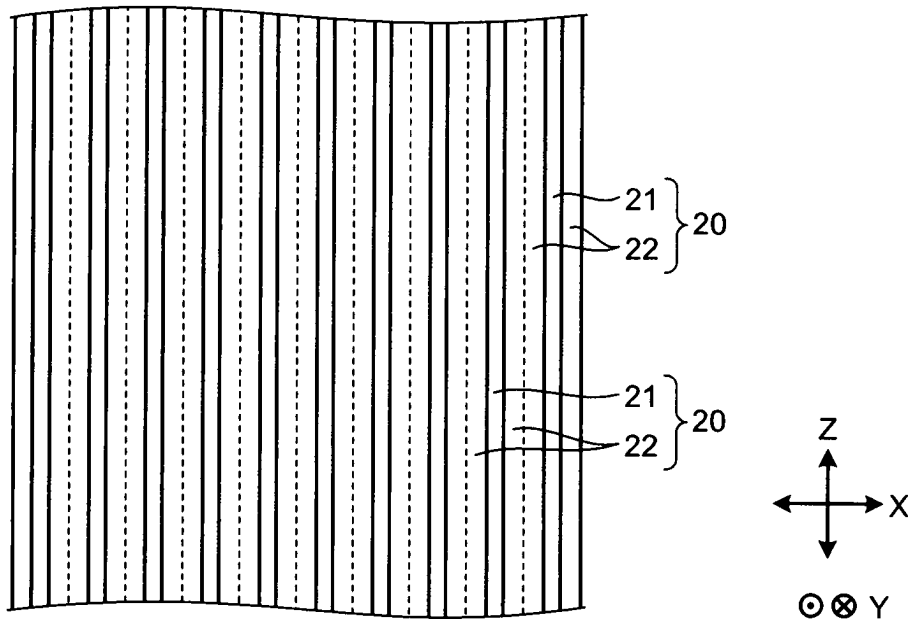


FIG.4

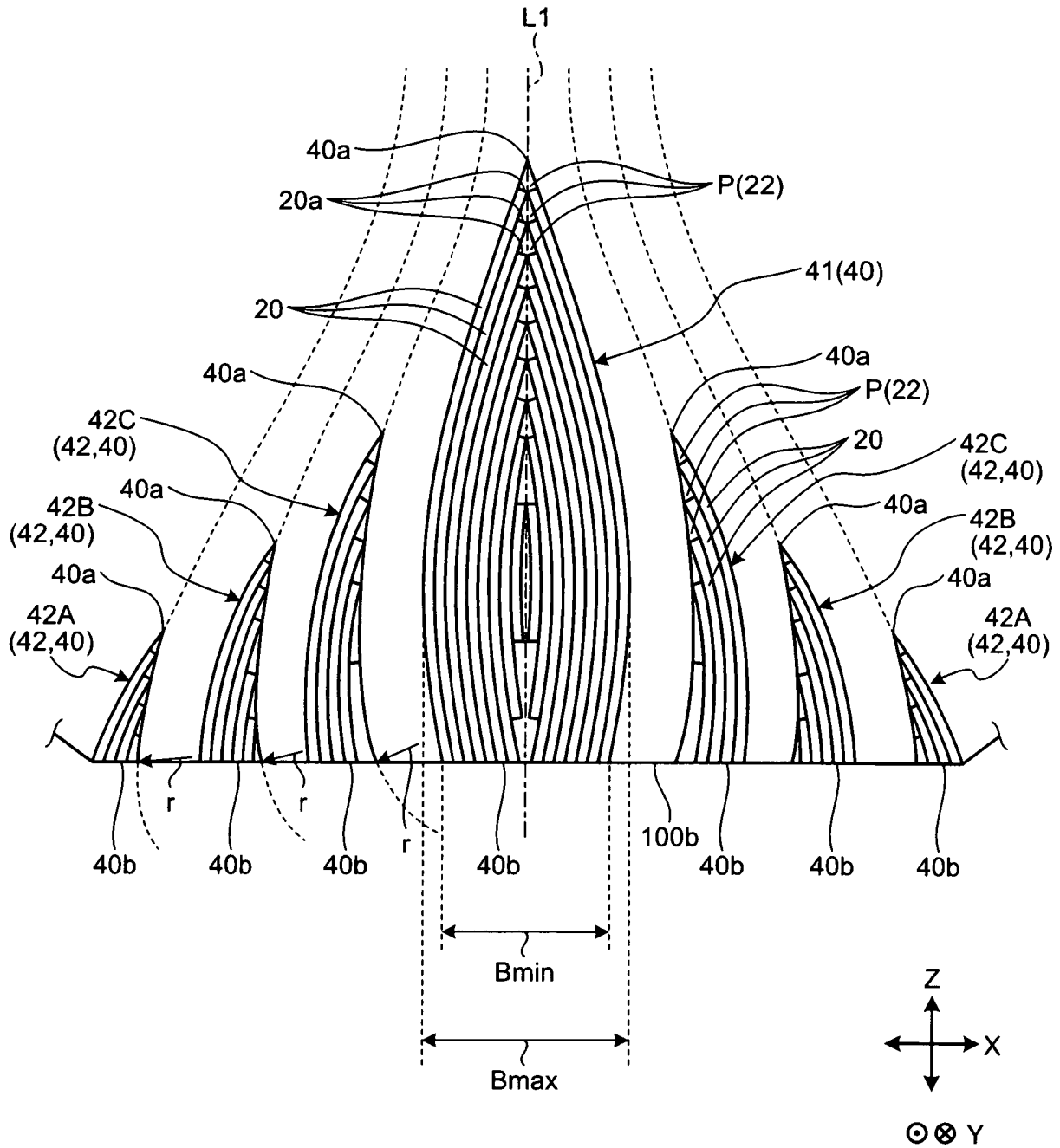


