



(12)

## Patentschrift

(21) Deutsches Aktenzeichen: 11 2018 002 751.1  
(86) PCT-Aktenzeichen: PCT/JP2018/020780  
(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: WO 2018/221597  
(86) PCT-Anmeldetag: 30.05.2018  
(87) PCT-Veröffentlichungstag: 06.12.2018  
(43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung  
in deutscher Übersetzung: 13.02.2020  
(45) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 08.12.2022

(51) Int Cl.: F01D 5/28 (2006.01)  
F01D 5/30 (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:  
**2017-108380** 31.05.2017 JP  
  
(73) Patentinhaber:  
**Mitsubishi Heavy Industries, Ltd., Tokyo, JP**  
  
(74) Vertreter:  
**Henkel & Partner mbB Patentanwaltskanzlei,  
Rechtsanwaltskanzlei, 80333 München, DE**

(72) Erfinder:  
**Okabe, Ryoji, Tokyo, JP; Nonaka, Yoshinori,  
Tokyo, JP; Shindo, Kentaro, Tokyo, JP; Kamiya,  
Masami, Tokyo, JP**  
  
(56) Ermittelter Stand der Technik:  
**siehe Folgeseiten**

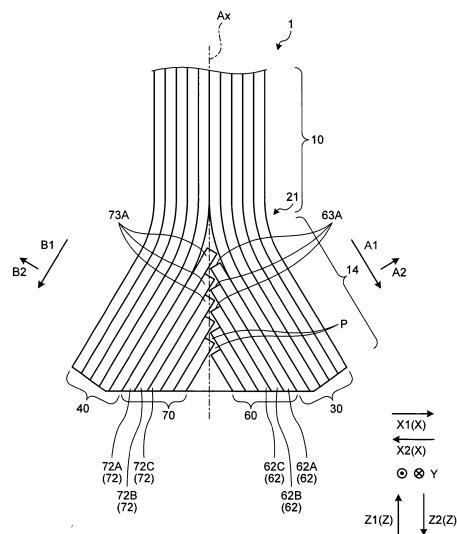
### (54) Bezeichnung: VERBUNDSCHAUFEL UND VERFAHREN ZUM HERSTELLEN EINER VERBUNDSCHAUFEL

(57) Hauptanspruch: Eine Verbundschaufel (1), die durch Aufeinanderlegen von Verbundschichten (32,42,62,72), in denen Verstärkungsfasern (36,46,66,76) mit Harz (34,44,64,74) imprägniert sind, gebildet ist, wobei die Verbundschaufel (1) einen Schaufelfuß (14) und ein Strömungsprofil (10) besitzt, welches sich von dem Schaufelfuß (14) in einer Längsrichtung (Z) erstreckt, wobei die Verbundschaufel (1) umfasst:

ein erstes Laminat (30) als ein Laminat von Verbundschichten (32), wobei sich das erste Laminat (30) entlang der Längsrichtung (Z) in dem Strömungsprofil (10) erstreckt und sich entlang einer ersten Neigungsrichtung (A1) erstreckt, die zu einer Richtung (X1) geneigt ist, die die Längsrichtung (Z) in dem Schaufelfuß (14) schneidet, ein zweites Laminat (40) als ein Laminat von Verbundschichten (42), wobei sich das zweite Laminat (40) entlang der Längsrichtung (Z) erstreckt und das erste Laminat (30) in dem Strömungsprofil (10) berührt, wobei sich das zweite Laminat (40) entlang einer zweiten Neigungsrichtung (B1) erstreckt, die zu einer Richtung (X2) entgegengesetzt zu der ersten Neigungsrichtung (A1) in dem Schaufelfuß (14) geneigt und von dem ersten Laminat (30) getrennt ist, und

ein drittes Laminat (50) als ein Laminat von Verbundschichten (62,72), wobei das dritte Laminat (50) zwischen dem ersten Laminat (30) und dem zweiten Laminat (40) in dem Schaufelfuß (14) vorgesehen ist, wobei in dem ersten Laminat (30) Verstärkungsfasern (36) in der

Verbundschicht (32) sich kontinuierlich von dem Strömungsprofil (10) zu dem Schaufelfuß (14) erstrecken, sich entlang einer Ebene parallel zu der Längsrichtung (Z) an dem Strömungsprofil (10) erstrecken, und sich entlang einer Ebene parallel zu der ersten Neigungsrichtung (A1) an dem Schaufelfuß (14) erstrecken, in dem zweiten Laminat (40) Verstärkungsfasern (46) in der ...



(19)



Deutsches  
Patent- und Markenamt

(10) **DE 11 2018 002 751 B4** 2022.12.08

(56) Ermittelter Stand der Technik:

US	9 370 921	B2
US	2015 / 0 231 848	A1
US	3 132 841	A
US	5 375 978	A

## Beschreibung

**[0001]** Die vorliegende Offenbarung bezieht sich auf eine Verbundschaufel und ein Verfahren zum Herstellen der Verbundschaufel.

**[0002]** Eine Turbinenschaufel für eine Gasturbine besitzt ein Strömungsprofil zum Empfangen von Gas und einen Schaufelfuß (Schwabenschwanzteil), der an einem Ende des Strömungsprofils vorgesehen ist. Der Schaufelfuß ist in eine Nut eingesetzt, die in einer Turbinenscheibe vorgesehen ist. Der Schaufelfuß besitzt eine Dicke, die größer ist als die des Strömungsprofils, und er ist somit so strukturiert, dass er nicht aus der Nut in der Turbinenschaufel herausfällt, selbst wenn eine Zentrifugalkraft auf die Turbinenschaufel einwirkt.

**[0003]** In den letzten Jahren wird Verbundmaterial gelegentlich als das Material für die Turbinenschaufel für eine Gasturbine verwendet. Das Verbundmaterial ist durch Aufeinanderlegen oder Laminieren von Verbundschichten oder -lagen, in denen eine Verstärkungsfaser mit Harz imprägniert ist, gebildet. Wenn das Verbundmaterial für eine Turbinenschaufel verwendet wird, erstreckt sich eine Verbundschicht (Verstärkungsfaser) in einigen Fällen von einem Strömungsprofil zu einem Schaufelfuß. In diesem Fall, beispielsweise gemäß der Offenbarung in der US 5 375 978 A, erstreckt sich die Verbundschicht entlang einer Längsrichtung in einem Bereich des Strömungsprofils, ist aber in einem Bereich des Schaufelfußes so nach außen erweitert (geneigt), dass sie eine größere Dicke besitzt. Wenn die Verbundschicht in dem Schaufelfuß nach außen erweitert wird, erhöht sich jedoch eine Distanz zwischen Verbundschichten, d.h., eine Distanz zwischen Verstärkungsfasern, in dem Schaufelfuß. In diesem Fall ist ein Bereich zwischen Verstärkungsfasern mit Harz gefüllt, besitzt aber keine Verstärkungsfaser, weshalb die Festigkeit verringert ist. In der US 5 375 978 A sind eine Vielzahl von kurzen Verbundschichten zwischen Schichten entlang einer Dickenrichtung vorgesehen, um die Verringerung der Festigkeit zu vermindern.

**[0004]** Wenn kurze Verbundschichten entlang der Dickenrichtung gemäß der Offenbarung in der US 5 375 978 A vorgesehen sind, verbleibt ein Lagenabfall (Englisch: „ply drop“) an dem Außenende der kurzen Verbundschicht. Der Lagenabfall ist ein Bereich, der keine Verstärkungsfaser besitzt und der mit Harz gefüllt ist, und er ist ein Bereich mit geringer Festigkeit. Wenn Verbundschichten gemäß der Offenbarung der US 5 375 978 A vorgesehen werden, werden eine Vielzahl der Lagenabfälle in der Dickenrichtung gebildet. Eine Belastung ist insbesondere hoch nahe einem Endteil des Schaufelfußes in der Dickenrichtung. Wenn Verbundschichten gemäß der Offenbarung in der

US 5 375 978 A ausgebildet werden, ist das Risiko eines Bruchs ausgehend von den Lagenabfällen hoch. Daher ist es nötig, die Verringerung der Festigkeit des Schaufelfußes zu vermindern oder zu verhindern, wenn Verbundmaterial bei einer Turbinenschaufel verwendet wird.

**[0005]** Die US 3 132 841 A offenbart eine Verbundschaufel für einen Kompressor, die ein Strömungsprofil und einen erweiterten Schaufelfuß besitzt, wobei die Schaufel aus aufeinandergelegten Lagen eines Glasfasergewebes, die sich in der Längsrichtung der Schaufel erstrecken und mit einem wärmehärtenden Harz imprägniert sind, gebildet ist, indem die Lagen im Bereich des erweiterten Schaufelfußes nach Außen geneigt sind und kontinuierlich auseinanderlaufen. Ein Füller in der Form eines Einsatzstücks aus Kunststoff mit ähnlichen Eigenschaften wie die Lagen ist keilartig zwischen die auseinanderlaufenden Lagen im Fußbereich eingesetzt.

**[0006]** Die US 9 370 921 B2 und die US 2015 / 0 231 848 A1 beschreiben jeweils Ausrundungs-Füllteile aus Verbundmaterial für Verbundmaterialstrukturen bei Luftfahrzeugen wie Rumpf, Flügel oder Heckteil. Die Füllteile sind durch eine spiegelsymmetrische Anordnung von Verbundschichten um eine Mittelachse bzw. durch Überlagern einer Anzahl von V-förmigen Lagen in spiegelsymmetrischer Form gebildet.

**[0007]** Die vorliegende Offenbarung löst das zuvor erwähnte Problem und es ist eine Aufgabe derselben, eine Verbundschaufel, die die Verringerung der Festigkeit des Schaufelfußes vermindert oder verhindert, wenn ein Verbundmaterial für eine Turbinenschaufel verwendet wird, sowie ein Verfahren zum Herstellen der Verbundschaufel vorzusehen.

**[0008]** Um das zuvor beschriebene Problem zu lösen und die Aufgabe zu erreichen, weist eine Verbundschaufel gemäß der Erfindung die Merkmale des Patentanspruches 1 auf und ist insbesondere gebildet durch Aufeinanderlegen von Verbundschichten, in denen Verstärkungsfasern mit Harz imprägniert sind, wobei die Verbundschaufel einen Schaufelfuß und ein Strömungsprofil besitzt, welches sich von dem Schaufelfuß in einer Längsrichtung erstreckt. Die Verbundschaufel umfasst: ein erstes Laminat als ein Laminat der Verbundschichten, wobei sich das erste Laminat entlang der Längsrichtung in dem Strömungsprofil erstreckt und sich entlang einer ersten Neigungsrichtung erstreckt, die zu einer Richtung geneigt ist, die die Längsrichtung in dem Schaufelfuß schneidet, ein zweites Laminat als ein Laminat der Verbundschichten, wobei sich das zweite Laminat entlang der Längsrichtung erstreckt und das erste Laminat in dem Strömungsprofil berührt, wobei sich das zweite Laminat entlang einer zweiten Neigungsrichtung erstreckt, die zu

einer Richtung entgegengesetzt zu der ersten Neigungsrichtung in dem Schaufelfuß geneigt ist, und von dem ersten Laminat getrennt ist, und ein drittes Laminat als ein Laminat der Verbundschichten, wobei das dritte Laminat zwischen dem ersten Laminat und dem zweiten Laminat in dem Schaufelfuß vorgesehen ist.

**[0009]** In dem dritten Laminat erstrecken sich Verbundschichten, die auf der Seite des ersten Laminats aufgelegt sind, entlang der ersten Neigungsrichtung, und Verbundschichten, die auf der Seite des zweiten Laminats aufgelegt sind, erstrecken sich entlang der zweiten Neigungsrichtung.

**[0010]** In dem ersten Laminat erstrecken sich Verstärkungsfasern in der Verbundschicht kontinuierlich von dem Strömungsprofil zu dem Schaufelfuß entlang einer Ebene parallel zu der Längsrichtung an dem Strömungsprofil, und erstrecken sich entlang einer Ebene parallel zu der ersten Neigungsrichtung an dem Schaufelfuß, und in dem zweiten Laminat erstrecken sich Verstärkungsfasern in der Verbundschicht kontinuierlich von dem Strömungsprofil zu dem Schaufelfuß entlang einer Ebene parallel zu der Längsrichtung an dem Strömungsprofil, und erstrecken sich entlang einer Ebene parallel zu der zweiten Neigungsrichtung an dem Schaufelfuß.

**[0011]** Um die oben beschriebene Probleme zu lösen und die Aufgabe zu erfüllen, weist ein Verfahren gemäß der vorliegenden Erfindung die Merkmale des Patentanspruches 2 auf, zur Herstellung einer Verbundschaufel, die durch Aufeinanderlegen oder Laminieren von Verbundschichten gebildet wird, in denen Verstärkungsfasern mit Harz imprägniert sind, wobei die Verbundschaufel einen Schaufelfuß und ein Strömungsprofil hat, das sich von dem Schaufelfuß in einer Längsrichtung erstreckt. Das Verfahren umfasst: einen ersten Laminat-Bildungsschritt des Bildens eines ersten Laminats als ein Laminat der Verbundschichten, wobei sich das erste Laminat entlang der Längsrichtung in dem Strömungsprofil erstreckt und sich entlang einer ersten Neigungsrichtung erstreckt, die zu einer Richtung geneigt ist, die die Längsrichtung in dem Schaufelfuß schneidet, einen zweiten Laminat-Bildungsschritt des Bildes eines zweiten Laminats als ein Laminat der Verbundschichten, wobei sich das zweite Laminat entlang der Längsrichtung erstreckt und das erste Laminat in dem Strömungsprofil berührt, wobei sich das zweite Laminat entlang einer zweiten Neigungsrichtung erstreckt, die zu einer Richtung entgegengesetzt zu der ersten Neigungsrichtung in dem Schaufelfuß geneigt ist, und von dem ersten Laminat getrennt ist, und einen dritten Laminat-Bildungsschritt des Bildes eines dritten Laminats als ein Laminat der Verbundschichten, wobei das dritte Laminat zwischen dem ersten Laminat und dem zweiten Laminat in dem Schaufelfuß vorgesehen ist.

**[0012]** Der erste Laminat-Bildungsschritt umfasst ein Auflegen oder Laminieren von Verbundschichten zur Bildung eines dritten Laminats einer ersten Seite auf dem ersten Laminat in dem Schaufelfuß, der zweite Laminat-Bildungsschritt umfasst ein Auflegen oder Laminieren von Verbundschichten zur Bildung eines dritten Laminats einer anderen Seite auf dem zweiten Laminat in dem Schaufelfuß, und der dritte Verbundmaterial-Bildungsschritt umfasst ein Bonden oder Verbinden des ersten Laminats mit dem zweiten Laminat in dem Strömungsprofil und ein Bonden oder Verbinden des dritten Laminats der einen Seite mit dem dritten Laminat der anderen Seite in dem Schaufelfuß zur Bildung des dritten Laminats.

**[0013]** Gemäß der vorliegenden Offenbarung kann die Verringerung der Festigkeit des Schaufelfußes verhindert werden, wenn ein Verbundmaterial bei einer Turbinenschaufel verwendet wird.

**Fig. 1** ist ein schematisches Diagramm, das eine Konfiguration einer Verbundschaufel gemäß einem ersten, nicht-erfindungsgemäßen Beispiel zur Erläuterung von Merkmalen der Erfindung verdeutlicht.

**Fig. 2** ist ein schematisches Diagramm, das eine detaillierte Konfiguration der Verbundschaufel gemäß dem ersten Beispiel verdeutlicht.

**Fig. 3** ist ein schematisches Diagramm von Verbundschichten.

**Fig. 4** ist ein schematisches Diagramm der Verbundschichten.

**Fig. 5** ist ein schematisches Diagramm zum Beschreiben eines Verfahrens zum Herstellen der Verbundschaufel gemäß dem ersten Beispiel.

**Fig. 6** ist ein schematisches Diagramm, das ein anderes Beispiel der Verbundschaufel verdeutlicht und das eine Ausführungsform der Erfindung ist.

**Fig. 7** ist ein schematisches Diagramm, das eine detaillierte Konfiguration einer Verbundschaufel gemäß einem zweiten, nicht-erfindungsgemäßen Beispiel zur Erläuterung von Merkmalen der Erfindung verdeutlicht.

**Fig. 8** ist ein schematisches Diagramm von Verbundschichten gemäß dem zweiten Beispiel.

**Fig. 9** ist ein schematisches Diagramm zur Beschreibung eines Verfahrens zum Herstellen der Verbundschaufel gemäß dem zweiten Beispiel.

**Fig. 10** ist ein schematisches Diagramm, das eine detaillierte Konfiguration einer Verbundschaufel gemäß einem dritten, nicht-erfindungs-

gemäßen Beispiel zur Erläuterung von Merkmalen der Erfindung verdeutlicht.

**Fig. 11** ist ein schematisches Diagramm zum Beschreiben eines Verfahrens zum Herstellen der Verbundschaufel gemäß dem dritten Beispiel.

**Fig. 12** ist ein Diagramm, das eine Spannungsverteilung gemäß einem Beispiel verdeutlicht.

**[0014]** Mit Bezug auf die beigefügten Zeichnungen werden bevorzugte Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung und nicht-erfindungsgemäße Beispiele zur Erläuterung von Merkmalen der Erfindung im Detail wie folgt beschrieben. Die vorliegende Erfindung ist nicht durch die Ausführungsformen beschränkt. Wenn es eine Vielzahl von Ausführungsformen und Beispielen gibt, umfasst die vorliegende Erfindung eine Kombination der Ausführungsformen und Beispiele.

**[0015]** **Fig. 1** ist ein schematisches Diagramm, das eine Konfiguration einer Verbundschaufel gemäß einem ersten, nicht-erfindungsgemäßen Beispiel zur Erläuterung von Merkmalen der Erfindung verdeutlicht. Eine Verbundschaufel 1 gemäß dem ersten Beispiel ist eine Turbinenschaufel für eine Gasturbine. Beispielsweise wird eine Gasturbine, welche die Verbundschaufel 1 verwendet, bei einem Luftfahrzeugantrieb verwendet, kann aber auch für andere Zwecke wie eine Stromerzeugungsgasturbine verwendet werden.

**[0016]** Gemäß der Darstellung in **Fig. 1** erstreckt sich die Verbundschaufel 1 von einem Außenendteil 20 zu einem Basisendteil 22. Die Verbundschaufel 1 ist an einer Turbinenscheibe 2 and dem Basisendteil 22 angebracht.

