



(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **100 37 540.5**

(51) Int Cl.: **B64C 27/473 (2006.01)**

(22) Anmelddatum: **02.08.2000**

(43) Offenlegungstag: **19.07.2001**

(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **30.10.2014**

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:
370392 **06.08.1999** **US**

(73) Patentinhaber:
Bell Helicopter Textron Inc., Forth Worth, Tex., US

(74) Vertreter:
**Dennemeyer & Associates S.A., 80336 München,
DE**

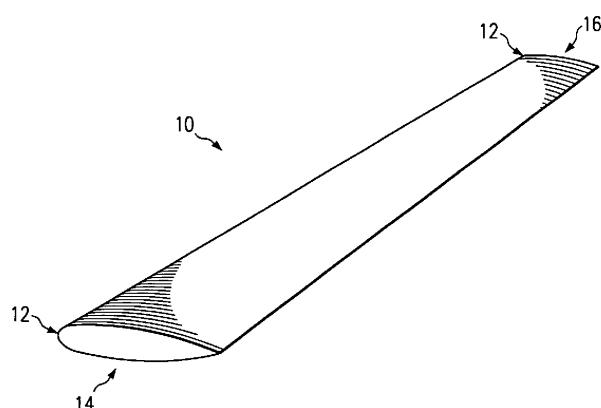
(72) Erfinder:
**Moore, Robert A., Burleson, Tex., US; Measom,
Ronald J., Hurst, Tex., US**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	32 23 231	A1
DE	36 14 365	A1
DE	37 27 462	A1
DE	196 04 275	A1
DE	20 22 873	A
US	4 799 981	A
US	4 491 493	A
US	4 541 886	A
US	4 351 688	A

(54) Bezeichnung: **Technik zum Herstellen eines Faserverbundgegenstandes**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zum Formen eines Faser-verbund-Gegenstandes (10) mit folgenden Schritten:
Auswählen einer Vielzahl von den Gegenstand (10) bestimmenden Querschnitten (18–40);
Festlegen einer Vielzahl von Punkten (50–56) in jedem Querschnitt als Anordnungspunkte durch Ausführung eines Programmcodes auf einem Rechnersystem;
Gruppieren von Sätzen von Anordnungspunkten durch Ausführung des Programmcodes auf dem Rechnersystem, wobei pro Querschnitt ein Punkt genommen wird, wobei jeder Satz eine Position für einen einzelnen kunststoffimprägnierten Faserstreifen festlegt;
Ausgabe eines zum Steuern einer Fertigungsmaschine zum Aufbauen des Gegenstandes in Übereinstimmung mit den Gruppen geeigneten Steuercodes aus dem Rechnersystem; und
durch den Steuercode gesteuertes Ablegen von kunststoffimprägnierten Faserstreifen zum Aufbauen des Gegenstan-des (10), wobei jeder Streifen an einer durch eine der gruppierten Sätze von Punkten festgelegten Position abgelegt wird.



Beschreibung**Hintergrund der Erfindung****1. Bereich der Erfindung**

[0001] Die Erfindung betrifft allgemein die Herstellung von Gegenständen unter Verwendung von Faserverbundmaterialien und genauer eine Technik zum Formen eines Gegenstandes, wie z. B. eines Abschnitts eines Rotorblatts für ein Luftfahrzeug, mit einer Querschnittsform, die entlang der Länge des Gegenstandes variiert.

2. Beschreibung des Standes der Technik

[0002] Aufgrund von Überlegungen hinsichtlich z. B. Gewicht und Festigkeit erfahren Faserverbundmaterialien in zunehmenden Maße bei High-Tech-Strukturen Verwendung, wie z. B. bei Teilen von Luftfahrzeugen. Sie finden zunehmend Verwendung bei Luftfahrzeugeilen, wie bspw. Tragflächen, Rotorblättern und ähnlichen Teilen.

[0003] Die Ausgestaltung derartiger Teile ist ziemlich komplex und führt zu Strukturen, die nicht einfach herzustellen sind. Ein Beispiel einer solchen Struktur stellen Blatt-Komponenten für einen Helikopter-Rotor oder einen Flugzeugpropeller dar. Derartige Blätter weisen oftmals eine vorrangig lasttragende Struktur auf, die typischerweise entlang der Vorderkante des Blattes ausgebildet ist. Eine solche Struktur wird hierin als Holm bezeichnet. Für einige Luftfahrzeugtypen, insbesondere Helikopter-Rotoren und Rotoren für Schwenkrotor-Luftfahrzeuge, ist die Form des Holms vergleichsweise komplex.

[0004] Bspw. kann ein Holm für ein Rotorblatt eines Schwenkrotor-Luftfahrzeugs eine Länge im Bereich von fünfzehn bis dreißig Fuß aufweisen. Entlang der Länge des Holms verändern sich die Querschnittsfläche sowie die Querschnittsform. Zudem weist der Holm für aerodynamische Zwecke eine Verdrehung auf.

[0005] Zahlreiche Techniken zum Herstellen von Holmen unter Verwendung von Faserverbundmaterialien sind verfügbar, jedoch sind die Techniken aus dem Stand der Technik nicht immer für bekannte Gegenstände geeignet. Bspw. verwendet eine Technik zum Herstellen eines Holms für ein Rotorblatt eines Schwenkrotor-Luftfahrzeugs die Ausbildung des Gegenstandes in zwei Stücken. Eine Oberhälfte und eine Unterhälfte werden jeweils getrennt voneinander auf einer entsprechend ausgebildeten Form geformt und dann auf einer weiteren entsprechend geformten Form zusammengefügt. Das Verbinden der beiden Teile schließt üblicherweise ein Verformen der beiden ursprünglich gebildeten Häften mit ein. Derartige Techniken neigen dazu, teuer sowohl hinsichtlich

der Montagezeit und -arbeit als auch hinsichtlich der zum Herstellen des Produkts benötigten Werkzeuge zu sein.

[0006] Weiterer relevanter Stand der Technik, der sich mit diesem Thema beschäftigt, kann in den Druckschriften DE 2 022 873 A, DE 32 23 231 A1, DE 36 14 365 A1, DE 37 27 462 A1, DE 196 04 275 A1, US 4 351 688 A, US 4 491 493 A, US 4 541 886 A und US 4 799 981 A gefunden werden.

[0007] Um die Festigkeit und Steifigkeit des Produkts zu verbessern, ist es wünschenswert, daß so viele Fasern mit voller Länge wie möglich entlang des Holms ausgelegt werden. Wegen der Komplexität der Form des Holms kann sich dies bei Verwendung bekannter Techniken als schwierig erweisen.