FIG.5

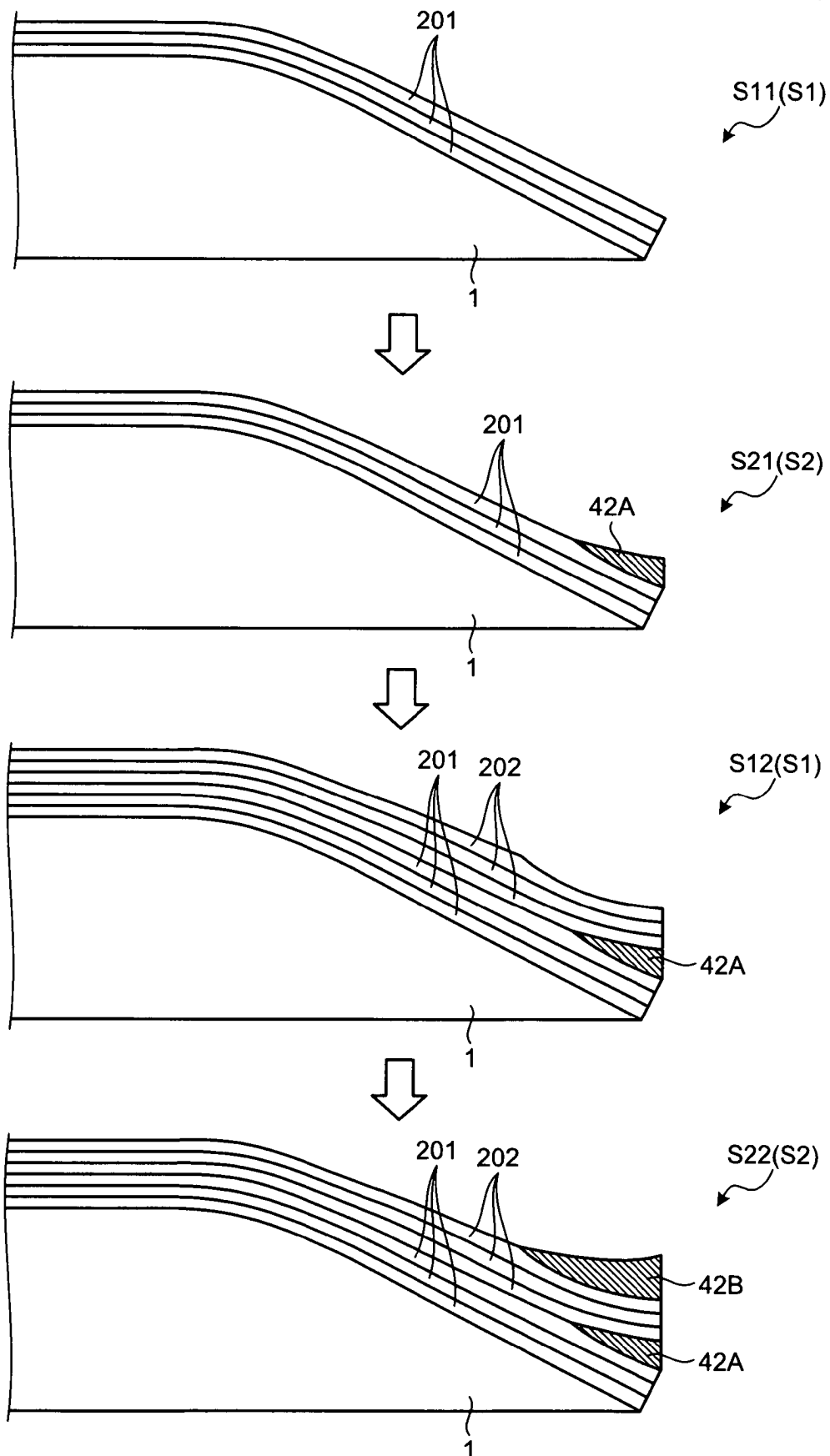


FIG.6

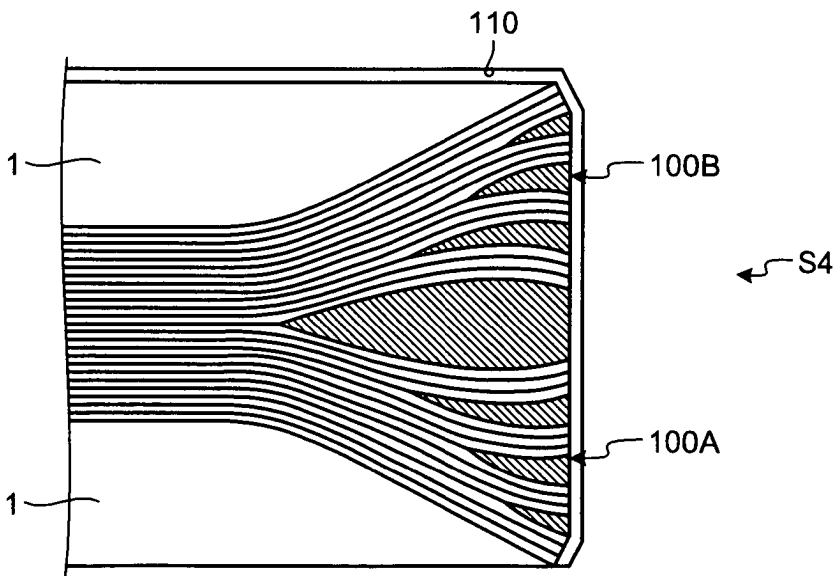