**[0017]** Richtungen X, Y, und Z sind im Folgenden beschrieben. Im Folgenden ist die Richtung Z eine Richtung, in der sich die Verbundschaufel 1 erstreckt, d.h. eine Richtung entlang dem Außenendteil 20 zu dem Basisendteil 22. Die Richtung Z ist eine Längsrichtung der Verbundschaufel 1 und entspricht einer radialen Richtung (Radialrichtung) der Turbinenscheibe 2. Die Richtung Y ist eine Richtung orthogonal zu der Richtung Z und sie ist eine Richtung entlang einer axialen Richtung der Turbinenscheibe 2. Die Richtung X ist eine Richtung orthogonal zu der Richtung Y und der Richtung Z und sie ist eine Richtung entlang der Umfangsrichtung der Turbinenscheibe 2.

**[0018]** Die Verbundschaufel 1 umfasst ein Strömungsprofil 10 und einen Schaufelfuß 14 (Schwabenschwanzteil). Das Strömungsprofil 10 ist eine Schaufel, die ein Gas empfängt, das durch eine Gasturbine strömt. Der Schaufelfuß 14 ist an dem Fuß des Strömungsprofils 10 vorgesehen. Anders

ausgedrückt erstreckt sich das Strömungsprofil 10 entlang der Richtung Z (Längsrichtung) von dem Schaufelfuß 14. Die Verbundschaufel 1 ist an der Turbinenscheibe 2 an dem Schaufelfuß 14 angebracht. Die Turbinenscheibe 2 besitzt eine Vielzahl von Nuten 2A entlang der Umfangsrichtung. Die Länge (Weite) des Schaufelfußes 14 entlang der Richtung X ist größer als die Länge des Strömungsprofils 10 entlang der Richtung X. Die Verbundschaufel 1 ist an der Turbinenscheibe 2 in einer Weise angebracht und fixiert, dass der Schaufelfuß 14 in der Nut 2A montiert ist.

**[0019]** Die Verbundschaufel 1 ist durch Aufeinanderlegen oder Laminieren von Verbundschichten gebildet. Die Verbundschicht ist eine Schicht oder Lage aus Verbundmaterial enthaltend Verstärkungsfasern (Verstärkungsfasern 36, 46, 66 und 76, die später beschrieben sind) und von Harz (Harz 34, 44, 64, und 74, das später beschrieben ist), und ist eine Schicht oder Lage aus Verbundmaterial, in der Verstärkungsfasern mit Harz imprägniert sind. Das Verbundmaterial bei dem vorliegenden Beispiel ist ein kohlefaser verstärkter Kunststoff („carbon fiber reinforced plastic“ - CFRP), in dem Kohlefaser als Verstärkungsfaser verwendet ist. Die Verstärkungsfaser ist nicht auf Kohlefaser beschränkt und kann eine andere Art von Fasern wie Kunststofffaser, Glasfaser und Metallfaser sein. Beispiele von Harz umfassen wärmehärtendes Harz und thermoplastisches Harz. Beispiele von wärmehärtendem Harz umfassen Epoxidharz. Beispiele von thermoplastischem Harz umfassen Polyetheretherketon (PEEK), Polyetherketonketon (PEKK) und Polyphenylensulfid (PPS). Das Harz ist nicht darauf beschränkt und irgendein anderes Harz kann ebenfalls verwendet werden.

**[0020]** Nun wird die Struktur der Verbundschaufel 1 in Detail beschrieben. **Fig. 2** ist ein schematisches Diagramm, das eine detaillierte Konfiguration der Verbundschaufel gemäß dem ersten Beispiel beschreibt. **Fig. 2** ist eine Querschnittsansicht der Verbundschaufel 1 von der Richtung Y (Richtung orthogonal zu der Längsrichtung) betrachtet, deren Querschnitt orthogonal zu der Richtung Y ist. Gemäß der Darstellung in **Fig. 2** erstreckt sich die Verbundschaufel 1 zu einer Richtung Z1 von dem Basisendteil 22 zu dem Außenendteil 20. Die Richtung Z1 ist eine von Richtungen entlang der Richtung Z, und ist eine Richtung zu dem Außenendteil 20 von dem Basisendteil 22. Eine Richtung Z2 ist eine Richtung (Richtung zu dem Basisendteil 22 hin von dem Außenendteil 20) entgegengesetzt zu der Richtung Z1 und ist die andere der Richtungen entlang der Richtung Z. Eine von Richtungen entlang der Richtung X ist eine Richtung X1 und die andere der Richtungen entlang der Richtung X, d.h. eine Richtung entgegengesetzt zu der Richtung X1, ist eine Richtung X2.

**[0021]** In der Verbundschaufel 1 ist der Bereich von dem Außenendteil 20 zu einem Schaufelendteil 21 das Strömungsprofil 10 und der Bereich von dem Schaufelendteil 21 zu dem Basisendteil 22 ist der Schaufelfuß 14. Der Schaufelendteil 21 ist ein Basisendteil des Strömungsprofils 10 und ist eine Stelle an der Grenze zwischen dem Strömungsprofil 10 und dem Schaufelfuß 14. Der Schaufelendteil 21 befindet sich zwischen dem Außenendteil 20 und dem Basisendteil 22 in der Richtung Z. In der Verbundschaufel 1 erstrecken sich die aufeinandergelegten oder laminierten Verbundschichten entlang der Richtung Z in dem Strömungsprofil 10. In der Verbundschaufel 1 erstrecken sich die aufeinandergelegten oder laminierten Verbundschichten, während sie von der Richtung Z zu einer Richtung (Richtung X), welche die Richtung Z schneidet, geneigt sind und zu der Richtung X in dem Schaufelfuß 14 nach außen erweitert sind. In der Verbundschaufel 1 weitet sich die Verbundschicht entlang der Richtung X in dem Schaufelfuß 14 gemäß obiger Beschreibung, sodass die Länge (Weite) des Schaufelfüßes 14 entlang der Richtung X größer eingestellt ist als die Länge des Strömungsprofils 10 entlang der Richtung X. Genauer gesagt besitzt die Verbundschaufel 1 ein erstes Laminat 30, ein zweites Laminat 40 und ein drittes Laminat 50.

**[0022]** Das erste Laminat ist ein Laminat, in dem eine Vielzahl von Verbundschichten aufeinandergelegt oder laminiert sind. In dem Beispiel in **Fig. 2** sind in der Verbundschicht 30 Verbundschichten 32A, 32B, 32C, 32D und 32E aufeinandergelegt oder laminiert. Die Verbundschichten 32A, 32B, 32C, 32D und 32E sind in dieser Reihenfolge in der Richtung X2 aufeinandergelegt. Im Folgenden werden die Verbundschichten 32A, 32B, 32C, 32D und 32E als „Verbundschichten 32“ bezeichnet, wenn sie nicht in anderer Weise voneinander unterschieden sind. In dem Beispiel in **Fig. 2** besitzt das erste Laminat 30 fünf Verbundschichten 32, aber die Anzahl der aufeinandergelegten oder laminierten Verbundschichten 32 kann eine andere Anzahl größer als eins sein.

**[0023]** Gemäß der Darstellung in **Fig. 2** erstrecken sich die Verbundschichten 32 entlang der Richtung Z (Längsrichtung) in dem Strömungsprofil 10. Die Verbundschichten 32 sind entlang der Richtung X in dem Strömungsprofil 10 aufeinandergelegt oder laminiert. Anders ausgedrückt ist die Laminierungsrichtung der Verbundschichten 32 in dem Strömungsprofil 10 die Richtung X. Die Längsrichtung (Richtung Z), in der die Verbundschichten 32 sich erstrecken, ist orthogonal zu der Laminierungsrichtung (Richtung X).

**[0024]** In dem Schaufelfuß 14 erstrecken sich die Verbundschichten 32 entlang einer ersten Neigungsrichtung A1 von dem Schaufelendteil 21 zu dem Basisendteil 22. Die erste Neigungsrichtung A1 ist eine Richtung, die von der Richtung Z (Richtung Z2)

in einer Richtung, die die Richtung Z (Richtung Z2) schneidet, geneigt ist. Anders ausgedrückt ist die erste Neigungsrichtung A1 eine Richtung, die unter einem vorbestimmten Winkel von der Richtung Z (Richtung Z2) zu der Richtung X1 geneigt ist. Anders ausgedrückt ist die erste Neigungsrichtung A1 eine Richtung, die von der Längsrichtung (Richtung Z) zu der Laminierungsrichtung (Richtung X) in dem Strömungsprofil 10 geneigt ist. In dem Schaufelfuß 14 sind die Verbundschichten 32 entlang einer ersten Laminierungsrichtung A2 aufeinandergelegt oder laminiert. Die erste Laminierungsrichtung A2 ist eine Richtung orthogonal zu der ersten Neigungsrichtung A1 und sie ist eine Richtung, die von der Laminierungsrichtung (Richtung X1) in dem Strömungsprofil 10 zu der Richtung Z1 geneigt ist.

**[0025]** Die Verbundschichten 32 erstrecken sich kontinuierlich von dem Außenendteil 20 zu dem Basisendteil 22 durch den Schaufelendteil 21. Genauer gesagt erstrecken sich die Verbundschichten 32 entlang der Richtung Z von dem Außenendteil 20 zu dem Schaufelendteil 21 und sie erstrecken sich entlang der ersten Neigungsrichtung A1 von dem Schaufelendteil 21 zu dem Basisendteil 22, während sie zu der Richtung X1 geneigt sind.

**[0026]** **Fig. 3** und **Fig. 4** sind schematische Diagramme der Verbundschichten. **Fig. 3** ist ein schematisches Diagramm der Verbundschichten 32 in dem Strömungsprofil 10 und sie ist eine Querschnittsansicht des Strömungsprofils 10 von der Richtung Y (Richtung orthogonal zu der Längsrichtung) betrachtet, deren Querschnitt eine Ebene orthogonal zu der Richtung Y ist. **Fig. 4** ist ein schematisches Diagramm der Verbundschichten 32 in dem Schaufelfuß 14 und sie ist eine Querschnittsansicht des Schaufelfüßes 14 von der Richtung Y (Richtung orthogonal zu der Längsrichtung) betrachtet, deren Querschnitt eine Ebene orthogonal zu der Richtung Y ist.

**[0027]** Gemäß der Darstellung in **Fig. 3** besitzt die Verbundschicht 32 das Harz 34 und die Verstärkungsfasern 36. In der Verbundschicht 32 sind eine Vielzahl der Verstärkungsfasern 36 entlang der Richtung Y vorgesehen, und das Harz 34 ist um die Verstärkungsfasern 36 herum gefüllt. In den Verbundschichten 32 sind benachbarte (aufeinandergelegte) Verbundschichten 32 und das Harz 34 miteinander gebondet oder verbunden, sodass ein Teil entsprechend dem Harz 34 mit einer anderen Verbundschicht 32 integriert ist. Somit kann eine Verbundschicht 32 in dem ersten Laminat 30 als eine Schicht oder Lage betrachtet werden, in der die Verstärkungsfaser 36 und das umgebende Harz 34 liegen. Das erste Laminat 30 kann als ein Laminat betrachtet werden, in dem Schichten oder Lagen aus der Verstärkungsfaser 36 und dem umgebenden Harz 34 in der Laminierungsrichtung aufeinandergelegt sind.

**[0028]** Die Erstreckungsrichtung und die Laminierungsrichtung der Verbundschichten 32 wurden zuvor beschrieben, können aber mit der Erstreckungsrichtung und der Laminierungsrichtung der Verstärkungsfasern 36 zur Beschreibung vertauscht werden. Insbesondere erstrecken sich gemäß der Darstellung in **Fig. 3** in der Verbundschicht 32 die Verstärkungsfasern 36 entlang der Richtung Z (Längsrichtung) in dem Strömungsprofil 10. In der Verbundschicht 32 sind in dem Strömungsprofil 10 Schichten, in denen sich eine Vielzahl der Verstärkungsfasern 36 entlang der Richtung Y erstrecken, entlang der Richtung X aufeinandergelegt oder laminiert. Die Verstärkungsfaser 36 kann sich in dem Strömungsprofil 10 erstrecken, während sie von der Richtung Z zu der Richtung Y geneigt ist. Anders ausgedrückt muss sich die Verstärkungsfaser 36 nur in dem Strömungsprofil 10 zu der Richtung Z2 entlang einer Ebene parallel zu der Richtung Z erstrecken. Die Verbundschicht 32 kann darüber hinaus eine andere Verstärkungsfaser haben, die sich in einer Richtung unterschiedlich von der Richtung der Verstärkungsfaser 36 erstreckt, und die andere Verstärkungsfaser kann beispielsweise mit der Verstärkungsfaser 36 verwoben sein.

**[0029]** Gemäß der Darstellung in **Fig. 4** erstreckt sich die Verstärkungsfaser 36 in der Verbundschicht 32 in dem Schaufelfuß 14 entlang der ersten Neigungsrichtung A1 von dem Schaufelendteil 21 zu dem Basisendteil 22. In der Verbundschicht 32 sind in dem Schaufelfuß 14 Schichten, in denen sich die Verstärkungsfasern 36 entlang der Richtung Y erstrecken, entlang der ersten Laminierungsrichtung A2 aufeinandergelegt oder laminiert. Die Verstärkungsfaser 36 kann sich in dem Schaufelfuß 14 erstrecken, während sie von der ersten Neigungsrichtung A1 zu der Richtung Y geneigt ist. Anders ausgedrückt braucht die Verstärkungsfaser 36 sich nur in dem Schaufelfuß 14 zu der Richtung Z2 entlang einer Ebene parallel zu der ersten Neigungsrichtung A1 hin erstrecken.

**[0030]** Die Verstärkungsfasern 36 erstrecken sich kontinuierlich von dem Außenendteil 20 zu dem Basisendteil 22 über den Schaufelendteil 21. Insbesondere erstrecken sich die Verstärkungsfasern 36 entlang einer Ebene parallel zu der Richtung Z von dem Außenendteil 20 zu dem Schaufelendteil 21, und sie erstrecken sich entlang einer Ebene parallel zu der ersten Neigungsrichtung A1 von dem Schaufelendteil 21 zu dem Basisendteil 22, während sie zu der Richtung X1 von dem Schaufelendteil 21 geneigt sind.

**[0031]** Als nächstes wird das zweite Laminat 40 beschrieben. Ähnlich zu dem ersten Laminat 30 ist das zweite Laminat 40 ein Laminat, in dem eine Vielzahl von Verbundschichten aufeinandergelegt oder laminiert sind. Das zweite Laminat 40 ist so vorgese-

hen, dass es dem ersten Laminat 30 gegenüber liegt. In dem in **Fig. 2** gezeigten Beispiel sind in der Verbundschicht 40 Verbundschichten 42A, 42B, 42C, 42D und 42E aufeinandergelegt oder laminiert. Die Verbundschichten 42A, 42B, 42C, 42D und 42E sind in dieser Reihenfolge in der Richtung X1 aufeinandergelegt oder laminiert. In Folgendem werden die Verbundschichten 42A, 42B, 42C, 42D und 42E als „Verbundschicht 42“ bezeichnet, wenn sie nicht in anderer Weise voneinander unterschieden sind. In dem Beispiel in **Fig. 2** besitzt das zweite Laminat 40 fünf Verbundschichten 42, aber die Anzahl der aufeinandergelegten Verbundschichten 42 kann irgend eine Zahl größer als eins sein.

**[0032]** Gemäß der Darstellung in **Fig. 2** erstrecken sich die Verbundschichten 42 entlang der Richtung Z (Längsrichtung) in dem Strömungsprofil 10. Die Verbundschichten 42 sind entlang der Richtung X in dem Strömungsprofil 10 aufeinandergelegt oder laminiert. Anders ausgedrückt ist in dem Strömungsprofil 10 die Laminierungsrichtung der Verbundschichten 42 die Richtung X. Die Längsrichtung (Richtung Z), in der sich die Verbundschichten 42 erstrecken, ist orthogonal zu der Laminierungsrichtung (Richtung X).

**[0033]** Auf diese Weise sind in dem Strömungsprofil 10 die Erstreckungsrichtung und die Laminierungsrichtung der Verbundschichten 42 in dem zweiten Laminat 40 an die Erstreckungsrichtung und die Laminierungsrichtung der Verbundschichten 32 in dem ersten Laminat 30 angepasst. In dem zweiten Laminat 40 kontaktiert die Verbundschicht 42 (Verbundschicht 42E), die sich an der äußersten Seite in der Richtung X1 befindet, die Verbundschicht 32 (Verbundschicht 32E), die sich an der äußersten Seite in der Richtung X2 in dem ersten Laminat 30 befindet, bzw. ist mit dieser verbunden oder gebunden. Anders ausgedrückt kontaktiert das zweite Laminat 40 das erste Laminat 30 in dem Strömungsprofil 10 (oder ist damit verbunden). In der Verbundschaufl 1 überlappt in dem Strömungsprofil 10 eine Schnittstelle oder ein Übergang zwischen dem ersten Laminat 30 und dem zweiten Laminat 40 eine Mittelachse Ax. In der Verbundschaufl 1 ist es bevorzugt, dass in dem Strömungsprofil 10 die Längen (Weiten) des ersten Laminats 30 und des zweiten Laminats 40 entlang der Richtung X die gleichen sind.

**[0034]** In dem Schaufelfuß 14 erstrecken sich die Verbundschichten 42 entlang einer zweiten Neigungsrichtung B1 von dem Schaufelendteil 21 zu dem Basisendteil 22. Die zweite Neigungsrichtung B1 ist eine Richtung, die unter einem vorbestimmten Winkel von der Richtung Z (Richtung Z2) zu der Richtung X2 geneigt ist. Anders ausgedrückt ist die zweite Neigungsrichtung B1 eine Richtung, die von der Längsrichtung (Richtung Z) zu einer Richtung

entgegengesetzt zu der ersten Neigungsrichtung A1 geneigt ist. In dem Schaufelfuß 14 sind die Verbundschichten 42 entlang einer zweiten Laminierungsrichtung B2 aufeinandergelegt oder laminiert. Die zweite Laminierungsrichtung B2 ist eine Richtung orthogonal zu der zweiten Neigungsrichtung B1 und sie ist eine Richtung, die von der Laminierungsrichtung (Richtung X2) in dem Strömungsprofil 10 zu der Richtung Z1 geneigt ist.

**[0035]** Auf diese Weise erstrecken sich in dem Schaufelfuß 14 die Verbundschichten 42 in dem zweiten Laminat 40 in einer Richtung weg von den Verbundschichten 32 in dem ersten Laminat 30. Somit ist das zweite Laminat 40 von dem ersten Laminat 30 in dem Schaufelfuß 14 getrennt. Auf diese Weise kontaktiert das zweite Laminat 40 das erste Laminat 30 in dem Strömungsprofil 10, ist aber von dem ersten Laminat 40 in dem Schaufelfuß 14 getrennt.