[0008] Es ist somit die Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren zum Herstellen komplexer Formen, wie z. B. Rotorholmen für Rotorblätter bei Schwenkrotor-Luftfahrzeugen, bereitzustellen, das vergleichsweise kostengünstig hinsichtlich sowohl Herstellungs- als auch Werkzeugkosten ist sowie eine akkurate Reproduktion einer angestrebten komplexen Form ermöglicht. Die Aufgabe wird durch ein Verfahren mit den Merkmalen der Patentansprüche 1, 6 oder 11 gelöst. Bevorzugte Modifizierungen sind in den abhängigen Patentansprüchen dargestellt.

Kurze Zusammenfassung der Erfindung

[0009] Aus den genannten Gründen wird, in Übereinstimmung mit der Erfindung, ein komplexer Gegenstand, wie z. B. ein Holm für ein Rotorblatt eines Schwenkrotor-Luftfahrzeugs, aus Faserverbundmaterialien gefertigt. Ungekürzte Faserstreifen werden entlang der Länge des Holms ausgelegt, um die Anzahl der bei dem Holm verwendeten Fasern mit voller Länge zu maximieren. Querschnittsflächen entlang der Länge des Holms können sich sowohl hinsichtlich der Form als auch hinsichtlich der Fläche ändern. Die Fasern werden so ausgelegt, dass sie diesen variablen Formen entsprechen und diese bilden. Die Orte für die Fasern werden bestimmt, indem Orte für die Streifen für jeden Querschnitt bestimmt werden und dann zusammengehörige Punkte verbunden werden, um festzulegen, wo die Streifen abgelegt werden sollen.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0010] Die neuen Merkmale, die als die Eigenschaften der Erfindung angesehen werden, sind in den anhängenden Ansprüchen zum Ausdruck gebracht. Die Erfindung selbst sowie ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel sind nachfolgend unter Bezugnahme auf die beigelegten Zeichnungen beschrieben. In den Zeichnungen zeigen:

[0011] **Fig.** 1 eine perspektivische Ansicht eines Rotorblatts eines Luftfahrzeuges,

[0012] **Fig.** 2 eine Querschnittsansicht eines Rotorblattholms inklusive ausgesuchter Querschnitte desselben,

[0013] **Fig.** 3 eine vergrößerte Ansicht von mehreren der in **Fig.** 2 gezeigten Querschnitte,

[0014] **Fig.** 4 eine vergrößerte Ansicht eines einzelnen Querschnitts,

[0015] **Fig.** 5 eine weitere Ansicht eines einzelnen Querschnitts,

[0016] **Fig.** 6 eine Ansicht von mehreren Querschnitten, welche die Anordnung eines einzelnen Faserstreifens entlang des Holms zeigt und

[0017] **Fig.** 7 ein Ablaufdiagramm, welches ein bevorzugtes rechnergestütztes Verfahren zum Festlegen der Befehle an eine automatisierte Faser-Anordnungsmaschine zum Herstellen des bevorzugten Holms darstellt.

Ausführliche Beschreibung des bevorzugten Ausführungsbeispiels

[0018] Die folgende Beschreibung veranschaulicht die Anwendung der Technik der vorliegenden Erfindung, um eine Komponente eines Rotorblatts für ein Schwenkrotor-Luftfahrzeug zu bilden. Diese Blattkomponente, die hier als Holm bezeichnet wird, weist eine vergleichsweise komplexe Form auf, die unter Verwendung der Techniken der Erfindung verwirklicht wird. Es wird von einem Fachmann verstanden werden, daß viele andere Teile mit abweichenden komplexen Formen unter Verwendung der unten erläuterten Techniken hergestellt werden können.

[0019] **Fig.** 1 zeigt ein aerodynamisches Blatt **10**, welches zur Verwendung bspw. als Rotorblatt an einem Schwenkrotor-Luftfahrzeug geeignet ist. Ähnliche Blätter können bei Heliokoptern oder anderen Luftfahrzeugen verwendet werden. Wie es auf diesem Gebiet bekannt ist, wird ein lasttragender Abschnitt des Blattes **12**, der die Vorderkante bildet, hergestellt, um für die Hauptfestigkeit und -steifigkeit des Blattes zu sorgen. Zum Zwecke der vorliegenden Beschreibung wird die lasttragende Komponente des Blattes als Holm bezeichnet, der als eine Komponente eines Rotorblatts für ein Schwenkrotor-Luftfahrzeug verwendet wird.

[0020] Wie in **Fig.** 1 erkannt werden kann, erstreckt sich der Holm **12** allgemein von einem Ausgangsende **14** bis zu einem Spitzenende **16** des Blatts. Die Außenfläche des Blatts **10** ist glatt und entsprechend den Erfordernissen des Luftfahrzeuges, bei dem es

verwendet wird, aerodynamisch geformt. Wie es für Blätter dieser Art typisch ist, in **Fig.** 1 aber nicht dargestellt ist, ändert sich das Blatt nicht nur hinsichtlich der Größe und der Form, wenn man ausgehend von dem Ursprung zur Spitze fortschreitet, sondern weist eine Verdrehung zum effizienteren Erzeugen eines Auftriebs auf.

[0021] Die Herstellung derartiger Blätter kann sich als extrem teuer und komplex gestalten.

[0022] Insbesondere ist der lasttragende Holm **12** ein teures und kritisches Bauteil. Mit zunehmender Verwendung von Faserverbundmaterialien bei der Ausbildung derartiger Holme sind noch komplexere Formen möglich. Dies ermöglicht es, den Holm besser zu konfigurieren, damit er die Anforderungen des Luftfahrzeuges, für das er verwendet wird, erfüllt.

[0023] **Fig.** 2 zeigt eine Strichzeichnung eines Holms **12**, der bei einem Rotorblatt für ein Schwenkrotor-Luftfahrzeug verwendet werden kann. In der Zeichnung in **Fig.** 2 sind mehrere Querschnitte **18–40** für den Holm **12** dargestellt. Aus diesen Querschnitten können mehrere Merkmale des Holms **12** auf einfache Weise abgelesen werden.