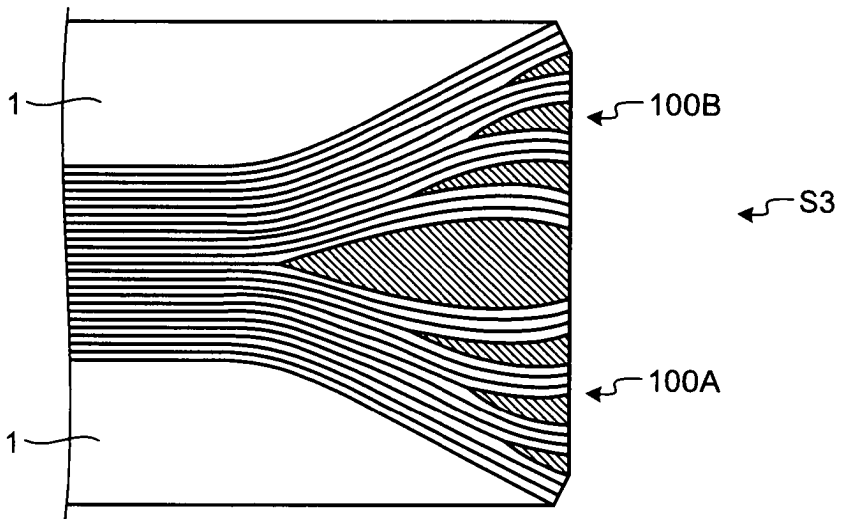
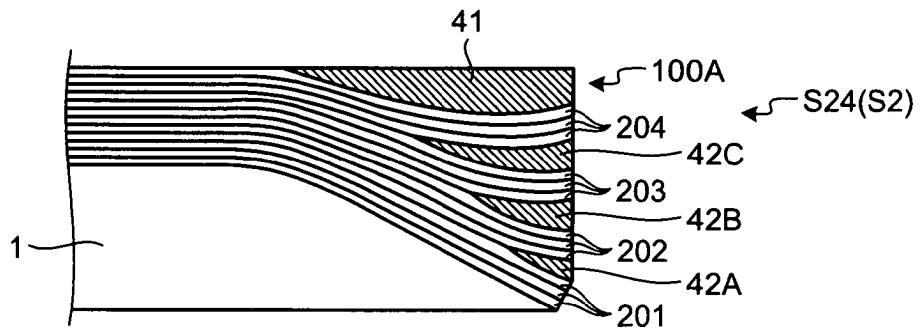