**[0036]** Gemäß der Darstellung in **Fig. 3** und **Fig. 4** besitzt die Verbundschicht 42 das Harz 44 und die Verstärkungsfasern 46. Das Harz 44 und die Verstärkungsfaser 46 besitzen dieselben Konfigurationen wie diejenigen des Harzes 34 und der Verstärkungsfaser 36 in der Verbundschicht 32. Somit kann die Verbundschicht 42 als dieselbe Verbundschicht wie die Verbundschicht 32 mit Ausnahme der Erstreckungsrichtung und der Laminierungsrichtung betrachtet werden.

**[0037]** Gemäß der Darstellung in **Fig. 3** erstrecken sich in der Verbundschicht 42 die Verstärkungsfasern 46 entlang der Richtung Z (Längsrichtung) in dem Strömungsprofil 10. In den Verbundschichten 42 in dem Strömungsprofil 10 sind Schichten, in denen sich eine Vielzahl der Verstärkungsfasern 46 entlang der Richtung Y erstrecken, entlang der Richtung X aufeinandergelegt oder laminiert. Die Verstärkungsfaser 46 kann sich erstrecken, während sie von der Richtung Z zu der Richtung Y in dem Strömungsprofil 10 geneigt ist. Anders ausgedrückt muss sich die Verstärkungsfaser 46 in dem Strömungsprofil 10 nur zu der Richtung Z2 entlang einer Ebene parallel zu der Richtung Z hin erstrecken. Die Verbundschicht 42 kann ferner eine weitere Verstärkungsfaser haben, die sich in einer von der Richtung der Verstärkungsfaser 46 unterschiedlichen Richtung erstreckt, und die andere Verstärkungsfaser kann beispielsweise auch in die Verstärkungsfaser 46 eingewoben bzw. mit dieser verwoben sein. Die Erstreckungsrichtung und die Laminierungsrichtung der Verstärkungsfasern 46 kann mit der Erstreckungsrichtung und der Laminierungsrichtung der Verstärkungsfasern 36 übereinstimmen.

**[0038]** Gemäß der Darstellung in **Fig. 4** erstreckt sich in der Verbundschicht 42 die Verstärkungsfaser 46 entlang der zweiten Neigungsrichtung B1 in dem

Schaufelfuß 14. In der Verbundschicht 42 in dem Schaufelfuß 14 sind Schichten, in denen sich eine Vielzahl der Verstärkungsfasern 46 entlang der Richtung Y erstrecken, entlang der zweiten Laminierungsrichtung B2 aufeinandergelegt oder laminiert. Die Verstärkungsfaser 46 kann sich in dem Schaufelfuß 14 erstrecken, während sie von der zweiten Neigungsrichtung B1 zu der Richtung Y geneigt ist. Anders ausgedrückt muss sich die Verstärkungsfaser 46 nur in dem Schaufelfuß 14 zu der Richtung Z2 entlang einer Ebene parallel zu der zweiten Neigungsrichtung B1 hin erstrecken.

**[0039]** Als nächstes wird das dritte Laminat 50 beschrieben. Das dritte Laminat 50 ist ein Laminat, in dem eine Vielzahl von Verbundschichten aufeinandergelegt oder laminiert sind. Gemäß der Darstellung in **Fig. 2** ist das dritte Laminat 50 zwischen dem ersten Laminat 30 und dem zweiten Laminat 40 in dem Schaufelfuß 14 vorgesehen. Das dritte Laminat 50 ist insbesondere in einem Raum vorgesehen, der durch Trennen des ersten Laminats 30 und des zweiten Laminats 40 voneinander in dem Schaufelfuß 14 gebildet ist. Das dritte Laminat 50 kontaktiert das erste Laminat 30 an der Seite der Richtung X1 (ist damit gebondet oder verbunden), und kontaktiert das zweite Laminat 40 an der Seite der Richtung X2 (ist damit gebondet oder verbunden). Somit verbindet in dem Schaufelfuß 14 das dritte Laminat 50 das erste Laminat 30 mit dem zweiten Laminat 40, um das erste Laminat 30 und das zweite Laminat 40 zu integrieren.

**[0040]** Gemäß der Darstellung in **Fig. 2** erstrecken sich in dem dritten Laminat 50 Verbundschichten, die an der Seite der Richtung X1 aufeinandergelegt oder laminiert sind, d.h. auf der Seite des ersten Laminats 30, entlang der ersten Neigungsrichtung A1 (parallel zu den Verbundschichten 32). In dem dritten Laminat 50 erstrecken sich Verbundschichten, die an der Seite der Richtung X aufeinandergelegt oder laminiert sind, d.h. an der Seite des zweiten Laminats 40 (Verbundschichten an der Seite des zweiten Laminats 40 bezüglich den Verbundschichten, die sich entlang der ersten Neigungsrichtung A1 in dem dritten Laminat 50 erstrecken) entlang der zweiten Neigungsrichtung B1 (parallel zu Verbundschichten 42).

**[0041]** Genauer gesagt besitzt das dritte Laminat 50 gemäß der Darstellung in **Fig. 2** ein drittes Laminat 60 von einer Seite und ein drittes Laminat 70 von einer anderen Seite. Das dritte Laminat 60 der einen Seite ist ein Laminat aus Verbundschichten, die in einem Bereich in dem dritten Laminat 50 an der Seite der Richtung X1 vorgesehen sind, d.h. an der Seite des ersten Laminats 30. Bei dem vorliegenden Beispiel ist das Laminat 60 der einen Seite an der Seite der Richtung X1 bezüglich der Mittelachse

Ax und an der Richtung X2 bezüglich dem ersten Laminat 30 vorgesehen.

**[0042]** Bei dem Beispiel in **Fig. 2** sind in dem dritten Laminat 60 der einen Seite Verbundschichten 62A, 62B, 62C, 62D, 62E und 62F aufeinandergelegt oder laminiert. Die Verbundschichten 62A, 62B, 62C, 62D, 62E und 62F sind in dieser Reihenfolge in der Richtung X2 aufeinandergelegt oder laminiert. Im Folgenden werden die Verbundschichten 62A, 62B, 62C, 62D, 62E und 62F als „Verbundschichten 62“ bezeichnet, wenn sie nicht in anderer Weise von einander unterschieden sind. Das dritte Laminat 60 der einen Seite ist mit dem ersten Laminat 30 gebunden oder verbunden. Insbesondere kontaktiert in dem dritten Laminat 60 der einen Seite die Verbundschicht 62 (Verbundschicht 62A), die sich an der äußersten Seite in der Richtung X1 befindet, die Verbundschicht 32 (Verbundschicht 32E), die sich an der äußersten Seite in der Richtung X2 in dem ersten Laminat 30 befindet, oder ist damit verbunden. In dem Beispiel in **Fig. 2** besitzt das dritte Laminat 60 der einen Seite sechs Verbundschichten 62, aber die Anzahl der aufeinandergelegten oder laminierten Verbundschichten 62 kann jede Zahl größer als eins sein.

**[0043]** Die Verbundschichten 62 sind in dem Schaufelfuß 14 vorgesehen und erstrecken sich entlang der ersten Neigungsrichtung A1 von dem Schaufelendteil 21 zu dem Basisendteil 22. Die Verbundschichten 62 sind entlang der ersten Laminierungsrichtung A2 aufeinandergelegt oder laminiert. Anders ausgedrückt sind die Erstreckungsrichtung und die Laminierungsrichtung der Verbundschichten 62 dieselben wie diejenigen der Verbundschichten 32 in dem ersten Laminat 30.

**[0044]** Die Verbundschicht 62 erstreckt sich entlang der ersten Neigungsrichtung A1 von einem Endteil 63A an der Seite des Schaufelendteils 21 zu einem Endteil 63B an der Seite des Basisendteils 22. In dem dritten Laminat 60 der einen Seite liegen die Endteile 63A der Verbundschichten 62 nahe der Mittelachse Ax so angeordnet, dass sie in einer Reihe entlang der Richtung Z sind. Anders ausgedrückt überlappen die Endteile 63A der Verbundschicht 62 einander in der Richtung Z betrachtet. In dem dritten Laminat 60 der einen Seite sind die Endteile 63B der Verbundschichten 62 so angeordnet, dass sie in einer Reihe entlang der Richtung X an dem Basisendteil 22 liegen.

**[0045]** Gemäß der Darstellung in **Fig. 4** besitzt die Verbundschicht 62 das Harz 64 und die Verstärkungsfasern 66. Das Harz 64 und die Verstärkungsfaser 66 besitzen dieselben Konfigurationen wie diejenigen des Harzes 34 und der Verstärkungsfaser 36 in der Verbundschicht 32. Somit kann die Verbundschicht 62 als eine Verbundschicht mit derselben

Erstreckungsrichtung und derselben Laminierungsrichtung wie diejenigen der Verbundschicht 32 betrachtet werden.

**[0046]** Gemäß der Darstellung in **Fig. 4** erstrecken sich in der Verbundschicht 62 die Verstärkungsfasern 66 entlang der ersten Neigungsrichtung A1. In der Verbundschicht 62 sind Schichten, in denen sich eine Vielzahl der Verstärkungsfasern 66 entlang der Richtung Y erstrecken, entlang der ersten Laminierungsrichtung A2 aufeinandergelegt oder laminiert. Die Verstärkungsfaser 66 kann sich erstrecken, während sie von der ersten Neigungsrichtung A1 zu der Richtung Y geneigt ist. Anders ausgedrückt muss sich die Verstärkungsfaser 66 nur zu der Richtung Z2 entlang einer Ebene parallel zu der ersten Neigungsrichtung A1 hin erstrecken. Die Erstreckungsrichtung und die Laminierungsrichtung der Verstärkungsfasern 66 kann mit der Erstreckungsrichtung und der Laminierungsrichtung der Verstärkungsfasern 36 in dem Schaufelfuß 14 übereinstimmen. In der Verbundschicht 62 kann ein Endteil der Verstärkungsfaser 66 an der Seite des Schaufelendteils 21 als der Endteil 63A betrachtet werden. Die Verbundschicht 62 kann ferner eine weitere Verstärkungsfaser haben, die sich in einer Richtung unterschiedlich von der Richtung der Verstärkungsfaser 66 erstreckt, und die andere Verstärkungsfaser kann beispielsweise in die Verstärkungsfaser 66 eingewoben bzw. mit dieser verwoben sein.

**[0047]** Das dritte Laminat 70 der anderen Seite ist ein Laminat aus Verbundschichten, die in einem Bereich in dem dritten Laminat 50 an der Seite der Richtung X2 vorgesehen sind, d.h. an der Seite des zweiten Laminats 40. Bei dem vorliegenden Beispiel ist das dritte Laminat 70 der anderen Seite an der Seite der Richtung X2 vorgesehen bezüglich dem dritten Laminat 60 der einen Seite (Mittelachse Ax) und an der Seite der Richtung X1 bezüglich dem zweiten Laminat 40.

**[0048]** Bei dem Beispiel in **Fig. 2** sind in dem dritten Laminat 70 der anderen Seite Verbundschichten 72A, 72B, 72C, 72D, 72E und 72F aufeinandergelegt oder laminiert. Die Verbundschichten 72A, 72B, 72C, 72D, 72E und 72F sind in dieser Reihenfolge zu der Richtung X1 hin aufeinandergelegt oder laminiert. Im Folgenden werden die Verbundschichten 72A, 72B, 72C, 72D, 72E und 72F als „Verbundschichten 72“ bezeichnet, wenn sie nicht in anderer Weise von einander unterschieden sind. Die Oberfläche des dritten Laminats der anderen Seite 70 an der Seite der Richtung X2 ist mit dem zweiten Laminat 40 gebunden oder damit verbunden. Insbesondere kontaktiert in dem dritten Laminat 70 der anderen Seite die Verbundschicht 72 (Verbundschicht 72A), die sich an der äußersten Seite in der Richtung X2 befindet, die Verbundschicht 42 (Verbundschicht 42E), die sich an der äußersten Seite in der Richtung X1 in dem zweiten

Laminat 40 befindet, bzw. ist damit verbunden oder gebondet. Das dritte Laminat 70 der anderen Seite an der Seite der Richtung X1 ist mit dem dritten Laminat 60 der einen Seite verbunden oder gebondet. In dem Beispiel in **Fig. 2** besitzt das dritte Laminat 70 der anderen Seite sechs Verbundschichten 72, aber die Anzahl der aufeinandergelegten Verbundschichten 72 kann jede Zahl größer als eins sein.

**[0049]** Die Verbundschichten 72 sind in dem Schaufelfuß 14 vorgesehen und erstrecken sich entlang der zweiten Neigungsrichtung B1 von dem Schaufelendteil 21 zu dem Basisendteil 22. Die Verbundschichten 72 sind entlang der zweiten Laminierungsrichtung B2 aufeinandergelegt oder laminiert. Anders ausgedrückt sind die Erstreckungsrichtung und die Laminierungsrichtung der Verbundschicht 72 dieselben wie diejenigen der Verbundschicht 42 in dem zweiten Laminat 40.

**[0050]** Die Verbundschicht 72 erstreckt sich entlang der zweiten Neigungsrichtung B1 von einem Endteil 73A an der Seite des Schaufelendteils 21 zu einem Endteil 73B an der Seite des Basisendteils 22. In dem dritten Laminat 70 der anderen Seite sind die Endteile 73A der Verbundschichten 72 nahe der Mittelachse Ax so angeordnet, dass sie in einer Reihe entlang der Richtung Z liegen. Anders ausgedrückt überlappen die Endteile 73A der Verbundschichten 72 in der Richtung Z betrachtet. In dem dritten Laminat 70 der anderen Seite sind die Endteile 73B der Verbundschichten 72 so angeordnet, dass sie in einer Reihe entlang der Richtung X in dem Basisendteil 22 liegen.

**[0051]** Gemäß der Darstellung in **Fig. 4** besitzt die Verbundschicht 72 das Harz 74 und die Verstärkungsfasern 76. Das Harz 74 und die Verstärkungsfaser 76 besitzen dieselben Konfigurationen wie diejenigen des Harzes 34 und der Verstärkungsfaser 63 in der Verbundschicht 32. Somit kann die Verbundschicht 72 als dieselbe Verbundschicht wie die Verbundschicht 32 betrachtet werden, mit Ausnahme der Erstreckungsrichtung und der Laminierungsrichtung.

**[0052]** Gemäß der Darstellung in **Fig. 4** erstrecken sich in der Verbundschichten 72 die Verstärkungsfasern 76 entlang der zweiten Neigungsrichtung B1. In der Verbundschicht 72 sind Schichten, in denen sich eine Vielzahl von Verstärkungfasern 76 entlang der Richtung Y erstrecken, entlang der zweiten Laminierungsrichtung B2 aufeinandergelegt oder laminiert. Die Verstärkungsfaser 76 kann sich erstrecken, während sie von der zweiten Neigungsrichtung B1 zu der Richtung Y geneigt ist. Anders ausgedrückt muss sich die Verstärkungsfaser 76 nur zu der Richtung Z2 entlang einer Ebene parallel zu der zweiten Neigungsrichtung B1 hin erstrecken. Die Erstreckungsrichtung und die Laminierungsrichtung der Verstär-

kungsfasern 76 kann mit der Erstreckungsrichtung und der Laminierungsrichtung der Verstärkungsfasern 46 in dem Schaufelfuß 14 übereinstimmen. In der Verbundschicht 72 kann ein Endteil der Verstärkungsfaser 76 an der Seite des Schaufelendteils 21 als der Endteil 73A betrachtet werden. Die Verbundschicht 72 kann ferner eine weitere Verstärkungsfaser haben, die sich in einer Richtung unterschiedlich von der Richtung der Verstärkungsfaser 76 erstreckt, und die andere Verstärkungsfaser kann beispielsweise in die Verstärkungsfaser 76 eingewoben bzw. mit dieser verwoben sein.

**[0053]** Der Endteil 73A der Verbundschicht 72 ist so vorgesehen, dass er dem Endteil 63A der Verbundschicht 62 in der Richtung X über der Mittelachse Ax entgegengesetzt ist bzw. gegenüberliegt. Die Verbundschicht 62 (beispielsweise die Verbundschicht 62A) und die Verbundschicht 72 (beispielsweise die Verbundschicht 72A), die einander entgegengesetzt sind, haben insbesondere eine dreieckige Form, in der die Verbundschichten 62 und 72 zwei Seiten bilden und der Endteil 63A der von den zwei Seiten umgebene Scheitel ist. Anders ausgedrückt sind in dem dritten Laminat 70 der anderen Seite die Verbundschichten 72 aufeinandergelegt oder laminiert, sodass sie liniensymmetrisch sind zu den Verbundschichten 62 in dem dritten Laminat 60 der einen Seite über der Mittelachse Ax sind.

**[0054]** Gemäß obiger Beschreibung umfasst die Verbundschaufel 1 das erste Laminat 30, das zweite Laminat 40 und das dritte Laminat 50 (drittes Laminat 60 der einen Seite und drittes Laminat 70 der anderen Seite). In dem dritten Laminat 50 ist ein Lagenabfallteil (Englisch: „ply drop“) P zwischen dem Endteil 63A und dem Endteil 73A, die einander gegenüberliegen, ausgebildet. Der Lagenabfallteil P bezieht sich auf einen Bereich zwischen Verbundschichten, in dem die Anzahl der aufeinandergelegten Verbundschichten verringert ist und der mit Harz ohne Verstärkungsfasern ausgefüllt ist. Gemäß obiger Beschreibung sind der Endteil 63A und der Endteil 73A nahe der Mittelachse Ax vorgesehen und sie liegen einander über der Mittelachse Ax gegenüber. Die Endteile 63A sind in der Richtung Z angeordnet und die Endteile 73A sind ebenfalls in der Richtung Z angeordnet. Somit ist in dem Schaufelfuß 14 der Lagenabfallteil P so vorgesehen, dass er die Mittelachse Ax überlappt. Eine Vielzahl der Lagenabfallteile P sind bei jeder der Verbundschicht 62 und der Verbundschicht 72, die einander gegenüberliegen, vorgesehen, und sie sind in einer Reihe entlang der Richtung Z angeordnet. Die Mittelachse Ax kann als ein Mittelteil zwischen dem ersten Laminat 30 und dem zweiten Laminat 40 angesehen werden.

**[0055]** Gemäß der Darstellung in **Fig. 3** wird in dem Strömungsprofil 10 ein Mitte-zu-Mitte-Abstand (Teilung oder Pitch) zwischen den Verstärkungsfasern

36 in den Verbundschichten 32, die einander in der Laminierungsrichtung benachbart sind, als „Distanz L1“ bezeichnet. In dem Strömungsprofil 10 wird ein Mitte-zu-Mitte-Abstand (Teilung oder Pitch) zwischen den Verstärkungsfasern 46 in den Verbundschichten 42, die einander in der Laminierungsrichtung benachbart sind, als „Distanz L2“ bezeichnet. In diesem Fall ist es bevorzugt, dass die Distanz L1 gleich der Distanz L2 ist.