[0024] Ein in **Fig.** 2 klar gezeigtes Merkmal besteht darin, dass der Holm **12** entlang seines Querschnitts kein Vollmaterial ist. Statt dessen ist der Holm aus Gründen des Gewichts und der Festigkeit hohl ausgebildet. Er ist typischerweise "D"-förmig und so konstruiert, daß er die Vorderkante des Rotorblatts bildet und einen hauptsächlichen Halt für den Rest des Blatts bietet. Aus den Querschnitten der **Fig.** 2 kann ebenfalls einfach erkannt werden, daß die Formen der verschiedenen Querschnitte **18–40** längs der Länge des Holms nicht gleich sind. Bei diesem Holm **12** weisen die Querschnitte nahe dem Ursprungsende **14** eine vergleichsweise konstante Dicke auf. Im Gegensatz dazu weisen die Querschnitte nahe dem Spitzenende **16** ein größeres Volumen entlang der Vorderkante des Holms auf.

[0025] Der Holm **12** des bevorzugten Ausführungsbeispiels erfüllt verschiedene Regeln hinsichtlich der technischen Konstruktion. Eine für die vorliegende Erfindung relevante Regel ist, daß die Querschnittsfläche des Holms niemals ansteigt, wenn man ausgehend von dem Ursprung zu der Spitze hin fortschreitet. Folglich ist das Volumen des zur Ausbildung des Spitzenen des Holms erforderlichen Materials weniger als das am Ursprungsende erforderliche Material. Im Zusammenhang mit dem bevorzugten Ausführungsbeispiel bezeichnet der Ausdruck "Querschnittsfläche" die Querschnittsfläche des Holms, in der Material anzutreffen ist; der hohle, eingeschlossene Innenbereich des Holms wird nicht als Teil der Querschnittsfläche angesehen.

[0026] Fig. 3 zeigt eine vergrößerte Ansicht von fünf der Querschnitte 22–30 aus Fig. 2. Wie in Fig. 3 gesehen werden kann, ist die Dicke des Holms entlang der oberen und der unteren Fläche im wesentlichen konstant. In den Figuren ist der Holm 12 so ausgerichtet, daß die obere Fläche des Holms rechts und die untere Fläche des Holms links liegt. Wenn der Holm in Richtung von der Vorderkante zur Hinterkante kürzer wird, steigt die Menge des an der Vorderkante benötigten Materials an. Somit ist die Menge des Material an der Vorderkante des ersten in Fig. 3 gezeigten Querschnitts im wesentlichen dieselbe wie entlang der oberen und der unteren Flächen, während die in dem fünften Querschnitt aus Fig. 3 gezeigte Menge deutlich grösser ist.

[0027] Fig. 4 und Fig. 5 zeigen, zusammen betrachtet, dieses Merkmal noch weiter. Die Fig. 4 und Fig. 5 sind nicht in demselben Maßstab gezeichnet, wobei Fig. 4 in etwa doppelt so groß wie Fig. 5 ist. Wie aus einem Vergleich dieser beiden Figuren erkannt werden kann, weist die Querschnittsfläche des Holms an der Stelle, an der der Querschnitt 20 aus Fig. 4 genommen wurde, überall in etwa die gleiche Dicke auf. Im Gegensatz dazu weist der Holm in dem Querschnitt 40 aus Fig. 5 eine stark vergrößerte Vorderkante 42 auf, um aerodynamische Konstruktionskriterien zu Erfüllen. Bei diesen beiden Figuren weisen die obere bzw. die untere Fläche 46 bzw. 44 des Holms 12 im wesentlichen dieselbe Dicke auf.

[0028] Eine bevorzugte Technik zum Herstellen der gewünschten Struktur wird nun im Detail beschrieben werden. Das bevorzugte Verfahren wird im Zusammenhang mit seiner Verwendung bei einer Viper 1200 Faser-Anordnungsmaschine, zu beziehen über Cincinnati, beschrieben. Dieselbe Technik kann jedoch auf jeder anderen Maschine verwendet werden, welche die unten beschriebenen Fähigkeiten besitzt.

[0029] Der Holm wird auf einem Werkzeug geformt, welches eine der Form des hohlen Innenbereichs des fertigen Holms entsprechende Form aufweist. Die obere und die untere Fläche des Holms sowie dessen Vorderkante werden auf der Werkzeugeinrichtung in ihren abschließenden Konfigurationen ausgebildet. Die Hinterkante des Holms ist zu dem Zeitpunkt, zu dem es auf der Werkzeugeinrichtung ausgebildet wird, offen und wird verschlossen und abgedichtet, nachdem der Holm von dem Werkzeug entfernt worden ist. Die Hinterkante des Holms 12 liegt allgemein ungefähr senkrecht zu einer Profilsehne des Holms, die sich von der Vorderkante bis zu der Hinterkante des Blatts erstreckt.

[0030] Zunächst wird eine Lage des Fasermaterials, wie z. B. Glasfasern, über dem Werkzeug abgelegt. Diese Schicht weist über die Arbeitsfläche des Werkzeuges eine konstante Dicke auf. Danach folgt, in Übereinstimmung mit der Erfindung, das Ablegen ei-

ner Schicht, welche das Volumen und die Dicke des Holms bestimmt.

[0031] Vorzugsweise werden Glasfaserstreifen einzeln entlang der Länge des Holms aufgelegt. Wenn sie in der oben beschriebenen Viper 1200 Maschine verwendet werden, können diese Streifen eine Breite von bis zu eineinhalb Zoll aufweisen in Schritten von je ein Achtel Zoll. Jeder Streifen weist eine Dicke von 0,018 Zoll auf. Ein Übereinanderschichten dieser Streifen bestimmt ein Volumen proportional zu der Anzahl der aufgelegten Faserstreifen.

[0032] Das Ziel beim Auflegen der Faserstreifen ist es, die Anzahl der zum Aufbauen des Holms verwendeten Streifen mit voller Länge zu maximieren. Dies maximiert die Festigkeit und Steifigkeit des resultierenden Holms. Zudem ist es zu bevorzugen, die Breite eines jeden Streifens zu maximieren, wo es möglich ist. Folglich ist ein einzelner Streifen mit einer Breite von eineinhalb Zoll gegenüber zwei Streifen mit einer zusammengesetzten Breite von eineinhalb Zoll zu bevorzugen. Zudem ist ein einziger Streifen mit einer Länge von zehn Fuß entlang des Holms gegenüber zwei getrennten Streifen mit einer Gesamtlänge von zehn Fuß zu bevorzugen.