FIG.7

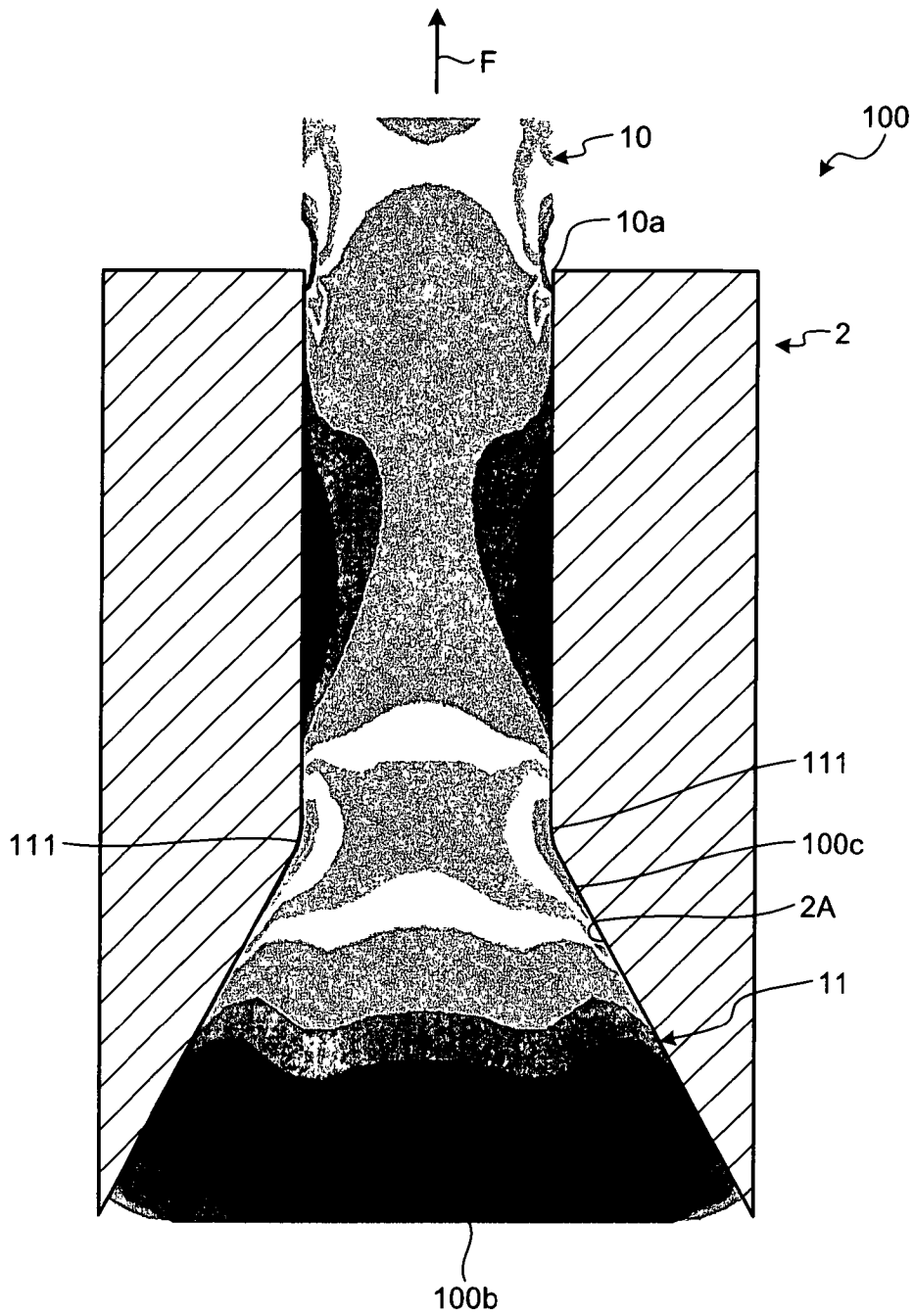