**[0056]** Gemäß der Darstellung in **Fig. 4** wird in dem Schaufelfuß 14 ein Mitte-zu-Mitte-Abstand (Teilung oder Pitch) zwischen den Verstärkungsfasern 36 in den Verbundschichten 32, die einander in der Laminierungsrichtung benachbart sind, als „Distanz L3“ bezeichnet. In dem Schaufelfuß 14 wird ein Mitte-zu-Mitte-Abstand (Teilung oder Pitch) zwischen den Verstärkungsfasern 46 in den Verbundschichten 42, die einander in der Laminierungsrichtung benachbart sind, als „Distanz L4“ bezeichnet. Ein Mitte-zu-Mitte-Abstand (Teilung oder Pitch) zwischen den Verstärkungsfasern 66 in den Verbundschichten 62, die einander in der Laminierungsrichtung benachbart sind, wird als „Distanz L5“ bezeichnet. Ein Mitte-zu-Mitte-Abstand (Teilung oder Pitch) zwischen den Verstärkungsfasern 76 in den Verbundschichten 72, die einander in der Laminierungsrichtung benachbart sind, wird als „Distanz L6“ bezeichnet. In diesem Fall ist es bevorzugt, dass die Distanz L3 gleich der Distanz L4, der Distanz L5 und der Distanz L6 ist. Es ist bevorzugt, dass die Distanz L3 gleich der Distanz L1 ist und die Distanz L4 gleich der Distanz L2 ist.

**[0057]** Ein Verfahren zum Herstellen (Aufeinanderlegen oder Laminieren) einer Verbundschaufel 1 ist im Folgenden beschrieben. **Fig. 5** ist ein schematisches Diagramm zum Beschreiben eines Verfahrens zum Herstellen der Verbundschaufel gemäß dem ersten Beispiel. Gemäß der Darstellung in **Fig. 5** wird beim Herstellen der Verbundschaufel 1 ein erster Laminat-Bildungsschritt ausgeführt (Schritt S10). Bei dem ersten Laminat-Bildungsschritt werden Verbundschichten 32 auf einer Basis 100 zur Bildung eines ersten Laminats 30 aufeinandergelegt oder laminiert. Bei dem ersten Laminat-Bildungsschritt werden die Verbundschichten 32 so aufeinandergelegt, dass jede Verbundschicht 32 sich entlang der Richtung Z (Längsrichtung) an einer Stelle erstreckt, um zu einem Strömungsprofil 10 zu werden, und sich entlang der ersten Neigungsrichtung A1 an einer Stelle erstreckt, um zu einem Schaufelfuß 14 zu werden. Bei dem vorliegenden Beispiel werden bei dem ersten Laminat-Bildungsschritt Verbundschichten 62 an einer Stelle an dem ersten Laminat 30 aufeinandergelegt, um zu dem Schaufelfuß 14 zu werden, um ein drittes Laminat 60 einer ersten Seite an dem ersten Laminat 30 zu bilden. Bei dem ersten Laminat-Bildungsschritt sind die Verbundschichten 32 und 62 in dem Zustand, bei dem Harze 34 und 64 ungehärtet sind, d.h. als Prepregs vorliegen.

**[0058]** Nachdem der erste Laminat-Bildungsschritt beendet ist, wird ein zweiter Laminat-Bildungsschritt ausgeführt (Schritt S12). Bei dem zweiten Laminat-Bildungsschritt werden Verbundschichten 42 auf der Basis 100 zur Bildung eines zweiten Laminats 40 aufeinandergelegt oder laminiert. Bei dem zweiten Laminat-Bildungsschritt werden die Verbundschichten 42 so aufeinandergelegt, dass sich jede Verbundschicht 42 entlang der Richtung Z (Längsrichtung) zu einer Stelle erstreckt, um zu dem Strömungsprofil 10 zu werden, und sich entlang der zweiten Neigungsrichtung B1 an einer Stelle erstreckt, um zu dem Schaufelfuß 14 zu werden. Bei dem vorliegenden Beispiel werden bei dem zweiten Laminat-Bildungsschritt Verbundschichten 72 an einer Stelle an dem zweiten Laminat 40 aufeinandergelegt, um zu dem Schaufelfuß 14 zu werden, um ein drittes Laminat 70 einer anderen Seite an dem zweiten Laminat 40 zu bilden. Bei dem zweiten Laminat-Bildungsschritt sind die Verbundschichten 42 und 72 in dem Zustand, bei dem Harze 44 und 74 nicht gehärtet sind, d.h. sie als Prepreg vorliegen. Der zweite Laminat-Bildungsschritt muss nicht notwendig nach dem ersten Laminat-Bildungsschritt ausgeführt werden, sondern kann vor oder gleichzeitig mit dem ersten Laminat-Bildungsschritt ausgeführt werden.

**[0059]** Nachdem der erste Laminat-Bildungsschritt und der zweite Verbundmaterial-Bildungsschritt abgeschlossen sind, wird ein dritter Laminat-Bildungsschritt ausgeführt (Schritt S14). Bei dem dritten Laminat-Bildungsschritt werden das erste Laminat 30, das bei dem ersten Laminat-Bildungsschritt gebildet wurde, und das zweite Laminat 40, das bei dem zweiten Laminat-Bildungsschritt gebildet wurde, miteinander gebondet oder verbunden. Insbesondere wird bei dem dritten Laminat-Bildungsschritt an einer Stelle, die zu dem Strömungsprofil 10 wird, die Oberfläche (der Verbundschicht 32E) des ersten Laminats 30 mit der Oberfläche (der Verbundschicht 42E) des zweiten Laminats 40 gebondet oder verbunden. Bei dem dritten Laminat-Bildungsschritt werden das dritte Laminat 60 der einen Seite und das dritte Laminat 70 der anderen Seite an einer Stelle miteinander gebondet oder verbunden, die zu dem Schaufelfuß 14 wird. Auf diese Weise wird bei dem dritten Laminat-Bildungsschritt ein drittes Laminat 50, in dem das dritte Laminat 60 der einen Seite und das dritte Laminat 70 der anderen Seite verbunden sind, an einer Stelle ausgebildet, die zu dem Schaufelfuß 14 wird. Außerdem befindet sich bei dem dritten Laminat-Bildungsschritt jede Verbundschicht in dem Zustand, bei dem Harz ungehärtet ist, d.h. diese als Prepreg vorliegt. Durch Ausführen des dritten Laminat-Bildungsschritts auf diese Weise wird ein ungehärteter Körper der Verbundschaufel 1 erzeugt.

**[0060]** Nachdem der dritte Laminat-Bildungsschritt abgeschlossen ist, wird ein Formschritt ausgeführt

(Schritt S16). Bei dem Formsschritt wird das Harz in dem ungehärteten Körper der Verbundschaufel 1, der in dem dritten Laminat-Bildungsschritt gebildet wurde, gehärtet, um die Verbundschaufel 1 zu formen. Beispielsweise wird bei dem Formsschritt der ungehärtete Körper der Verbundschaufel 1 mit einem Beutelmaterial 110 abgedeckt und vakuumiert und dann in einem Autoklav-Ofen mit Druck beaufschlagt und erhitzt, um das Harz zu härten, wodurch die Verbundschaufel 1 geformt wird. Auf diese Weise wird die Herstellung der Verbundschaufel 1 abgeschlossen. Bei dem Formsschritt ist das Formverfahren nicht auf das obige beschränkt, solange das Harz gehärtet wird, um einen gehärteten Körper der Verbundschaufel 1 zu formen.

**[0061]** Bei dem vorliegenden Beispiel wird das dritte Laminat 60 der einen Seite bei dem ersten Laminat-Bildungsschritt ausgebildet und das dritte Laminat 70 der anderen Seite wird bei dem zweiten Laminat-Bildungsschritt ausgebildet, wobei das Beispiel aber darauf nicht beschränkt ist. Das dritte Laminat 60 der einen Seite muss nicht notwendig bei dem ersten Laminat-Bildungsschritt ausgebildet werden, und das dritte Laminat 70 der anderen Seite muss nicht notwendig bei dem zweiten Laminat-Bildungsschritt ausgebildet werden. In diesem Fall werden beispielsweise bei dem dritten Laminat-Bildungsschritt das erste Laminat 30 und das zweite Laminat 40 gebunden oder gegenübergesetzt, während sie voneinander an einer Stelle getrennt sind, die zu dem Strömungsprofil 10 wird, und dann werden das dritte Laminat 60 der einen Seite und das dritte Laminat 70 der anderen Seite zwischen dem ersten Laminat 30 und dem zweiten Laminat 40 an einer Stelle, die zu dem Schaufelfuß 14 wird, ausgebildet.

**[0062]** Gemäß obiger Beschreibung wird die Verbundschaufel 1 gemäß dem vorliegenden Beispiel ausgebildet durch Aufeinanderlegen oder Laminieren von Verbundschichten, in denen Verstärkungsfasern mit Harz getränkt oder imprägniert sind, und sie umfasst den Schaufelfuß 14 und das Strömungsprofil 10, das sich von dem Schaufelfuß 14 in der Richtung Z (Längsrichtung) erstreckt. Die Verbundschaufel 1 umfasst das erste Laminat 30, das zweite Laminat 40 und das dritte Laminat 50. Das erste Laminat 30 ist ein Laminat der Verbundschichten 32 und erstreckt sich entlang der Längsrichtung (Richtung Z) in dem Strömungsprofil 10. In dem Schaufelfuß 14 erstreckt sich das erste Laminat 30 entlang der ersten Neigungsrichtung A1, die zu einer Richtung geneigt ist, die die Längsrichtung (Richtung Z) schneidet. In dem Strömungsprofil 10 erstreckt sich das zweite Laminat 40 entlang der Längsrichtung (Richtung Z) und kontaktiert das erste Laminat 30. In dem Schaufelfuß 14 erstreckt sich das zweite Laminat 40 entlang einer zweiten Neigungsrichtung B1, die zu einer Richtung geneigt ist, die zu der ersten Neigungsrichtung A1 entgegengesetzt ist, und es

ist von dem ersten Laminat 30 getrennt. Das dritte Laminat 50 ist zwischen dem ersten Laminat 30 und dem zweiten Laminat 40 in dem Schaufelfuß 14 vorgesehen.

**[0063]** Eine Turbinenschaufel besitzt das Strömungsprofil 10 und den Schaufelfuß 14. Der Schaufelfuß 14 besitzt eine Dicke (Länge entlang der Richtung X), die größer ist als die des Strömungsprofils 10 ist. Um eine Turbinenschaufel durch Aufeinanderlegen oder Laminieren von Verbundschichten herzustellen, müssen die Verbundschichten, die sich von dem Strömungsprofil 10 erstrecken, in dem Bereich des Schaufelfußes 14 nach außen erweitert werden. In diesem Fall werden die Verbundschichten in dem Schaufelfuß 14 nach außen erweitert und daher kann der Zwischenschichtabstand (Abstand zwischen Verstärkungsfasern) zwischen Verbundschichten länger oder größer werden als in dem Strömungsprofil 10. Anders ausgedrückt besitzt der Schaufelfuß 14 einen großen Bereich ohne Verstärkungsfasern und dessen Festigkeit kann verringert sein.

**[0064]** Bei der Verbundschaufel 1 gemäß dem vorliegenden Beispiel sind andererseits in dem Schaufelfuß 14 die Verbundschichten 32 in dem ersten Laminat 30 zu der ersten Neigungsrichtung A1 geneigt, und die Verbundschichten 42 in dem zweiten Laminat 40 sind zu der zweiten Neigungsrichtung B1 geneigt, sodass der Schaufelfuß 14 in geeigneter Weise mit einer größeren Dicke gebildet werden kann. Außerdem sind in dem Schaufelfuß 14 das erste Laminat 30 und das zweite Laminat 40 getrennt, und das dritte Laminat 50 ist an einer Stelle vorgesehen, wo das erste Laminat 30 und das zweite Laminat 40 getrennt sind. Entsprechend kann bei der Verbundschaufel 1 die Verringerung der Festigkeit des Schaufelfußes 14 durch Kompensation mit einem Bereich mit Verstärkungsfasern durch das dritte Laminat 50 in dem Schaufelfuß 14 vermindert oder verhindert sein.

**[0065]** Die Verbundschaufel 1 besitzt den Lagenabfallteil P. Der Lagenabfallteil P ist ein Bereich, der keine Verstärkungsfaser enthält, sodass der Lagenabfallteil P eine verhältnismäßig geringe Festigkeit besitzt und ein Ausgangspunkt einer Entschichtung oder Delamination der Verbundschichten sein kann. Wenn eine Gasturbine angetrieben wird, wirkt eine Zentrifugalkraft in der Richtung Z1 auf die Verbundschaufel 1 und der Schaufelfuß 14 ist in der Nut 2A in der Turbinenscheibe 2 festgelegt, sodass eine Belastung zur Abschälung der Verbundschichten auf den Schaufelfuß 14 wirkt. Diese Belastung wird von der Oberfläche des Schaufelfußes 14 zu der Mittelachse Ax niedriger. Bei der Verbundschaufel 1 können die Lagenabfallteile P nahe der Mittelachse Ax konzentriert werden, wo eine Belastung gering ist, und es kann verhindert werden, dass sie sich nahe bei der Oberfläche befinden. Entsprechend kann bei der

Verbundschaufel 1 die Verringerung der Festigkeit des Schaufelfußes 14 vermindert oder verhindert werden, um das Abschälen in dem Schaufelfuß zu vermindern oder verhindern.

**[0066]** In dem dritten Laminat 50 strecken sich die Verbundschichten 62, die auf der Seite des ersten Laminats 30 aufeinandergelegt sind, entlang der ersten Neigungsrichtung A1, und die Verbundschichten 72, die an der Seite des zweiten Laminats 40 aufeinandergelegt sind, erstrecken sich entlang der zweiten Neigungsrichtung B1. Durch Ausrichten der Erstreckungsrichtung der Verbundschichten in dem dritten Laminat 50 mit dem ersten Laminat 30 und dem zweiten Laminat 40 gemäß obiger Beschreibung kann die Verbundschicht 1 die Lagenabfallteile P in geeigneter Weise nahe der Mittelachse Ax konzentrieren und das Abschälen in dem Schaufelfuß vermindern oder verhindern.

**[0067]** In dem ersten Laminat 30 erstreckt sich die Verstärkungsfaser 36 in der Verbundschicht 32 kontinuierlich von dem Strömungsprofil 10 zu dem Schaufelfuß 14. Die Verstärkungsfaser 36 erstreckt sich entlang einer Ebene parallel zu der Längsrichtung (Richtung Z) in dem Strömungsprofil 10 und sie erstreckt sich entlang einer Ebene parallel zu der ersten Neigungsrichtung A1 in dem Schaufelfuß 14. In dem zweiten Laminat 40 erstreckt sich die Verstärkungsfaser 46 in der Verbundschicht 42 kontinuierlich von dem Strömungsprofil 10 zu dem Schaufelfuß 14. Die Verstärkungsfaser 46 erstreckt sich entlang einer Ebene parallel zu der Längsrichtung (Richtung Z) in dem Strömungsprofil 10 und sie erstreckt sich entlang einer Ebene parallel zu der ersten Neigungsrichtung B1 in dem Schaufelfuß 14. In dem dritten Laminat 50 erstrecken sich die Verstärkungsfasern 76 in den Verbundschichten 62, die auf der Seite des ersten Laminats 30 aufeinandergelegt sind, entlang einer Ebene parallel zu der ersten Neigungsrichtung A1. In dem dritten Laminat 50 erstrecken sich die Verstärkungsfasern 76 in den Verbundschichten 72, die auf der Seite des zweiten Laminats 40 aufeinandergelegt sind, entlang einer Ebene parallel zu der zweiten Neigungsrichtung B1. Durch Ausrichten der Erstreckungsrichtung der Verstärkungsfasern 66 in dem dritten Laminat 50 mit der Ebene parallel zu der ersten Neigungsrichtung A1 und durch Ausrichten der Erstreckungsrichtung der Verstärkungsfasern 76 in dem dritten Laminat 50 mit der Ebene parallel zu der zweiten Neigungsrichtung B1 können bei der Verbundschaufel 1 die Lagenabfallteile P in geeigneter Weise nahe bei der Mittelachse Ax konzentriert werden. Entsprechend kann bei der Verbundschaufel 1 das Abschälen in dem Schaufelfuß 14 vermindert oder verhindert werden.

**[0068]** Das dritte Laminat 50 umfasst das dritte Laminat 60 der einen Seite und das dritte Laminat

70 der anderen Seite. Das dritte Laminat 60 der einen Seite ist an der Seite des ersten Laminats 30 vorgesehen, und die Verstärkungsfaser 66 in der Verbundschicht 62 erstreckt sich entlang einer Ebene parallel zu der ersten Neigungsrichtung A1. Das dritte Laminat 70 der anderen Seite ist an der Seite des zweiten Laminats 40 vorgesehen, und die Verstärkungsfaser 66 in der Verbundschicht 72 erstreckt sich entlang einer Ebene parallel zu der zweiten Neigungsrichtung B1. Durch Vorsehen des dritten Laminats der einen Seite 60 und des dritten Laminats der anderen Seite 70 können bei der Verbundschaufel 1 die Lagenabfallteile P nahe der Mittelachse Ax in geeigneter Weise konzentriert werden. Entsprechend kann bei der Verbundschaufel 1 das Abschälen in dem Schaufelfuß 14 vermindert oder verhindert werden.

**[0069]** Das Außenende (Endteil 63A) der Verstärkungsfaser 66 in dem dritten Laminat 60 der einen Seite ist entgegengesetzt zu dem Außenende (Endteil 73A) der Verstärkungsfaser 76 in dem dritten Laminat 70 der anderen Seite. Durch Gegenüberstellen des Außenendes der Verstärkungsfaser 66 und des Außenendes der Verstärkungsfaser 76 zueinander können bei der Verbundschaufel 1 die Lagenabfallteile P nahe der Mittelachse Ax in geeigneter Weise konzentriert werden. Entsprechend kann bei der Verbundschaufel 1 das Abschälen in dem Schaufelfuß 14 vermindert oder verhindert werden.