[0033] In Übereinstimmung mit dem Verfahren des bevorzugten Ausführungsbeispiels werden die Streifen einzeln über das Werkzeug und über darunterliegenden Schichten abgelegt, wobei an dem Ursprung des Holms entlang der Hinterkante begonnen wird. Die Art und Weise, in der die Streifen anfangs abgelegt werden, kann am besten im Zusammenhang mit dem Querschnitt 20 aus Fig. 4 gesehen werden. In Fig. 4 bezeichnet jede der Markierungen 50–56 und der verbleibenden nicht nummerierten Markierungen einen Punkt, an dem die Mitte eines Streifens durch diesen Querschnitt verläuft. Die Streifen werden aufeinanderfolgend abgelegt, von der offenen (Hinter-)Kante des Querschnitts aus in Richtung der Vorderkante fortschreitend.

[0034] Eine bevorzugte Reihenfolge zum Ablegen der Faserstreifen ist die folgende. Vier Streifen werden gemeinsam an der Hinterkante der unteren Fläche abgelegt, um die erforderliche Dicke bei den Markierungen 50 auszubilden. Die nächsten vier Streifen werden an der Hinterkante auf der oberen Fläche bei den Markierungen 52 abgelegt. Dann werden vier Streifen angrenzend an die ersten vier Streifen abgelegt, in Richtung der Vorderkante bei den Markierungen 54, gefolgt von vier Streifen bei den Markierungen 56. Dieses abwechselnde Muster wird fortgesetzt, bis alle Streifen an ihren definierten Stellen abgelegt sind.

[0035] Andere Muster zum Ablegen der Streifen können verwendet werden. Abhängig von der speziellen Anwendung können einige Muster geeignet sein,

andere hingegen nicht. Ein anderes nützliches Muster ist es, mit dem Ablegen von vier Streifen, wie oben beschrieben, an der Vorderkante zu beginnen. Das Muster des Ablegens der Streifen schreitet dann rückwärts fort zu den Hinterkanten der oberen und unteren Flächen, vorzugsweise auf ähnliche Weise abwechselnd, wie zuvor beschrieben. Andere Muster können nützlich sein und werden einem Fachmann klar werden.

[0036] Es wird nun auf **Fig. 5** Bezug genommen. Dort ist ein nahe der Spitze des Holms genommener Querschnitt **40** gezeigt, der den Effekt des Fortschreitens der Streifen hin zu der Vorderkante zeigt. Hier beginnen, wie in **Fig. 4**, die Streifen mit einer Breite von eineinhalb Zoll. Da der Holm nahe der Spitze in Richtung von der Vorderkante hin zu der Hinterkante viel kürzer ist, werden nur etwa drei Reihen von Streifen benötigt, um die obere und die untere Fläche **46, 44** des Holms zu bestimmen. Die verbleibenden Streifen werden auf der Vorderkante aufgeschichtet, um das dort erforderliche zusätzliche Volumen zu erhalten. Wie in **Fig. 5** dargestellt, werden Streifen in einer größeren Anzahl auf der Vorderkante aufgestapelt, um deren erforderliche Form auszubilden.

[0037] Die ersten auf der Vorderkante aufgelegten Streifen **58** sind ungefähr eineinhalb Zoll breit, jedoch werden nachfolgende Streifen **60** schmäler. Nahe des Vorderendes der Vorderkante **62** werden sie sehr schmal. Bei dem bevorzugten Ausführungsbeispiel können die Streifen bis zu minimal 1/8 Zoll schmal werden, was die Maschine noch liefern kann.

[0038] Um die Auflageorte der Streifen zu bestimmen, ist es notwendig, das Volumen des Holms an verschiedenen Stellen zu bestimmen. Dies wird durch Bestimmen der Querschnittsfläche der verschiedenen Querschnitte erreicht. **Fig. 4** und **Fig. 5** stellen diese Bestimmungsmaßnahmen dar.

[0039] Beginnend mit den für die Konstruktion des Holms verantwortlichen Personen bereitgestellten Querschnitten des Holms wird ein Satz von versetzten Kurven auf jedem Querschnitt angeordnet. Die Kurven repräsentieren die Dicke der die Form bestimmenden Schicht. Einzelne Schichten von Faserstreifen werden verwendet, um die erforderliche Dicke aufzubauen. Diese Schichten sind in den **Fig. 4** und **Fig. 5** gezeigt, und die durch die Kurven repräsentierte Dicke der Schichten korrespondiert zu der Dicke der Faserstreifen. Die Anzahl der zum Ausfüllen des Volumens der die Form bestimmenden Schicht benötigten Kurven hängt selbstverständlich von der Dicke der die Form bestimmenden Schicht an verschiedenen Orten ab. Das gezeigte Ausführungsbeispiel erfordert vier Schichten von Faserstreifen für die obere und die untere Fläche. Ein Platzieren der Kurven auf dem Querschnitt ist un-

ter Verwendung bekannter CAD-Software einfach zu verwirklichen.

[0040] Jeder Querschnitt wird dann einzeln berücksichtigt, und die Faserstreifen werden platziert. Wie in den **Fig. 4** und **Fig. 5** gezeigt, werden unter Verwendung der CAD-Software Markierungen angeordnet, um die Positionen der Mittellinien der Faserstreifen zu bezeichnen.

[0041] Wenn die Mittelpunkte für alle Querschnitte angeordnet sind, ist es schließlich notwendig, zusammengehörige Punkte auf den Querschnitten zu verbinden. Ein Punkt aus jedem Querschnitt bestimmt einen einzelnen Faserstreifen, und Punkte werden nacheinander von jedem der Querschnitte genommen, um die Positionen verschiedener zum Ausbilden der formgebenden Schicht verwendeter Faserstreifen zu bestimmen. Da der nächste verfügbare Punkt verwendet wird, um jeden Streifen festzulegen, neigen die Streifen dazu, zu der Vorderkante nahe der Spitze des Holms zu wandern.

[0042] **Fig. 6** zeigt, wie ein einzelner Streifen **62** von der unteren Fläche zu der Vorderkante des Holms wandert. Diese steht veranschaulichend für die Art und Weise, in der sämtliche Streifen, die an der Vorderkante enden, abgelegt werden. Nahe dem Ursprungsende **14** des Holms bildet der Streifen einen Teil der unteren Fläche, wobei sich seine Mittellinie an dem Punkt **64** befindet. Ungefähr auf der Mitte entlang der Länge des Holms bildet derselbe Streifen **62** noch immer einen Teil der unteren Fläche, wie durch die Mittellinie am Punkt **66** gezeigt ist.

[0043] Nahe der Spitze des Holms jedoch ist die Länge des Holms von der Vorderkante zur Hinterkante viel kürzer. Zu dieser Zeit wird der Streifen **62** auf die Vorderkante aufgelegt, wobei die obere und die untere Fläche nahe der Spitze bereits vervollständigt sind. In dreidimensionaler Darstellung neigt der Streifen dazu, einen Abschnitt einer Spiralen auszubilden, wenn er von dem Ursprung ausgehend in Richtung der Spitze abgelegt wird.