FIG.8

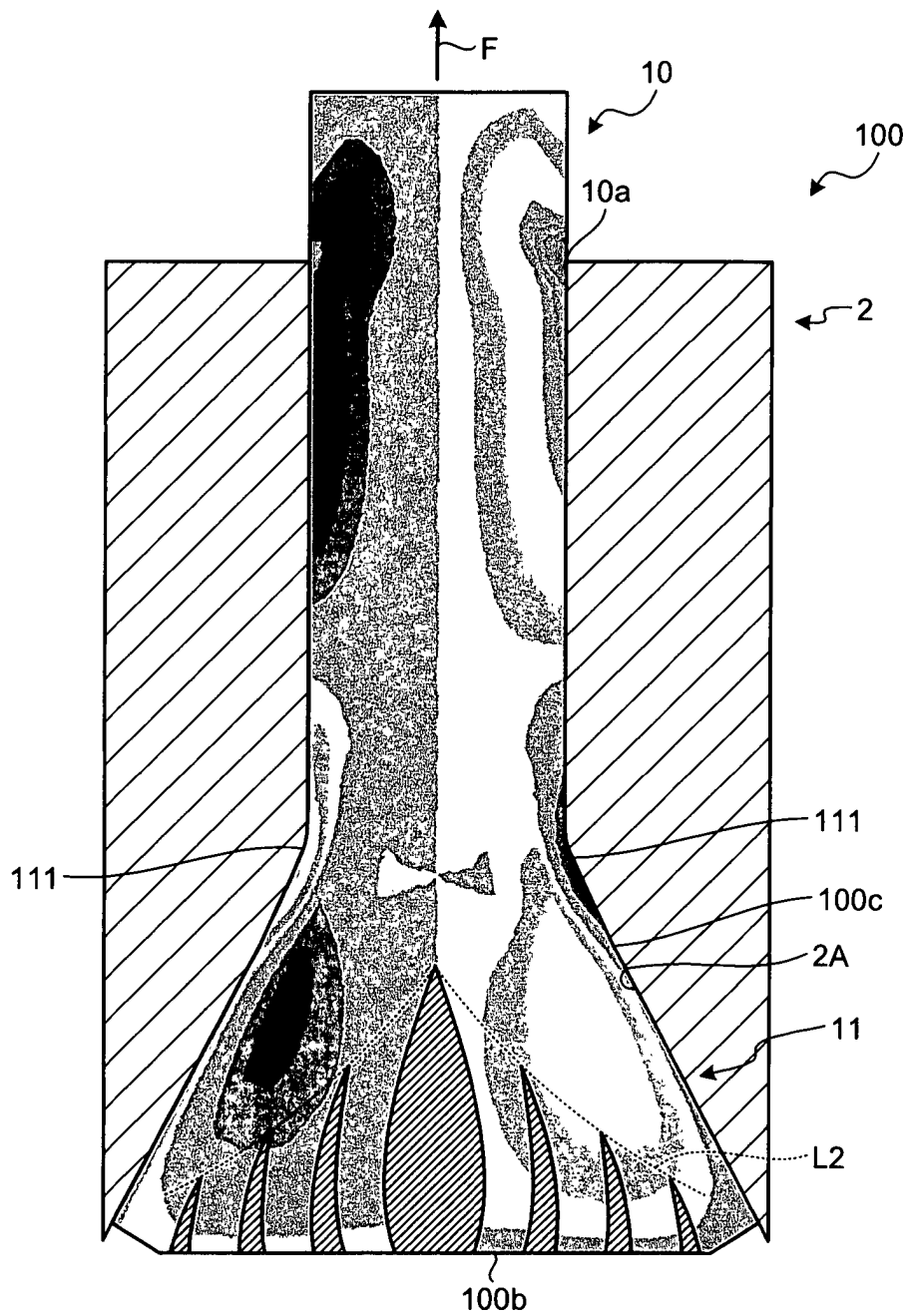


FIG.10