**[0070]** Die Stelle, an der das Außenende (Endteil 63A) der Verstärkungsfaser 66 dem dritten Laminat 60 der einen Seite und das Außenende (Endteil 73A) der Verstärkungsfaser 76 in dem dritten Laminat 70 der anderen Seite gegenüberliegen bzw. entgegengesetzt sind, befindet sich zwischen dem ersten Laminat 30 und dem zweiten Laminat 40 in dem Schaufelfuß 14, und an einem Mittelteil (nahe der Mittelachse Ax) zwischen dem ersten Laminat 30 und dem zweiten Laminat 40. Die Stelle, an der der Endteil 63A und der Endteil 73A einander entgegengesetzt sind, d.h. die Stelle zwischen dem Endteil 63A und dem Endteil 73A ist der Lagenabfallteil P, der ein Bereich ist, der mit Harz gefüllt ist und keine Verstärkungsfasern aufweist. Durch Vorsehen des Lagenabfallteils P an dem Mittelteil, wo eine Belastung in der Abschälrichtung gering ist, kann bei der Verbundschaufel 1 das Abschälen in dem Schaufelfuß 14 vermindert oder verhindert werden.

**[0071]** Die Fig. 6 ist ein schematisches Diagramm, das ein weiteres Beispiel der Verbundschaufel 1 zeigt. Bei dem vorliegenden Beispiel sind der Endteil 63A und der Endteil 73A einander entgegengesetzt in der Richtung X über der Mittelachse Ax. Der Endteil 63A und der Endteil 73A müssen aber nicht notwendig einander in der Richtung X über der Mittelachse Ax gegenüberliegen. Erfahrungsgemäß liegt der Endteil 63A der Verbundschicht 62 gemäß der

Darstellung in **Fig. 6** der Oberfläche der Verbundschicht 72 gegenüber, und der Endteil 73A der Verbundschicht 72 liegt der Oberfläche der Verbundschicht 62 gegenüber. Bei der Ausführungsform in **Fig. 6** liegt der Endteil 63A der Verbundschicht 62A der Oberfläche der Verbundschicht 72A gegenüber, der Endteil 73A der Verbundschicht 72B liegt der Oberfläche der Verbundschicht 62A gegenüber, und der Endteil 63A der Verbundschicht 62B liegt der Oberfläche der Verbundschicht 72B gegenüber. Anders ausgedrückt liegen bei der Ausführungsform in **Fig. 6** die Endteile der Verbundschicht 62 und der Verbundschicht 72 abwechselnd der Oberfläche der anderen (passenden) Verbundschicht gegenüber. Durch das Gegenüber-Anordnen des Endteils und der Oberfläche zueinander kann der Bereich des Lagenabfallteiles P vermindert werden, um die Verringerung der Festigkeit des Schaufelfußes 14 zu vermindern oder zu verhindern.

**[0072]** Als nächstes wird ein zweites, nicht-erfindungsgemäßes Beispiel zur Erläuterung von Merkmalen der Erfindung beschrieben. Eine Verbundschaufel 1a gemäß dem zweiten Beispiel unterscheidet sich von dem ersten Beispiel in der Struktur eines dritten Laminats 50a. Bei dem zweiten Beispiel werden Beschreibungen von Teilen, deren Konfigurationen mit dem ersten Beispiel gemeinsam sind, weggelassen.

**[0073]** Die **Fig. 7** ist ein schematisches Diagramm, das die detaillierte Konfiguration der Verbundschaufel gemäß dem zweiten Beispiel verdeutlicht. **Fig. 8** ist ein schematisches Diagramm von Verbundschichten gemäß dem zweiten Beispiel. Gemäß der Darstellung in **Fig. 7** besitzt die Verbundschaufel 1a das dritte Laminat 50a. Bei dem dritten Laminat 50a sind Verbundschichten 52Aa, 52Ba, 52Ca, 52Da, 52Ea, und 52Fa aufeinandergelegt oder laminiert. Die Verbundschichten 52Aa, 52Ba, 52Ca, 52Da, 52Ea, und 52Fa sind in dieser Reihenfolge entlang der Richtung X1 aufeinandergelegt oder laminiert. Im Folgenden werden die Verbundschichten 52Aa, 52Ba, 52Ca, 52Da, 52Ea, und 52Fa als „Verbundschichten 52“ bezeichnet, wenn sie nicht in anderer Weise voneinander unterschieden werden.

**[0074]** Die Verbundschicht 52 erstreckt sich von einem Endteil 53A zu einem Endteil 53C über einen Zwischenteil 53B. Der Endteil 53A ist ein Endteil der Verbundschicht 52 an der Seite der Richtung X2. Der Endteil 53C ist ein Endteil der Verbundschicht 52 an der Seite der Richtung X1. Der Zwischenteil 53B ist eine Stelle zwischen dem Endteil 53A und dem Endteil 53C. Der Zwischenteil 53B ist in einer Position vorgesehen, die die Mittelachse Ax überlappt. Ein Bereich von dem Endteil 53A zu dem Zwischenteil 53B ist eine Stelle der Verbundschicht 52 an der Seite der Richtung X2, und ein Bereich von dem Zwi-

schenteil 53B zu dem Endteil 53C ist eine Stelle der Verbundschicht 52 an der Seite der Richtung X1.

**[0075]** Bei der Verbundschicht 52 erstreckt sich der Bereich von dem Zwischenteil 53B zu dem Endteil 53A an der Seite der Richtung X2 entlang der Neigungsrichtung B1. Die Verbundschicht 52 ist an dem Zwischenteil 53B abgebogen und dessen Erstreckungsrichtung ändert sich. Bei der Verbundschicht 52 erstreckt sich der Bereich von dem Zwischenteil 53B zu dem Endteil 53C an der Seite der Richtung X1 entlang der Neigungsrichtung A1. Anders ausgedrückt entspricht bei der Verbundschicht 52 der Bereich von dem Zwischenteil 53B zu dem Endteil 53A der Verbundschicht 72 bei dem ersten Beispiel, und der Bereich von dem Zwischenteil 53B zu dem Endteil 53C entspricht der Verbundschicht 62 bei dem ersten Beispiel. Bei der Verbundschicht 52 sind jedoch, anders als bei dem ersten Beispiel, die Stelle, die sich entlang der Neigungsrichtung A1 erstreckt und die Stelle, die sich entlang der Neigungsrichtung B1 erstreckt, kontinuierlich. Bei dem zweiten Beispiel ist ein Lagenabfallteil P an der Seite der Richtung Z1 des Zwischenteils 53B der Verbundschicht 52Aa vorgesehen.

**[0076]** Gemäß der Darstellung in **Fig. 8** besitzt die Verbundschicht 52 ein Harz 54 und Verstärkungsfasern 56. Das Harz 54 und die Verstärkungsfasern 56 haben dieselben Konfigurationen wie das Harz 34 und die Verstärkungsfasern 36 in der Verbundschicht 32. Somit kann die Verbundschicht 52 als dieselbe Verbundschicht wie die Verbundschicht 32 mit Ausnahme der Erstreckungsrichtung und der Laminierungsrichtung betrachtet werden.

**[0077]** Gemäß der Darstellung in **Fig. 8** kann in der Verbundschicht 52 ein Endteil der Verstärkungsfaser 56 an der Seite der Richtung X2 als der Endteil 53A betrachtet werden, und ein Endteil der Verstärkungsfaser 56 an der Seite der Richtung X1 kann als der Endteil 53C betrachtet werden. Der Zwischenteil 53B kann als eine Stelle zwischen den Endteilen 53A und 53B der Verstärkungsfaser 56 betrachtet werden. Somit kann in der Verbundschicht 52 die Verstärkungsfaser 56 als sich kontinuierlich von der Seite des ersten Laminats 30 (Endteil 53C) zu der Seite des zweiten Laminats 40 (Endteil 53A) erstreckend angesehen werden. Die Verstärkungsfaser 56 erstreckt sich entlang der Neigungsrichtung B1 von dem Zwischenteil 53B zu dem Endteil 53A, der der Bereich an der Seite der Richtung X2 ist. Die Verstärkungsfaser 56 ist an dem Zwischenteil 53B abgebogen und dessen Erstreckungsrichtung ändert sich. Die Verstärkungsfaser 56 erstreckt sich entlang der Neigungsrichtung A1 von dem Zwischenteil 53B zu dem Endteil 53C, der der Bereich an der Seite der Richtung X1 ist. Anders ausgedrückt erstreckt sich die Verstärkungsfaser 56 von dem Zwischenteil 53B zu dem Endteil 53A in derselben Richtung wie die

Verstärkungsfaser 66 bei dem ersten Beispiel, und sie erstreckt sich von dem Zwischenteil 53B zu dem Endteil 53C in derselben Richtung wie die Verstärkungsfaser 66 bei dem ersten Beispiel. Die Verbundschicht 52 kann ferner eine weitere Verstärkungsfaser haben, die sich in einer Richtung unterschiedlich von der Richtung der Verstärkungsfaser 56 erstreckt, und die andere Verstärkungsfaser kann beispielsweise in die Verstärkungsfaser 56 eingewoben bzw. mit dieser verwoben sein.

**[0078]** Als nächstes wird ein Verfahren zum Herstellen (Aufeinanderlegen) einer Verbundschaufel 1a beschrieben. Die **Fig. 9** ist ein schematisches Diagramm zum Beschreiben eines Verfahrens zum Herstellen einer Verbundschaufel gemäß dem zweiten Beispiel. Gemäß der Darstellung in **Fig. 9** wird zum Herstellen der Verbundschaufel 1a ein erster Laminat-Ausbildungsschritt ausgeführt (Schritt S20), und ein zweiter Laminat-Ausbildungsschritt wird ausgeführt (Schritt S22). Bei dem ersten Laminat-Ausbildungsschritt bei dem zweiten Beispiel wird das dritte Laminat 60 der einen Seite nicht ausgebildet und die anderen Prozesse sind dieselben wie diejenigen bei dem ersten Laminat-Ausbildungsschritt (Schritt S10 in **Fig. 5**) bei dem ersten Beispiel. Bei dem zweiten Laminat-Ausbildungsschritt bei dem zweiten Beispiel wird das dritte Laminat 70 der anderen Seite nicht ausgebildet und die anderen Prozesse sind dieselben wie diejenigen bei dem zweiten Laminat-Ausbildungsschritt (Schritt S12 in **Fig. 5**) bei dem ersten Beispiel.

**[0079]** Nachdem der erste Laminat-Ausbildungsschritt und der zweite Laminat-Ausbildungsschritt abgeschlossen sind, wird ein dritter Laminat-Ausbildungsschritt ausgeführt (Schritt S24). Bei dem dritten Laminat-Ausbildungsschritt werden das erste Laminat 30 und das zweite Laminat 40 an einer Stelle gebondet oder verbunden, um zu dem Strömungsprofil 10 zu werden, und ein drittes Laminat 50a wird zwischen dem ersten Laminat 30 und dem zweiten Laminat 40 an einer Stelle ausgebildet, um zu dem Schaufelfuß 14 zu werden. Das dritte Laminat 50a kann durch Aufeinanderlegen oder Laminieren von Verbundschichten 52 zwischen dem ersten Laminat 30 und dem zweiten Laminat 40 ausgebildet werden, oder das dritte Laminat 50a, in dem Verbundschichten 52 vorab aufeinandergelegt oder laminiert wurden, kann zwischen dem ersten Laminat 30 und dem zweiten Laminat 40 angeordnet werden. Bei dem dritten Laminat-Ausbildungsschritt befindet sich jede Verbundschicht in dem Zustand, in dem das Harz nicht ausgehärtet ist, d.h. als Prepreg. Bei dem dritten Laminat-Ausbildungsschritt kann das dritte Laminat 50a zwischen dem ersten Laminat 30 und dem zweiten Laminat 40 an einer Stelle ausgebildet werden, um zu dem Schaufelfuß 14 zu werden, während das erste Laminat 30 und das zweite Laminat 40 an einer Stelle voneinander

getrennt und einander gegenüberliegend sind, die zu dem Strömungsprofil 10 wird. In diesem Fall werden danach das erste Laminat 30 und das zweite Laminat 40 an einer Stelle, die zu dem Strömungsprofil 10 wird, gebondet oder verbunden.

**[0080]** Nachdem der dritte Laminat-Ausbildungsschritt abgeschlossen ist, wird ein Formsschritt ausgeführt (Schritt S26), um das Harz zu härteten und die Verbundschaufel 1a zu formen. Der Formsschritt gemäß dem dritten Beispiel ist derselbe wie der Formsschritt (Schritt S16 in **Fig. 5**) gemäß dem ersten Beispiel. Auf diese Weise wird die Herstellung der Verbundschaufel 1a abgeschlossen.

**[0081]** Gemäß obiger Beschreibung erstreckt sich in dem dritten Laminat 50a gemäß dem zweiten Beispiel die Verstärkungsfaser 56 in der Verbundschicht 52 kontinuierlich von der Seite des ersten Laminats 30 (Endteil 53C) zu der Seite des zweiten Laminats 40 (Endteil 53A). Die Verstärkungsfaser 56 erstreckt sich entlang einer Ebene parallel zu der ersten Neigungsrichtung A1 an der Seite des ersten Laminats 30, und sie erstreckt sich entlang einer Ebene parallel zu der zweiten Neigungsrichtung B1 an der Seite des zweiten Laminats 40. Bei der Verbundschaufel 1a gemäß dem zweiten Beispiel erstrecken sich die Verstärkungsfasern 56 in dem dritten Laminat 50a gemäß obiger Beschreibung, sodass die Lagenabfallteile P in geeigneter Weise nahe der Mittelachse Ax konzentriert werden können. Somit kann bei der Verbundschaufel 1a das Abschälen in dem Schaufelfuß 14 verhindert werden. Bei der Verbundschaufel 1a gemäß dem zweiten Beispiel ist die Verstärkungsfaser 56 kontinuierlich über dem Zwischenteil 53B, sodass die Anzahl der Lagenabfallteile P verringert werden kann, um die Verringerung der Festigkeit des Schaufelfußes 14 noch geeigneter zu verhindern oder zu verhindern.

**[0082]** Bei dem dritten Laminat 50a gemäß dem zweiten Beispiel befindet sich der Biege-Zwischenteil 53B zwischen dem ersten Laminat 30 und dem zweiten Laminat 40 in dem Schaufelfuß 14 sowie an einem Mittelteil (nahe der Mittelachse Ax) zwischen dem ersten Laminat 30 und dem zweiten Laminat 40. Der Zwischenteil 53B ist eine Stelle zwischen einem Teil des dritten Laminats 50a, der sich entlang einer Ebene parallel zu der ersten Neigungsrichtung (Neigungsrichtung A1) erstreckt, und einem Teil des dritten Laminats 50a, der sich entlang einer Ebene parallel zu der zweiten Neigungsrichtung (Neigungsrichtung B1) erstreckt. Der Bereich nahe dem Zwischenteil 53B ist ein Lagenabfallteil P und er ist ein Bereich, der mit Harz gefüllt ist, ohne Verstärkungsfasern zu haben. Durch Vorsehen des Lagenabfallteils P an dem Mittelteil, wo eine Belastung in der Abschälrichtung gering ist, kann bei der Verbundschaufel 1 das Abschälen in dem Schaufelfuß 14 verhindert werden.

**[0083]** Als nächstes wird ein drittes, nicht-erfindungsgemäßes Beispiel zur Erläuterung von Merkmalen der Erfindung beschrieben. Eine Verbundschaufel 1b gemäß dem dritten Beispiel unterscheidet sich von dem ersten Beispiel darin, dass sie einen Blockteil 80 besitzt. Bei dem dritten Beispiel werden Beschreibungen von Teilen, die mit dem ersten Beispiel gemeinsam sind, weggelassen.

**[0084]** Die **Fig. 10** ist ein schematisches Diagramm, das eine detaillierte Konfiguration der Verbundschaufel gemäß dem dritten Beispiel illustriert. Gemäß der Darstellung in **Fig. 10** besitzt die Verbundschaufel 1b den Blockteil 80. Der Blockteil 80 ist zwischen dem ersten Laminat 30 und dem zweiten Laminat 40 in dem Schaufelfuß 14 an der Seite des Basisendteils 22 des dritten Laminats 50 vorgesehen. Der Basisendteil 22 kann als ein Endteil des Schaufelfußes 14 an der gegenüberliegenden Seite des Strömungsprofils 10 angesehen werden. Bei dem Beispiel in **Fig. 10** ist der Blockteil 80 ein dreieckiges Prisma, in dem die Oberfläche von einer der drei Seiten des dreieckigen Prismas die Oberfläche der Verbundschicht 62, die sich an der äußersten Seite in der Richtung X2 in dem dritten Laminat 60 der einen Seite befindet, kontaktiert (damit verbunden ist). In dem Blockteil 80 kontaktiert die Oberfläche einer anderen der drei Seiten des dreieckigen Prismas die Oberfläche der Verbundschicht 72 (ist damit verbunden), die sich an der äußersten Seite in der Richtung X1 in dem dritten Laminat 70 der anderen Seite befindet. Die Oberfläche der Verbliebenen der drei Seiten des dreieckigen Prismas bildet den Basisendteil 22.

**[0085]** Der Blockteil 80 bei dem vorliegenden Beispiel ist dieselbe Verbundschicht wie das erste Laminat 30, aber die Erstreckungsrichtung der Verbundschichten (Verstärkungsfasern) kann frei gewählt sein und kann eine von der ersten Neigungsrichtung A1 und der zweiten Neigungsrichtung B1 unterschiedliche Richtung sein. In ähnlicher Weise kann bei dem Blockteil 80 die Laminierungsrichtung der Verbundschichten (Verstärkungsfasern) frei gewählt sein und sie kann eine Richtung unterschiedlich von der ersten Laminierungsrichtung A2 und der zweiten Laminierungsrichtung B2 sein. Der Blockteil 80 wird vorab zu der Zeit gehärtet, wenn das erste Laminat 30 und andere Schichten aufeinandergelegt werden. Der Blockteil 80 ist nicht auf eine Verbundschicht beschränkt und kann beispielsweise ein Metall sein. Im Falle eines Metalls ist ein Leichtmetall wie eine Aluminiumlegierung und eine Titanlegierung bevorzugt.

**[0086]** Die Länge von einem Endteil des dritten Laminats 50 an der Seite der Richtung Z1 zu dem Basisendteil 22 wird als „Länge H1“ bezeichnet. Die Länge von einem Endteil des Blockteils 80 an der Seite der Richtung Z1 zu dem Basisendteil 22 wird

als „Länge H2“ bezeichnet. Es ist bevorzugt, dass die Länge H2 50% oder weniger der Länge H1 beträgt. Wenn die Länge H2 in diesem Bereich liegt, ist der Blockteil 80 in einem Bereich angeordnet, wo eine Belastung gering ist. Somit kann selbst bei Verwendung eines anderen Stücks wie dem Blockteil 80 das Risiko einer Beschädigung der Verbundschaufel 1b verringert sein.