[0044] In den meisten Fällen sind die Flächen der Querschnitte nahe der Spitze kleiner als nahe dem Ursprung des Holms. Dieser Tatsache wird Rechnung getragen, indem die zuletzt abgelegten Streifen sich nicht über die gesamte Länge des Holms erstrecken. Folglich werden sich die in einem ersten Durchgang abgelegten Streifen über die gesamte Länge des Holms erstrecken, jedoch werden die in dem letzten Durchgang abgelegten Streifen irgendwo vor der Spitze enden. Die exakte Länge der späteren Streifen hängt ab von den Spezifikationen für die Querschnittsfläche nahe der Spitze.

[0045] Die Querschnittsflächen nahe der Spitze werden zusätzlich verkleinert durch Verringern der Brei-

te der abgelegten Streifen. Die Kombination aus einigen dünneren Streifen nahe der Spitze des Holms zusammen mit der geringeren Anzahl von Streifen, die sich hin zu der Spitze erstrecken, führt zu einer Querschnittsfläche, die kleiner ist als nahe dem Ursprung.

[0046] Wenn alle Streifen gemäß der vorliegenden Erfindung abgelegt worden sind, werden zusätzliche Schichten von konstanter Dicke vorzugsweise oben auf den beschriebenen formgebenden Schichten ausgebildet. Diese äußeren Schichten führen zu einer fertigen Oberfläche des Holms. Wenn der Holm auf dem Werkzeug vollständig ausgebildet worden ist, wird er abgenommen und an der Hinterkante wie im Stand der Technik bekannt verschlossen. Später wird er ausgehärtet und an dem restlichen Blatt befestigt, wie es aus dem Stand der Technik bekannt ist.

[0047] Die Schritte des Verfahrens werden vorzugsweise auf einem digitalen Allzweckrechner durchgeführt. Ein beliebiges der weithin erhältlichen CAD-Programme, wie z. B. ICAD, erhältlich von Knowledge Technologies International, ist geeignet, wenn es so programmiert ist, dass es die oben beschriebene Prozedur durchführen kann. Ein Programm-Code zum Berechnen und Festlegen der Orte für die Faserstreifen in Übereinstimmung mit der folgenden Beschreibung, wird in Verbindung mit dem CAD-System verwendet, um einen zur Verwendung durch die numerische Steuereinheit in der Faser-Anordnungsmaschine geeigneten Code zu erzeugen. Der erzeugte Code bringt die Faser-Anordnungsmaschine dazu, die Faserstreifen automatisch und reproduzierbar an den korrekten Stellen anzuordnen.

[0048] Die zum Einbinden des bevorzugten Verfahrens in den Computer durchzuführenden Schritte sind vergleichsweise einfach und in **Fig. 7** dargestellt. Zu Anfang wird eine Festlegung des Holms erzeugt und von der Software **70** empfangen. Die Erzeugung derartiger Festlegungen in dreidimensionalen CAD-Systemen ist allgemein bekannt und bildet keinen Bestandteil des erfindungsgemäßen Verfahrens. Die Festlegung des Holms beinhaltet verschiedene Querschnitte des Holms an verschiedenen Stellen. Diese Querschnitte reichen aus, um den Holm in drei Dimensionen vollständig zu bestimmen.

[0049] Wenn die Festlegung des Holms empfangen wurde, berechnet das Verfahren des bevorzugten Ausführungsbeispiels die Mittelliniendurchgänge der Faserstreifen für jeden Querschnitt zu der Festlegung des Holms **72**. Diese Berechnung bezieht das Auslegen der Streifen in benachbarten Reihen, wie es oben beschrieben ist, mit ein. Die Anzahl der Durchgänge von abzulegenden Streifen hängt ab von der Dicke der formgebenden Schicht, wie oben beschrieben. Diese Berechnung kann unter Anwendung der

Möglichkeiten irgendeines geeigneten CAD-Systems durchgeführt werden.

[0050] Im allgemeinen berücksichtigt diese Prozedur jeden Faserstreifen in aufeinander folgender Abfolge, beginnend von der Hinterkante der oberen und unteren Flächen. Bei gegebener zu füllender Fläche für jeden Querschnitt und der Fläche des Streifens kann der Streifen an der erforderlichen Stelle durch eine einfache automatisierte Prozedur angeordnet werden. Die Querschnittsfläche eines jeden Streifens ist einfach gleich dem Produkt seiner Dicke und seiner Weite. Wenn die erforderliche Position der Streifen für einen Querschnitt bestimmt worden ist, wird die Prozedur für die verbleibenden Querschnitte wiederholt.

[0051] Wenn alle Streifenmittellinien auf allen Querschnitten verteilt worden sind, werden die Mittellinien eines jeden Streifens über die Querschnitte verbunden **74**. Dies führt zu der Anordnung des Streifens entlang der Front des Holms. Korrespondierende Stellen in jeder Querschnittsfläche werden für einen einzelnen Streifen bestimmt. Somit kann bspw. der erste festgelegte Streifen für die auf der Innenseite gelegene Schicht die am nächsten zu der Hinterkante der oberen Fläche gelegenen Mittelpunkte verwenden. Der zweite bestimmte Streifen würde sich dann aus den entsprechenden Abschnitten der unteren Fläche ergeben. Der nächste zu bestimmende Streifen ergäbe sich aus dem zweiten Satz von Mittellinien entlang der Hinterkante der unteren Fläche, gefolgt von den entsprechenden Punkten für die obere Fläche. Auf diese Weise werden alle Sätze von Mittelliniendurchgängen miteinander verbunden, um die zu verwendenden Streifen festzulegen.

[0052] Wenn man sich der Spitze des Holms nähert, werden weniger Mittelliniendurchgänge benötigt, um den Raum des erforderlichen Querschnitts auszufüllen. Das bedeutet, daß einer oder mehrere Streifen vor dem betrachteten Querschnitt enden. Der Streifen wird einfach an dem letzten Punkt, für den er einen definierten Mittelliniendurchgang aufweist, abgeschnitten.