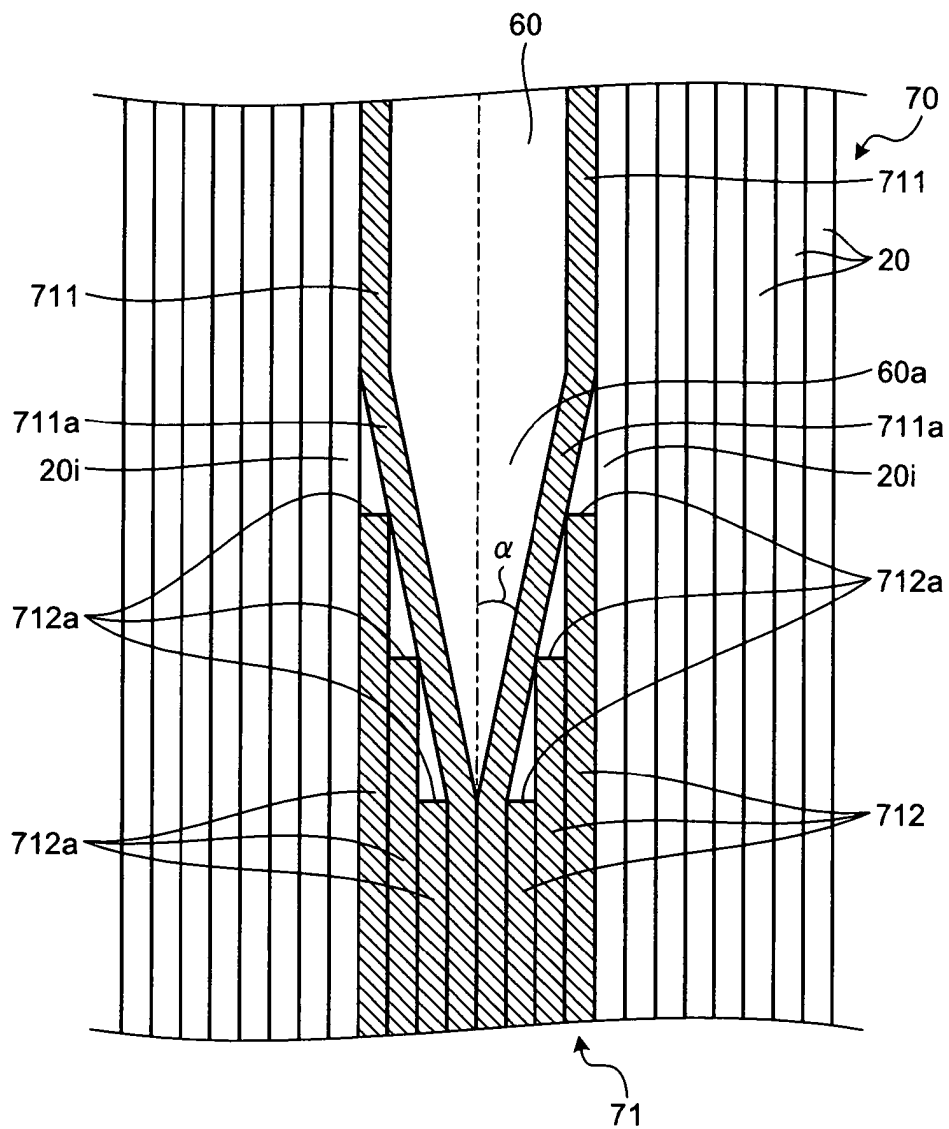


FIG.11