**[0087]** Als nächstes wird ein Verfahren zum Herstellen (Aufeinanderlegen) einer Verbundschaufel 1b beschrieben. **Fig. 11** ist ein schematisches Diagramm zum Beschreiben eines Verfahrens zum Herstellen der Verbundschaufel gemäß dem dritten Beispiel. Gemäß der Darstellung in **Fig. 11** wird beim Herstellen der Verbundschaufel 1b ein erster Laminat-Ausbildungsschritt ausgeführt (Schritt S30), und es wird ein zweiter Laminat-Ausbildungsschritt ausgeführt (Schritt S32). Der erste Laminat-Ausbildungsschritt bei dem dritten Beispiel ist derselbe wie der erste Laminat-Ausbildungsschritt (Schritt S10 in **Fig. 5**) bei dem ersten Beispiel. Der zweite Laminat-Ausbildungsschritt bei dem dritten Beispiel ist derselbe wie der zweite Laminat-Ausbildungsschritt (Schritt S12 in **Fig. 5**) bei dem ersten Beispiel. Bei der Verbundschaufel 1b kann aber die Größe des dritten Laminats 50 verringert sein (Anzahl der aufeinandergelegten oder laminierten Verbundschichten kann verringert sein) im Vergleich zu dem ersten Beispiel, weil der Blockteil 80 vorgesehen ist.

**[0088]** Nachdem der erste Laminat-Ausbildungsschritt und der zweite Laminat-Ausbildungsschritt abgeschlossen sind, wird ein dritter Laminat-Ausbildungsschritt (Schritt S34) ausgeführt. Bei dem dritten Laminat-Ausbildungsschritt wird, in dem Zustand, in dem das erste Laminat 30 und das zweite Laminat 40 einander mit einem Zwischenraum dazwischen an einer Stelle gegenüberliegen, die zu dem Strömungsprofil 10 wird, und das dritte Laminat 60 der einen Seite und das dritte Laminat 70 der anderen Seite einander mit einem Zwischenraum dazwischen an einer Stelle gegenüberliegen, die zu dem Schaufelfuß 14 wird, der Blockteil 80 zwischen das erste Laminat 30 und das zweite Laminat 40 an der Stelle eingesetzt, die zu dem Schaufelfuß 14 wird, an der Seite des Basisendteils 22 des dritten Laminats 60 der einen Seite und des dritten Laminats 70 der anderen Seite. Bei dem dritten Laminat-Ausbildungsschritt wurde der Blockteil 80 bereits gehärtet, aber die anderen Verbundschichten sind ungehärtete Prepregs. Danach werden das erste Laminat 30 und das zweite Laminat 40 miteinander an der Stelle, die zu dem Strömungsprofil 10 wird, gebondet oder verbunden, das dritte Laminat 60 der einen Seite und das dritte Laminat 70 der anderen Seite werden miteinander an der Stelle, die zu dem Schaufelfuß 14 wird, gebondet oder verbunden, und der Blockteil 80 wird mit dem dritten Laminat 60 der einen Seite und dem dritten Laminat 70 der anderen Seite gebondet oder

verbunden. Auf diese Weise wird die ungehärtete Verbundschaufel 1b gebildet. Bei dem dritten Laminat-Ausbildungsschritt kann der Blockteil 80 in dem Zustand eingesetzt werden, in dem das erste Laminat 30 und das zweite Laminat 40 miteinander an der Stelle, die zu dem Strömungsprofil 10 wird, verbunden sind, und das dritte Laminat 60 der einen Seite und das dritte Laminat 70 der anderen Seite miteinander an der Stelle, die zu dem Schaufelfuß 14 wird, verbunden sind.

**[0089]** Nachdem der dritte Laminat-Ausbildungsschritt abgeschlossen ist, wird ein Formsschritt ausgeführt (Schritt S36), um das Harz zu härten und die Verbundschaufel 1b zu formen. Bei dem Formsschritt gemäß dem dritten Beispiel wird die Verbundschaufel 1b mittels desselben Verfahrens wie bei dem Formsschritt bei dem ersten Beispiel geformt. Bei dem Formsschritt gemäß dem dritten Beispiel kann der Blockteil 80 durch Vakuumieren und Druckbeaufschlagen mit dem Beutelmaterial 110 zu der Seite der Richtung Z1 gedrückt werden, sodass Lagenabfallteile P und Leerstellen in jeder Verbundschicht vermindert oder verhindert werden können. Der Formsschritt gemäß dem dritten Beispiel ist nicht darauf beschränkt und kann frei gewählt werden, solange das Harz gehärtet wird. Bei dem Formsschritt gemäß dem dritten Beispiel ist es bevorzugt, dass das erste Laminat 30, das zweite Laminat 40 und das dritte Laminat 50 geformt werden können, während der Blockteil 80 zu der Seite der Richtung Z1 gedrückt wird, d.h. durch Drücken des Blockteils 80 zu dem dritten Laminat 50 hin. In diesem Fall kann der Blockteil 80 beispielsweise zu der Seite der Richtung Z1 durch einen Kolben zum Formen gedrückt werden.

**[0090]** Gemäß der obigen Beschreibung besitzt die Verbundschaufel 1b gemäß dem dritten Beispiel den Blockteil 80. Der Blockteil 80 ist zwischen dem ersten Laminat 30 und dem zweiten Laminat 40 in dem Schaufelfuß 14 an der Seite des Basisendteils 22 des dritten Laminats 50 vorgesehen. In der Verbundschaufel 1b ist der Blockteil 80 unterschiedlich von dem dritten Laminat 50 vorgesehen, sodass die Anzahl von aufeinander geschichteten Schichten in dem dritten Laminat 50 verringert sein kann. Insbesondere wird beispielsweise bei der Herstellung der Verbundschaufel 1b der vorab gehärtet Blockteil 80 verwendet, sodass die Erhöhung der Anzahl der Verbundschichten verhindert werden kann, um die Herstellung zu vereinfachen. Durch Härt(en) des Blockteils 80 vorab kann eine abnormale Temperaturerhöhung, die durch das Härten bewirkt wird, und eine Wärmeerzeugung während des Formens verhindert oder verhindert werden.

**[0091]** Als nächstes wird ein weiteres Beispiel beschrieben. **Fig. 12** ist ein Diagramm, das eine Belastungsverteilung gemäß dem weiteren Beispiel verdeutlicht. Bei dem weiteren Beispiel wurde ein

Modell der Verbundschaufel 1 gemäß dem ersten Beispiel verwendet, um eine Belastungsverteilung in einem Zustand zu analysieren, bei dem Zentrifugalkraft in der Richtung Z1 so einwirkte, dass der Schaufelfuß 14 durch die Nut 2A in der Turbinenscheibe 2 gehalten wurde. Gemäß der Darstellung in **Fig. 12** war bei dem Modell der Verbundschaufel 1 bei Einwirkung der Zentrifugalkraft F eine Abschälungsbelastung nahe der Mittelachse Ax gering. Somit folgt aus dem Analyseergebnis, dass die Abschälung durch Konzentrieren der Lagenabfallteile P nahe der Mittelachse Ax derart, dass die von der Oberfläche des Schaufelfußes 14 entfernt sind, verhindert oder verhindert wird.

#### Bezugszeichenliste

1	Verbundschaufel
2	Turbinenscheibe
10	Strömungsprofil
14	Schaufelfuß
20	Außenendteil
21	Schaufelendteil
22	Basisendteil
30	Erstes Laminat
32, 42, 52, 62, 72	Verbundschicht
34, 44, 54, 64, 74	Harz
36, 46, 56, 66, 76	Verstärkungsfaser
40	Zweites Laminat
50	Drittes Laminat
60	Drittes Laminat der einen Seite
70	Drittes Laminat der anderen Seite
A1	Erste Neigungsrichtung
B1	Zweite Neigungsrichtung

#### Patentansprüche

1. Eine Verbundschaufel (1), die durch Aufeinanderlegen von Verbundschichten (32,42,62,72), in denen Verstärkungsfasern (36,46,66,76) mit Harz (34,44,64,74) imprägniert sind, gebildet ist, wobei die Verbundschaufel (1) einen Schaufelfuß (14) und ein Strömungsprofil (10) besitzt, welches sich von dem Schaufelfuß (14) in einer Längsrichtung (Z) erstreckt, wobei die Verbundschaufel (1) umfasst:  
ein erstes Laminat (30) als ein Laminat von Verbundschichten (32), wobei sich das erste Laminat

(30) entlang der Längsrichtung (Z) in dem Strömungsprofil (10) erstreckt und sich entlang einer ersten Neigungsrichtung (A1) erstreckt, die zu einer Richtung (X1) geneigt ist, die die Längsrichtung (Z) in dem Schaufelfuß (14) schneidet, ein zweites Laminat (40) als ein Laminat von Verbundschichten (42), wobei sich das zweite Laminat (40) entlang der Längsrichtung (Z) erstreckt und das erste Laminat (30) in dem Strömungsprofil (10) berührt, wobei sich das zweite Laminat (40) entlang einer zweiten Neigungsrichtung (B1) erstreckt, die zu einer Richtung (X2) entgegengesetzt zu der ersten Neigungsrichtung (A1) in dem Schaufelfuß (14) geneigt und von dem ersten Laminat (30) getrennt ist, und ein drittes Laminat (50) als ein Laminat von Verbundschichten (62,72), wobei das dritte Laminat (50) zwischen dem ersten Laminat (30) und dem zweiten Laminat (40) in dem Schaufelfuß (14) vorgesehen ist, wobei in dem ersten Laminat (30) Verstärkungfasern (36) in der Verbundschicht (32) sich kontinuierlich von dem Strömungsprofil (10) zu dem Schaufelfuß (14) erstrecken, sich entlang einer Ebene parallel zu der Längsrichtung (Z) an dem Strömungsprofil (10) erstrecken, und sich entlang einer Ebene parallel zu der ersten Neigungsrichtung (A1) an dem Schaufelfuß (14) erstrecken, in dem zweiten Laminat (40) Verstärkungfasern (46) in der Verbundschicht (42) sich kontinuierlich von dem Strömungsprofil (10) zu dem Schaufelfuß (14) erstrecken, sich entlang einer Ebene parallel zu der Längsrichtung (Z) an dem Strömungsprofil (10) erstrecken, und sich entlang einer Ebene parallel zu der zweiten Neigungsrichtung (B1) an dem Schaufelfuß (14) erstrecken, in dem dritten Laminat (50), Verbundschichten (62), die auf der Seite des ersten Laminats (30) aufgelegt sind, sich entlang der ersten Neigungsrichtung (A1) erstrecken, und Verbundschichten (72), die auf der Seite des zweiten Laminats (40) aufgelegt sind, sich entlang der zweiten Neigungsrichtung (B1) erstrecken, und in dem dritten Laminat (50) Außenenden (63A) der Verbundschichten (62), die auf der Seite des ersten Laminats (30) aufgelegt sind, Oberflächen der Verbundschichten (72), die auf der Seite des zweiten Laminats (40) aufgelegt sind, gegenüberliegen, und Außenenden (73A) der Verbundschichten (72), die auf der Seite des zweiten Laminats (40) aufgelegt sind, Oberflächen der Verbundschichten (62), die auf der Seite des ersten Laminats (30) aufgelegt sind, gegenüberliegen, derart, dass die Außenenden (63A,73A) der Verbundschichten (62,72) abwechselnd den Oberflächen der Verbundschichten (62,72) gegenüberliegen.

2. Ein Verfahren zum Herstellen einer Verbundschaufel (1), die durch Aufeinanderlegen oder Laminieren von Verbundschichten (32,42,62,72) gebildet

wird, in denen Verstärkungfasern (36,46,66,76) mit Harz (34,44,64,74) imprägniert sind, wobei die Verbundsschaufel (1) einen Schaufelfuß (14) und ein Strömungsprofil (10) hat, das sich von dem Schaufelfuß (14) in einer Längsrichtung (Z) erstreckt, wobei das Verfahren aufweist:  
 einen ersten Laminat-Bildungsschritt (S10) des Bildens eines ersten Laminats (30) als ein Laminat von Verbundschichten (32), wobei sich das erste Laminat (30) entlang der Längsrichtung (Z) in dem Strömungsprofil (10) erstreckt und sich entlang einer ersten Neigungsrichtung (A1) erstreckt, die zu einer Richtung (X1) geneigt ist, die die Längsrichtung (Z) in dem Schaufelfuß (14) schneidet, einen zweiten Laminat-Bildungsschritt (S12) des Bildens eines zweiten Laminats (40) als ein Laminat von Verbundschichten (42), wobei sich das zweite Laminat (40) entlang der Längsrichtung (Z) erstreckt, wobei sich das zweite Laminat (40) entlang einer zweiten Neigungsrichtung (B1) erstreckt, die zu einer Richtung (X2) entgegengesetzt zu der ersten Neigungsrichtung (A1) in dem Schaufelfuß (14) geneigt ist, und von dem ersten Laminat (30) getrennt ist, und einen dritten Laminat-Bildungsschritt (S14) des Bildens eines dritten Laminats (50) als ein Laminat von Verbundschichten (62,72), wobei das dritte Laminat (50) zwischen dem ersten Laminat (30) und dem zweiten Laminat (40) in dem Schaufelfuß (14) vorgesehen ist, wobei der erste Laminat-Bildungsschritt (S10) ein Auflegen oder Laminieren von Verbundschichten (62) zur Bildung eines dritten Laminats einer ersten Seite (60) auf dem ersten Laminat (30) in dem Schaufelfuß (14) umfasst, der zweite Laminat-Bildungsschritt (S12) ein Auflegen oder Laminieren von Verbundschichten (72) zur Bildung eines dritten Laminats einer anderen Seite (70) auf dem zweiten Laminat (40) in dem Schaufelfuß (14) umfasst, und der dritte Verbundmaterial-Bildungsschritt (S14) ein Bonden oder Verbinden des ersten Laminats (30) mit dem zweiten Laminat (40) in dem Strömungsprofil (10), so dass sich das erste Laminat (30) und das zweite Laminat (40) in dem Strömungsprofil (10) berühren, und ein Bonden oder Verbinden des dritten Laminats der einen Seite (60) mit dem dritten Laminat der anderen Seite (70) in dem Schaufelfuß (14) zur Bildung des dritten Laminats (50) umfasst, derart, dass in dem dritten Laminat (50) Außenenden (63A) der Verbundschichten (62) des dritten Laminats der ersten Seite (60), Oberflächen der Verbundschichten (72) des dritten Laminats der anderen Seite (70) gegenüberliegen, und Außenenden (73A) der Verbundschichten (72) des dritten Laminats der anderen Seite (70) Oberflächen der Verbundschichten (62) des dritten Laminats der ersten Seite (60) gegenüberliegen, derart, dass die Außenenden (63A,73A) der Verbundschichten (62,72)

abwechselnd den Oberflächen der Verbundschichten (62,72) gegenüberliegen.