[0053] Bei dem bevorzugten Ausführungsbeispiel werden die Faserstreifen in einer irgendwie schrittweisen Art und Weise bewegt, wenn ihre Mittellinien ausgelegt werden. Die Schrittgröße ist dieselbe, wie die Breite des Streifens, bei dem vorliegenden Beispiel eineinhalb Zoll. Dies bedeutet, dass die Anfangsberechnung der Mittellinien der Streifen zu einem scharfen Schritt von eineinhalb Zoll zwischen Querschnitten führen kann – die nur einen Bruchteil eines Zolls auseinanderliegen können. Diese Schritte müssen geglättet werden, so daß es zu einer graduellen Bewegung der Mittellinie des Bandes hin zu der Vorderkante des Holms kommt. Unter Verwendung irgendeines in dem CAD-Programm verfügbaren Po-

lygonzug-Verfahrens werden die Mittellinien erneut berechnet, um eine glatte Kurvenverbindung mit besserer Anpassung an den Durchgängen durch die Querschnitte des Holms zu erhalten **76**.

[0054] Eine Reihe von Mittelliniendurchgängen im Raum, die für einen einzelnen Faserstreifen verwendet werden, wird berechnet **78** als ein Satz von Punkten, die durch die Faser-Anordnungsmaschine erreicht werden müssen, während sie ein kontinuierliches Faserband zuführt. Damit der Faserstreifen nicht relativ zu der Oberfläche des Holms verdreht wird, ist es notwendig, einen Normalenvektor für jeden Durchtrittspunkt zu berechnen und anzugeben **78**. Unter Verwendung dieses Vektors richtet die Steuerung den Streifen-Ausgabekopf so aus, daß der Faserstreifen flach gegen die zuvor ausgelegten Schichten des Holms ausgelegt wird.

[0055] Zu diesem Zeitpunkt wird ein Satz von Anweisungen erzeugt, um das Steuerelement des Faserstreifen-Ausgebers anzutreiben **80**. Die erhältliche Information beinhaltet alle Durchgangspunkte der Streifenmittellinien. An jedem der Punkte sind die Lage und die Ausrichtung (bestimmt über den Normalenvektor) eines jeden Punkts bekannt. Die Abfolge der zur Festlegung eines jeden Streifens verwendeten Punkte ist angegeben. Schließlich ist die Breite des Streifens an jedem Punkt bekannt. Diese Daten werden der Steuerung in einer Datei beigegeben, so daß sie die Faserstreifen, wie im Stand der Technik bekannt, aufbringen kann. Das für diese Datei zu verwendende Format hängt von dem durch die Steuerung erwarteten Format ab und ist einem Fachmann bekannt.

[0056] Abwandlungen der beschriebenen Technik werden einem Fachmann offensichtlich werden. Bspw. ist das bevorzugte Ausführungsbeispiel im Zusammenhang mit Konstruktionsregeln beschrieben worden, die eine niemals ansteigende Querschnittsfläche bedingen, wenn man sich von dem Ursprung bis zur Spitze des Holms bewegt. Die Technik kann jedoch einfach für Konstruktionen verwendet werden, die diese Regel nicht erfüllen. Wenn beide Enden eines resultierenden Produkts eine größere Querschnittsfläche als in der Mitte aufweisen, können die Fasern ausgehend von beiden Enden zu der Mitte ausgelegt werden. Wenn die Querschnittsfläche mehrere Male ansteigt und abfällt, werden kürzere Faserstreifen erforderlich sein, und sie werden von einem von den Enden abweichenden Startpunkt ausgelegt werden.

[0057] Dieses Herangehen kann erforderlich sein, wenn während oder nach der Fertigung bspw. Gewichte oder andere Materialien in dem Holm angeordnet werden müssen. Der Idealfall ist es, nur Fasern mit voller Länge zu verwenden, jedoch wird ein größtmögliches Nahekommen an dieses Ziel im all-

gemeinen die wichtigen physikalischen Eigenschaften des Holms verbessern.

[0058] Andere Variationen können verwendet werden, wenn die Ausrüstung zum Anordnen der Fasern zu deren Handhabung imstande ist. Wenn die Ausrüstung bspw. Faserstreifen von verschiedener Dicke ablegen kann, kann diesem Rechnung getragen werden, wenn die ursprüngliche Platzierung der Streifen ausgeführt wird. Jedoch kann dasselbe allgemeine Vorgehen wie oben beschrieben verwendet werden.

[0059] Im allgemeinen weist die bevorzugte Technik das Verfahren zum Festlegen von Punkten, wie bspw. Mittelliniengradienten für jeden Faserstreifen, bei einer Vielzahl von Querschnitten einer komplexen Form auf. Ausreichend Punkte werden für jeden Querschnitt bestimmt, um die erforderlichen Querschnittsflächen für diesen Querschnitt auszufüllen. Die Punkte für die verschiedenen Querschnitte werden dann zu Sätzen zusammengefasst, mit einem Punkt pro Querschnitt, um die anzuordnenden Faserstreifen festzulegen. Diese Sätze von Punkten werden dann an die Steuerung für die Faser-Anordnungsmaschine gegeben, welche dann die Form unter automatischer Steuerung ausbildet.

[0060] Die daraus resultierende Struktur wird aus so vielen Fasern mit voller Länge und Breite wie möglich gebildet, was zu einer maximalen Festigkeit und Steifigkeit führt. Die einzelnen Faserstreifen winden sich, soweit wie nötig, um die Front der Form, um die bestimmten Volumina auszufüllen. Dies ermöglicht es, Formen zu schaffen, die unter Verwendung bekannter Techniken nicht einfach oder gar nicht gebildet werden können.

[0061] Die bevorzugte Technik führt zu Werkzeug- und Herstellungskosten, die deutlich geringer sind als sie unter Verwendung bekannter Verfahren verwirklicht werden können. Dies macht verbesserte komplexe Formen auf wirtschaftliche Weise verfügbar, was die Leistung der unter Verwendung dieser Technik gefertigten Produkte verbessert.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Formen eines Faserverbund-Gegenstandes (**10**) mit folgenden Schritten:
Auswählen einer Vielzahl von den Gegenstand (**10**) bestimmenden Querschnitten (**18–40**);
Festlegen einer Vielzahl von Punkten (**50–56**) in jedem Querschnitt als Anordnungspunkte durch Ausführung eines Programmcodes auf einem Rechnerystem;
Gruppieren von Sätzen von Anordnungspunkten durch Ausführung des Programmcodes auf dem Rechnersystem, wobei pro Querschnitt ein Punkt genommen wird, wobei jeder Satz eine Position für ei-

nen einzelnen kunststoffimprägnierten Faserstreifen festlegt;

Ausgabe eines zum Steuern einer Fertigungsmaschine zum Aufbauen des Gegenstandes in Übereinstimmung mit den Gruppen geeigneten Steuercodes aus dem Rechnersystem; und

durch den Steuercode gesteuertes Ablegen von kunststoffimprägnierten Faserstreifen zum Aufbauen des Gegenstandes (10), wobei jeder Streifen an einer durch eine der gruppierten Sätze von Punkten festgelegten Position abgelegt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei alle der kunststoffimprägnierten Faserstreifen dieselbe Dicke haben.

3. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die Faserstreifen eine unterschiedliche Breite aufweisen können.

4. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der Gegenstand (10) ein lasttragender Abschnitt (12) eines aerodynamischen Blattes, das ein Ursprungsende (14) und ein Spitzende (16) hat, ist und in mehreren Durchgängen aufgebaut wird, wobei sich in einem ersten Durchgang abgelegte Streifen über die gesamte Länge des Gegenstands (10) erstrecken und in einem letzten Durchgang abgelegte Streifen vor dem Spitzende (16) enden.

5. Verfahren nach Anspruch 1, wobei zudem der Schritt einbegriffen ist: Aushärten des Gegenstandes (10), nachdem alle der kunststoffimprägnierten Faserstreifen abgelegt worden sind.

6. Verfahren zum Platzieren von kunststoffimprägnierten Faserstreifen zum Aufbau eines Gegenstandes, aufweisend die Schritte:

Festlegen einer herzustellenden dreidimensionalen Form, die ein Volumen hat;

Auswählen einer Vielzahl von Querschnitten zur Festlegung des Gegenstandes (10) wobei die Form eine Dicke hat, die über die Vielzahl der Querschnitte des Gegenstandes (10) variiert, wobei jeder Querschnitt eine Querschnittsfläche hat;

Auswählen einer Vielzahl von Punkten (50–56) in jedem Querschnitt als Streifenanordnungspunkte durch Ausführung eines Programmcodes auf einem Rechnersystem, wobei jeder Streifenanordnungspunkt zu einem Querschnitt eines kunststoffimprägnierten Faserstreifens gehört, wobei eine Summe von Flächen der kunststoffimprägnierten Faserstreifen für jeden Querschnitt gleich der Querschnittsfläche dieses Querschnitts ist;

Gruppieren der Streifenanordnungspunkte in Sätze durch Ausführung des Programmcodes auf dem Rechnersystem, wobei jeder Satz nicht mehr als einen Punkt von jedem Querschnitt hat, wobei jeder Satz eine Lageanordnung für einen kunststoffimprägnierten Faserstreifen festlegt;

Ausgabe eines zum Steuern einer Fertigungsmaschine zum Aufbauen des Gegenstandes (10) in Übereinstimmung mit den Gruppen geeigneten Steuercodes aus dem Rechnersystem; und durch den Steuercode gesteuertes Anordnen der kunststoffimprägnierten Faserstreifen in den festgelegten Lageanordnungen zum Aufbau des Gegenstandes.

7. Verfahren nach Anspruch 6, wobei alle der kunststoffimprägnierten Faserstreifen dieselbe Dicke haben.

8. Verfahren nach Anspruch 6, wobei die Faserstreifen eine unterschiedliche Breite aufweisen können.

9. Verfahren nach Anspruch 6, wobei der Gegenstand (10) ein lasttragender Abschnitt (12) eines aerodynamischen Blattes, das ein Ursprungsende (14) und ein Spitzende (16) hat, ist und in mehreren Durchgängen aufgebaut wird, wobei sich in einem ersten Durchgang abgelegte Streifen über die gesamte Länge des Gegenstands (10) erstrecken und in einem letzten Durchgang abgelegte Streifen vor dem Spitzende (16) enden.

10. Verfahren nach Anspruch 6, wobei zudem der Schritt einbegriffen ist: Aushärten des Gegenstandes (10), nachdem alle der kunststoffimprägnierten Faserstreifen abgelegt worden sind.

11. Verfahren zum Anordnen von kunststoffimprägnierten Faserstreifen zur Ausbildung eines Teils eines aerodynamischen Blattes, das ein Ursprungsende (14) und ein Spitzende (16) hat, aufweisend die Schritte:

Festlegen einer Vielzahl von Querschnitten des auszubildenden Teils eines aerodynamischen Körpers, wobei der aerodynamische Körper eine Vorderseite (42, 62) und eine Ober- und Unterseite (46, 44) hat, die den Innenraum festlegen, wobei jeder Querschnitt eine durch die Vorder-, Ober- und Unterfläche festgelegte Querschnittsfläche hat, die nicht den Innenraum beinhaltet, wobei jeder Querschnitt eine Fläche hat, die kleiner oder gleich zu der des nächsten, näher zu dem Ursprungsende (14) befindlichen Querschnitts ist;

Auswählen einer Vielzahl von Punkten (50–56) in jedem Querschnitt als Streifenanordnungspunkte durch Ausführung eines Programmcodes auf einem Rechnersystem, wobei jeder Streifenanordnungspunkt zu einem Querschnitt eines kunststoffimprägnierten Faserstreifens gehört, wobei eine Summe von Flächen der kunststoffimprägnierten Faserstreifen für jeden Querschnitt gleich der Querschnittsfläche dieses Querschnitts ist;

Gruppieren der Streifenanordnungspunkte in Sätze durch Ausführung des Programmcodes auf dem Rechnersystem, wobei jeder Satz nicht mehr als ein

Punkt von jedem Querschnitt hat, wobei jeder Satz eine Lageanordnung für einen kunststoffimprägnierten Faserstreifen festlegt;

Ausgabe eines zum Steuern einer Fertigungsmaschine zum Aufbauen des Gegenstandes (**10**) in Übereinstimmung mit den Gruppen geeigneten Steuercodes aus dem Rechnersystem; und

durch den Steuercode gesteuertes Anordnen der kunststoffimprägnierten Faserstreifen in der festgelegten Lageanordnung zum Aufbau des Teils des aerodynamischen Körpers.