Es folgen 12 Seiten Zeichnungen

## Anhängende Zeichnungen

FIG.1

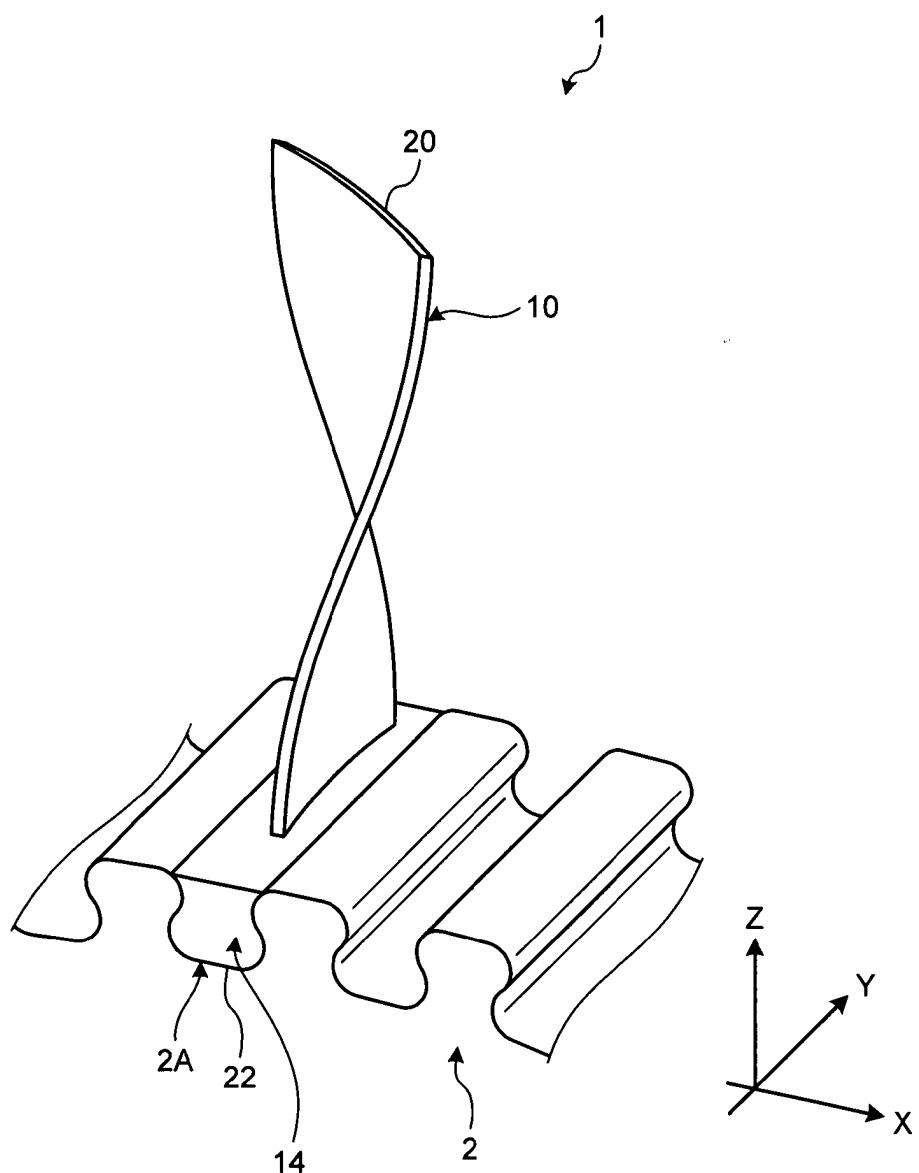


FIG.2

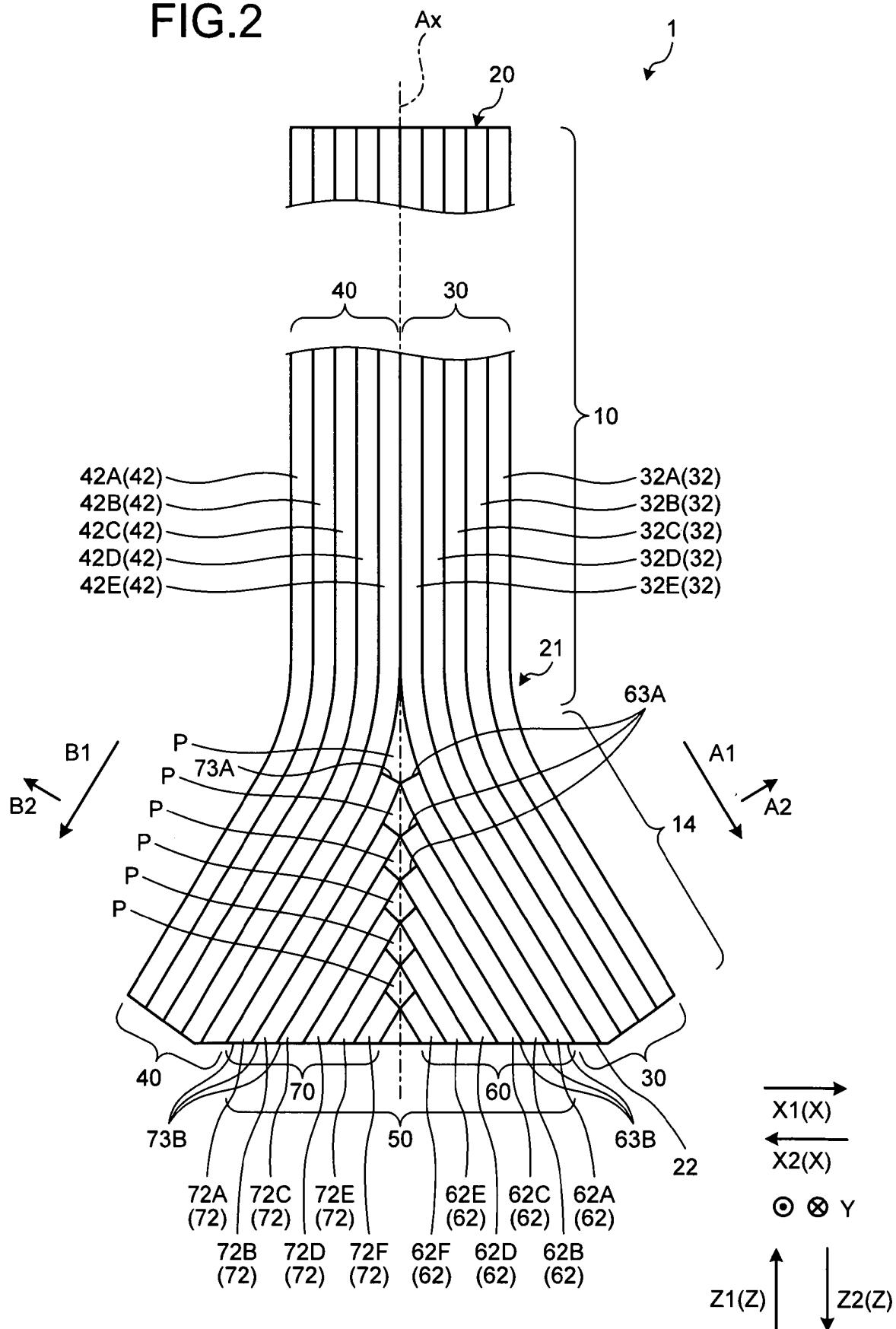


FIG.3

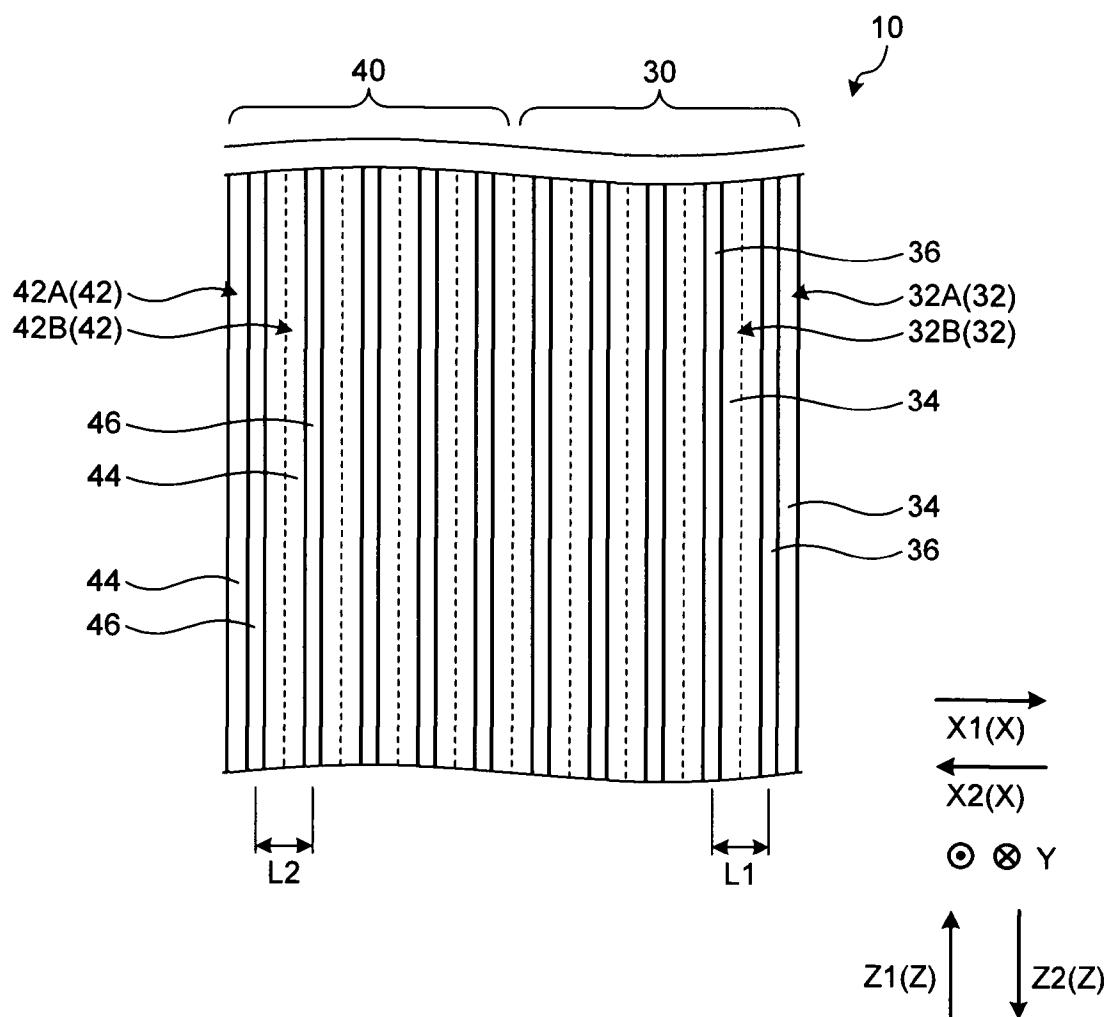
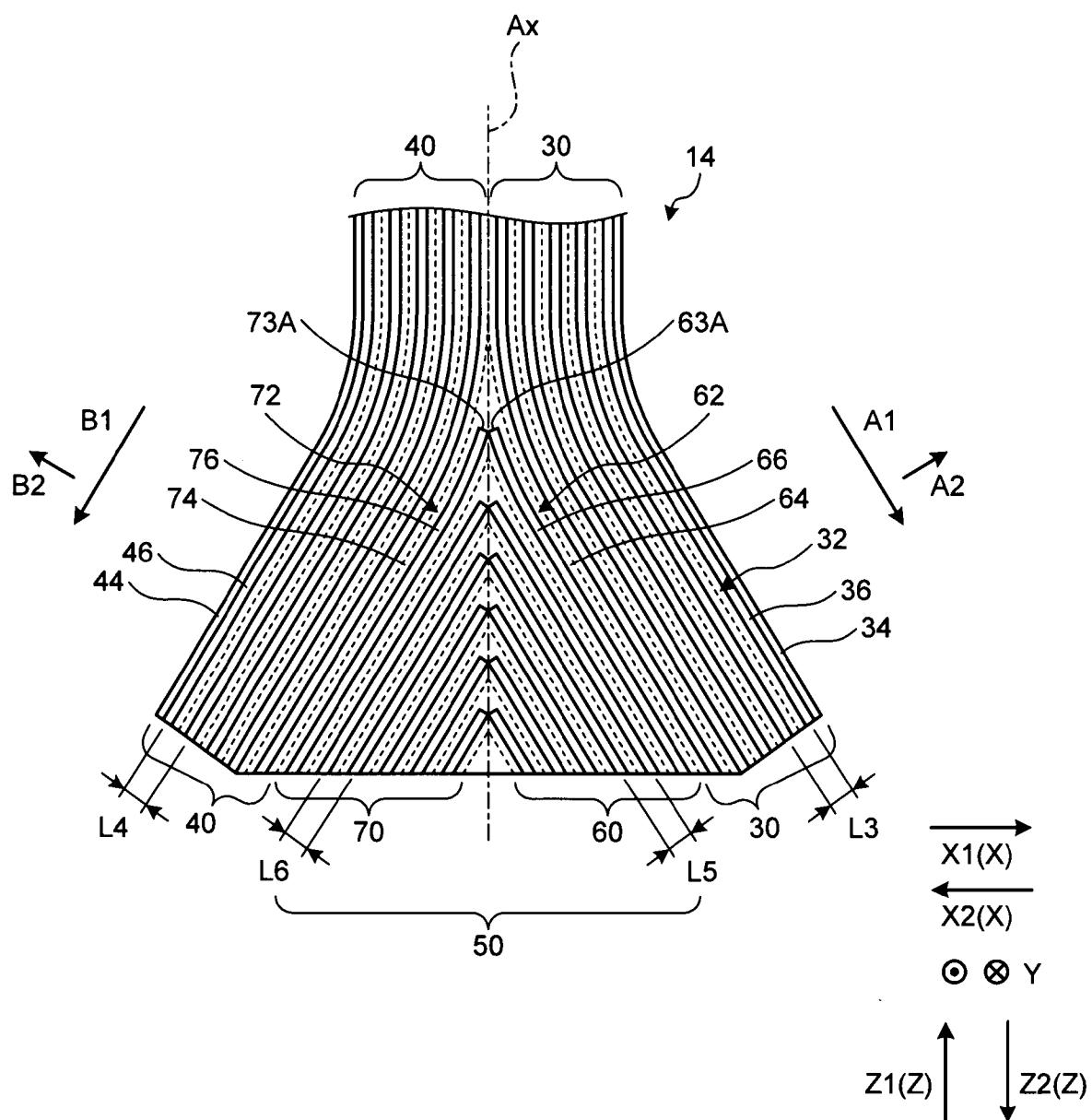


FIG.4



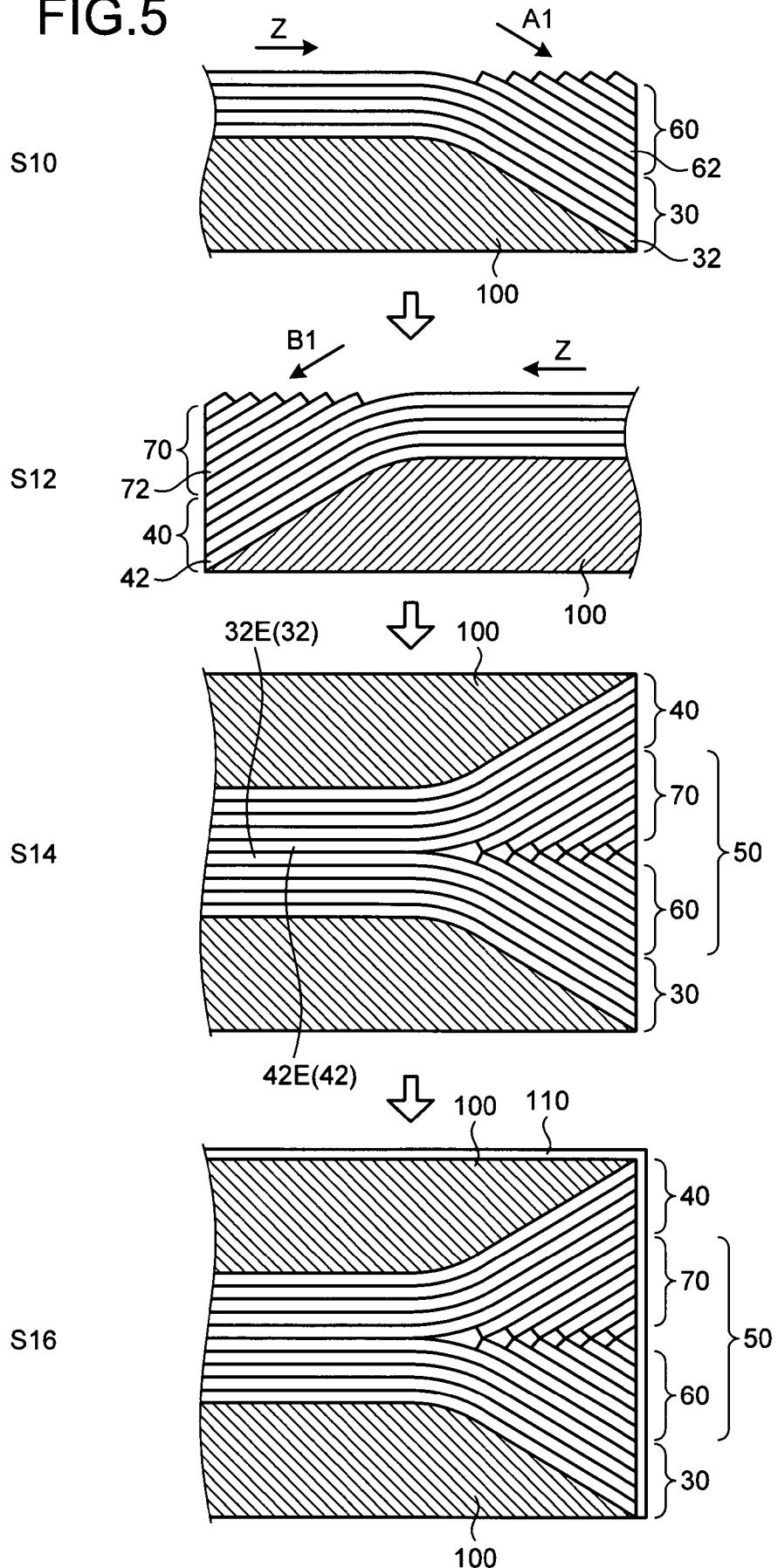
**FIG.5**

FIG.6

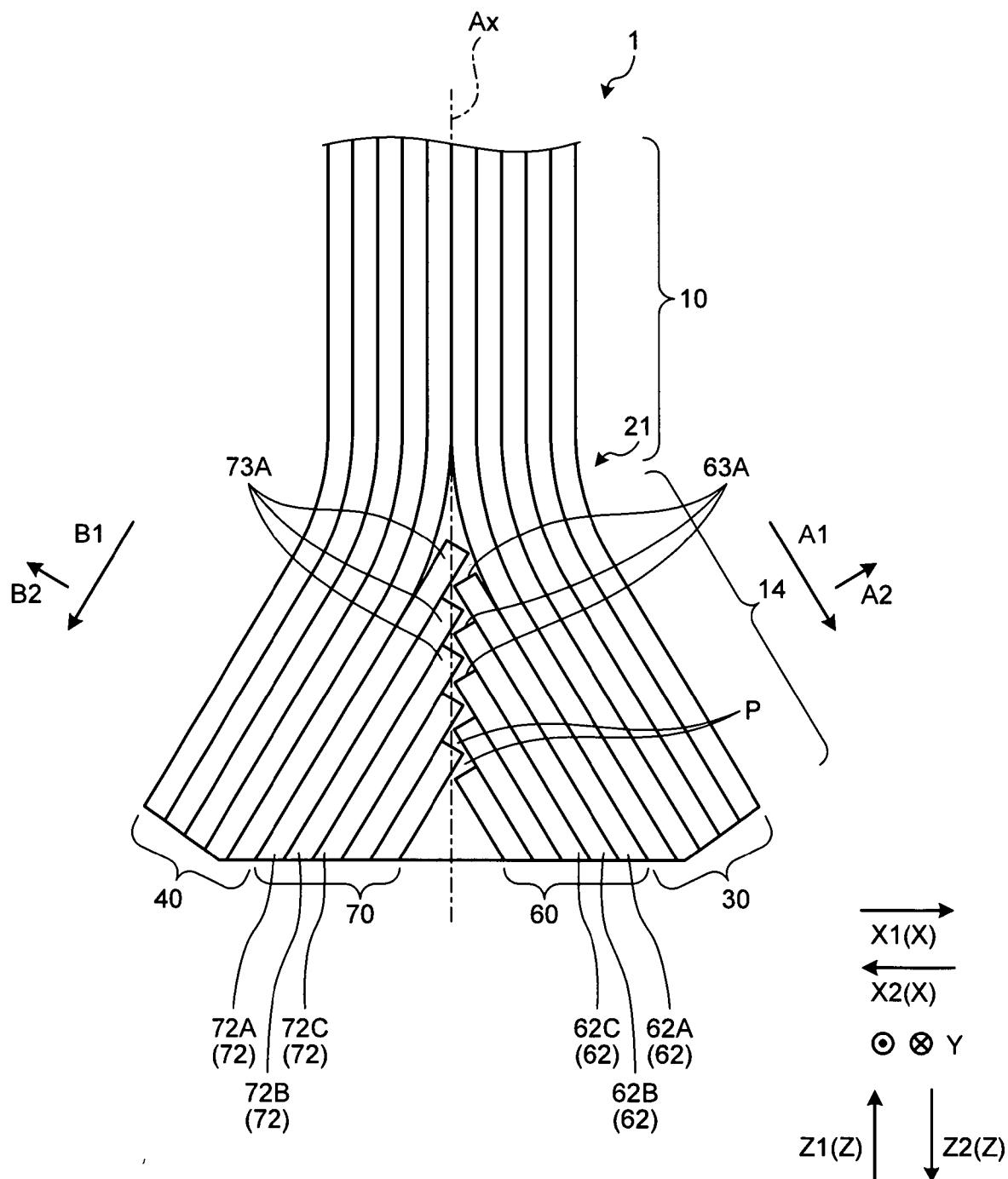


FIG.7

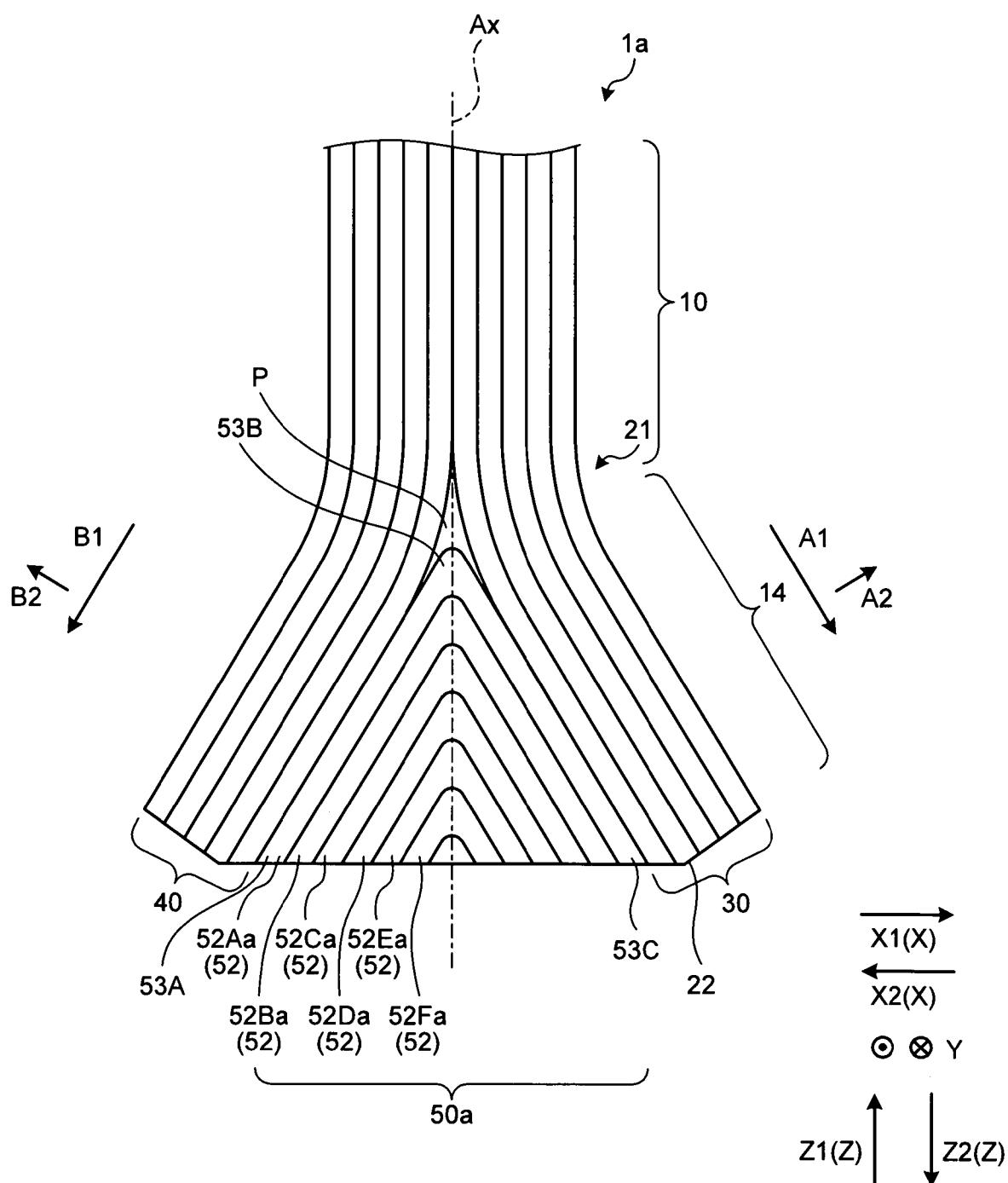
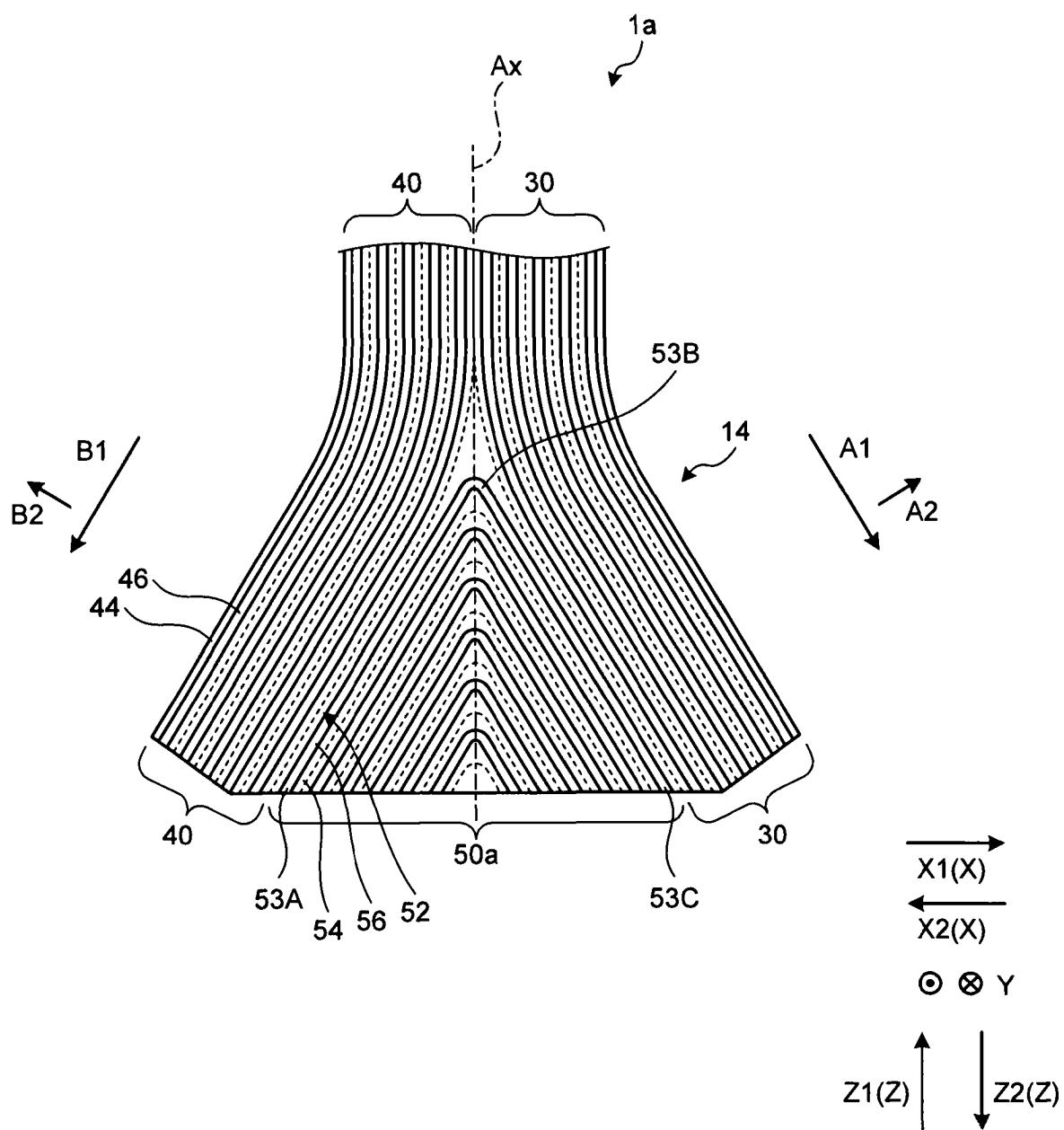


FIG.8



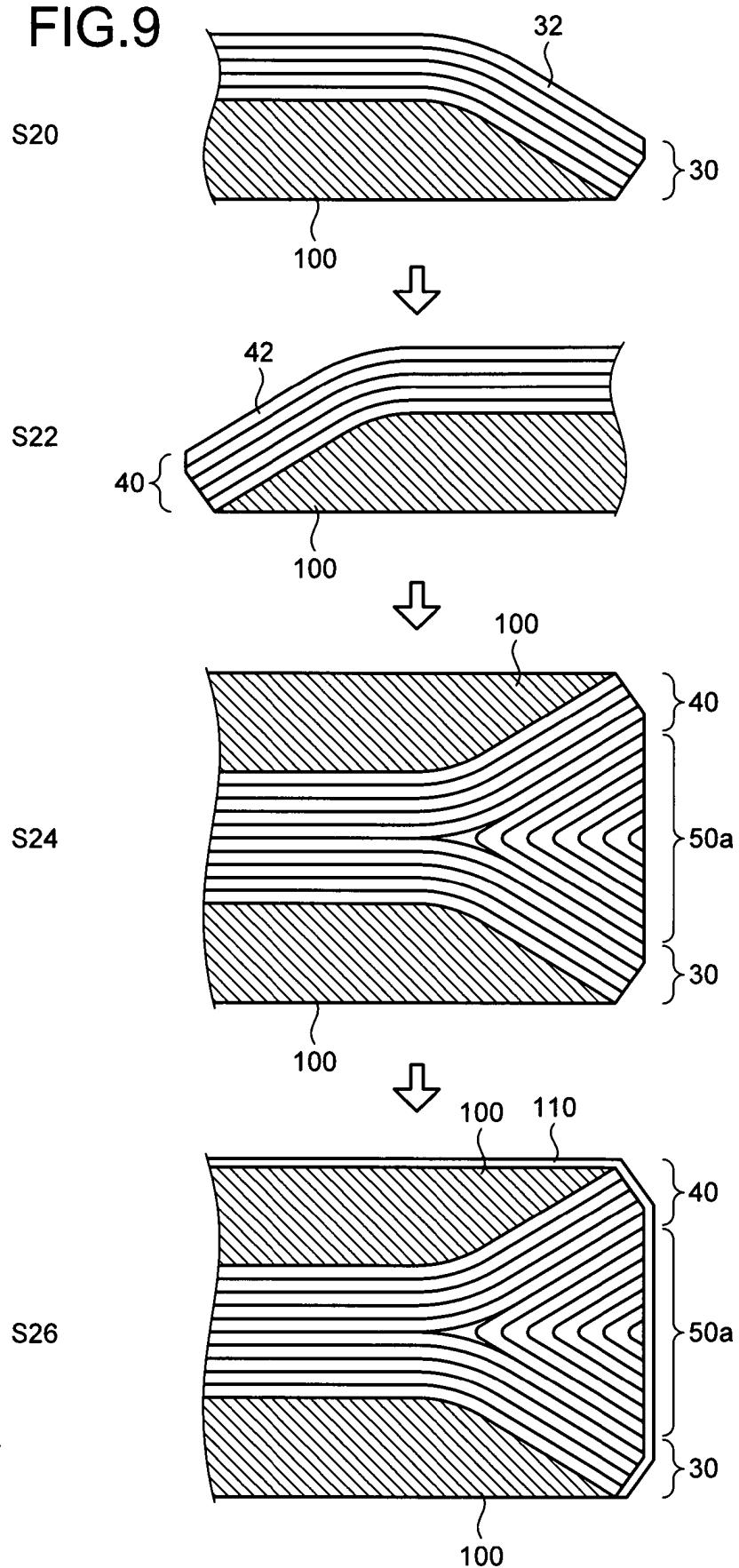
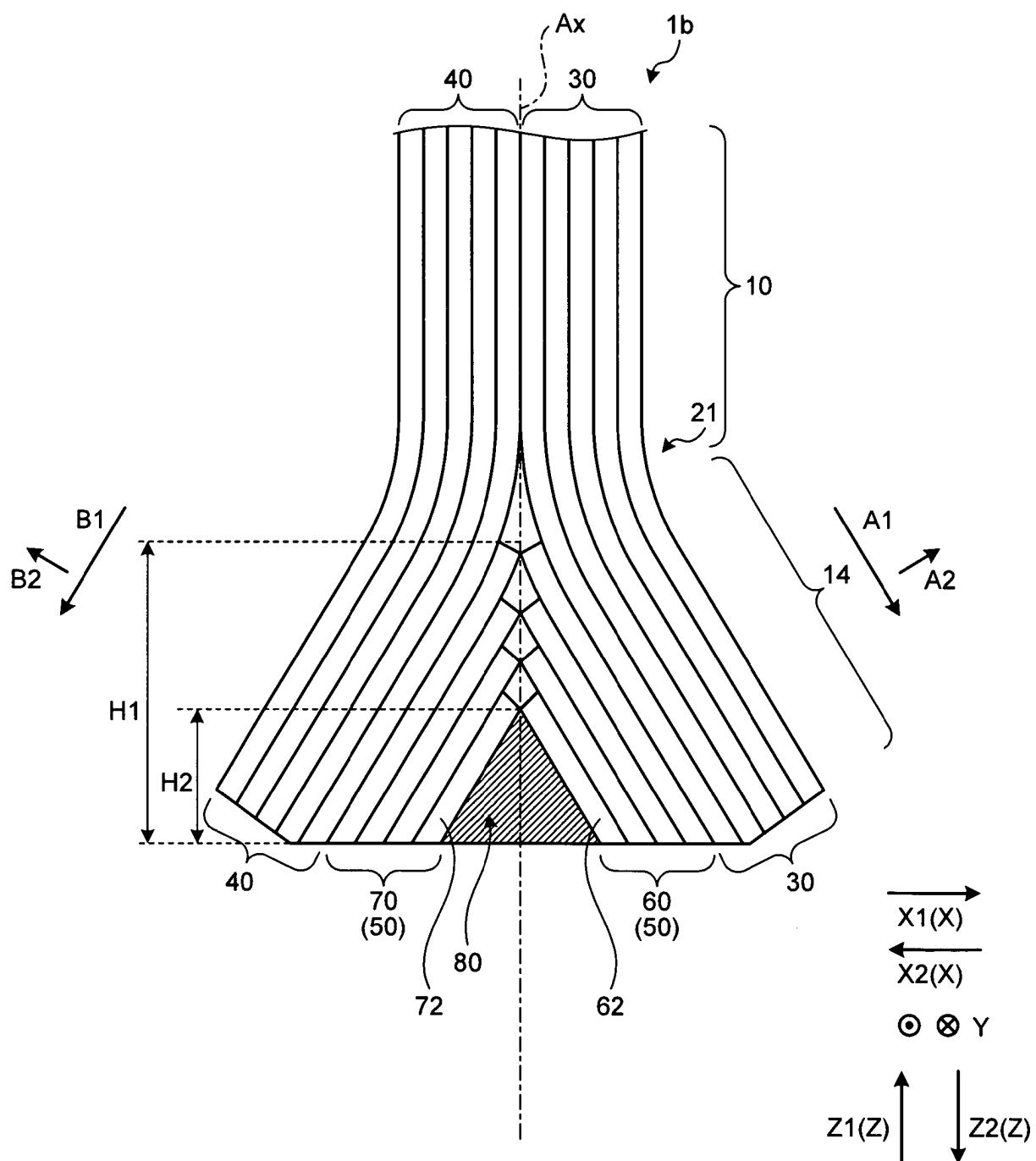
**FIG.9**

FIG.10



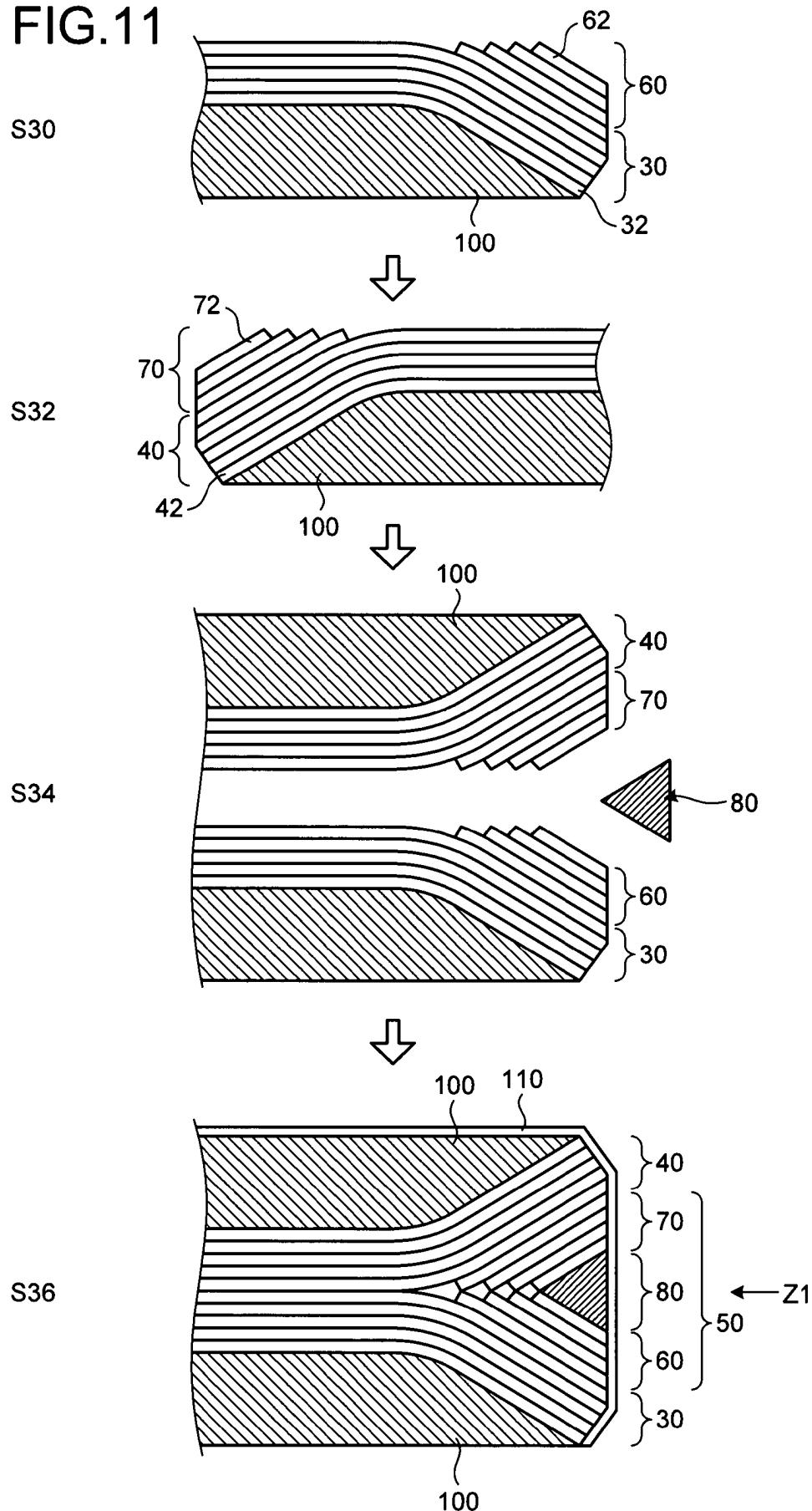
**FIG.11**

FIG.12