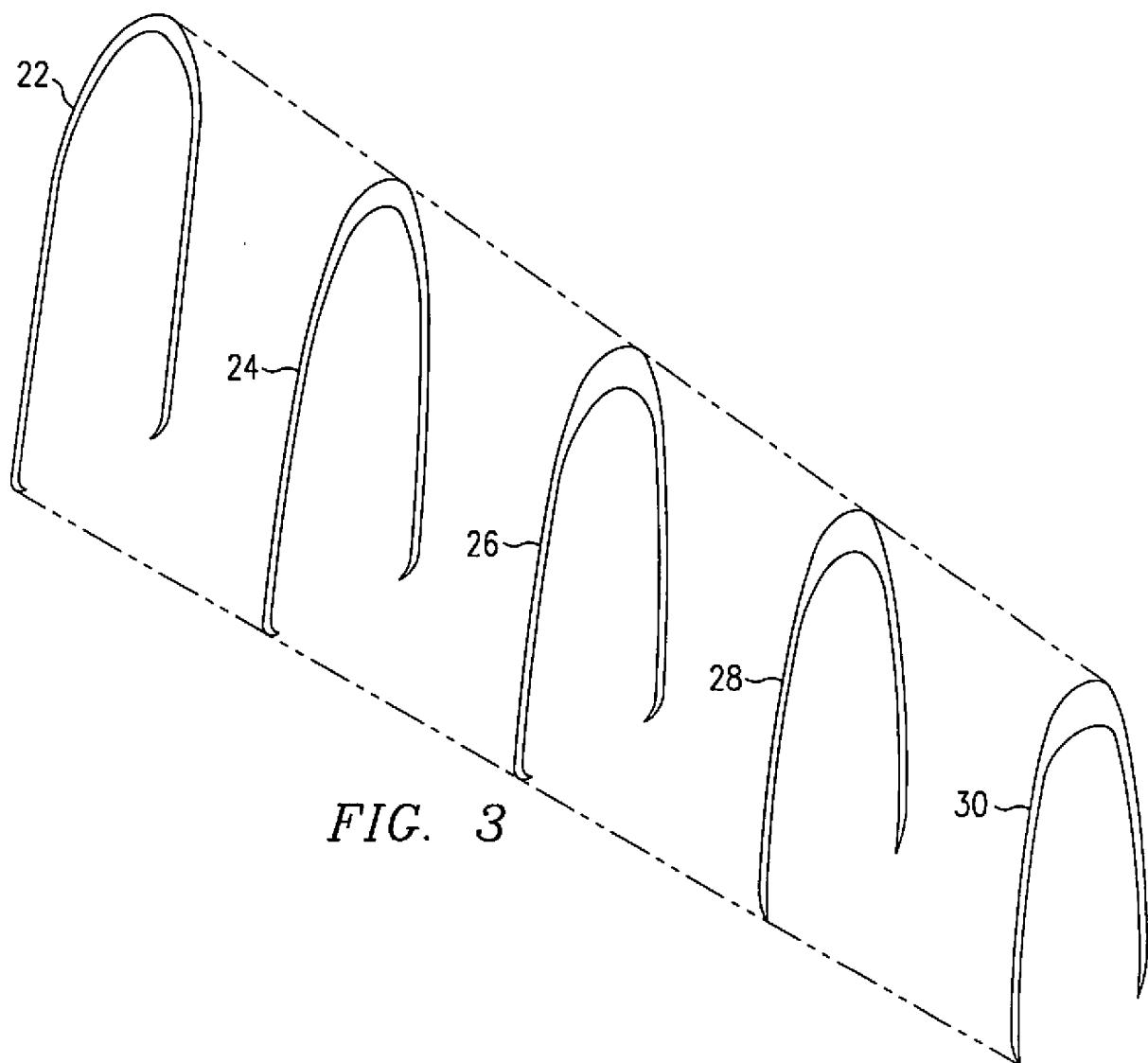
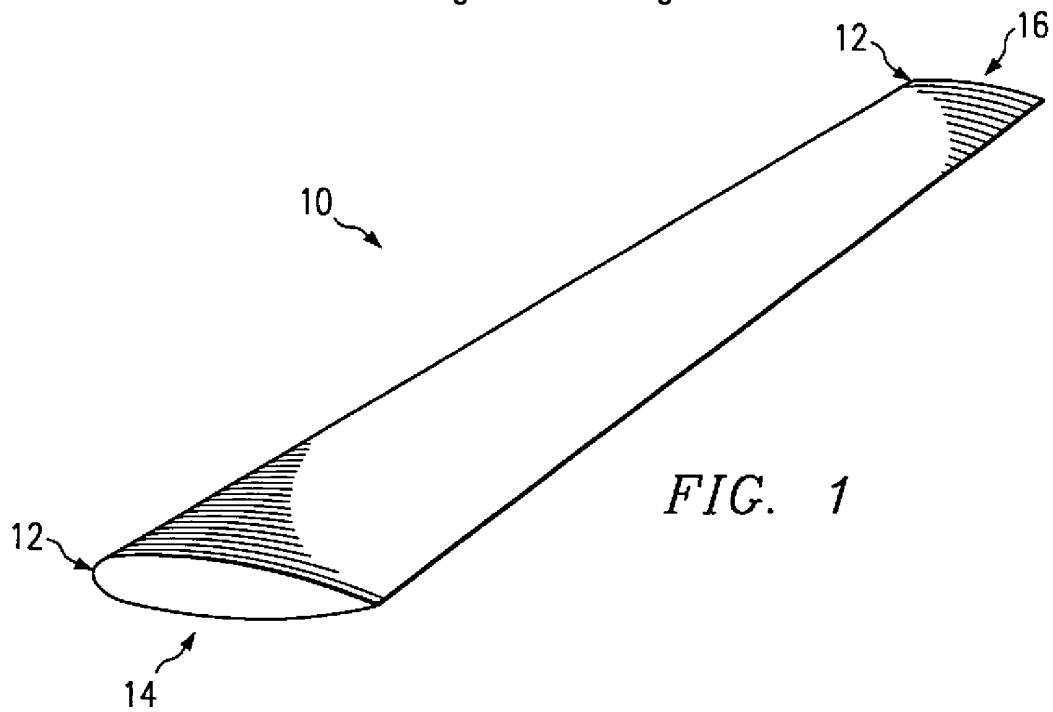
12. Verfahren nach Anspruch 11, wobei die Vorderseite (**42, 62**) eine erste Dicke in der Nähe des Ursprungsendes (**14**) hat, und eine zweite Dicke, die größer als die erste Dicke ist, in der Nähe des Spitzendes (**16**), und wobei die Fläche der Ober- und Unterseiten (**46, 44**) in Querschnitten in der Nähe des Ursprungsende (**14**) größer ist als in Querschnitten in der Nähe des Spitzendes (**16**) sind, wobei eine Vielzahl von kunststoffimprägnierten Faserstreifen, die an der Ober- und Unterseite (**46, 44**) in der Nähe des Ursprungende (**14**) angeordnet sind, in der Nähe des Spitzendes (**16**) an der Vorderseite (**42, 62**) angeordnet sind.

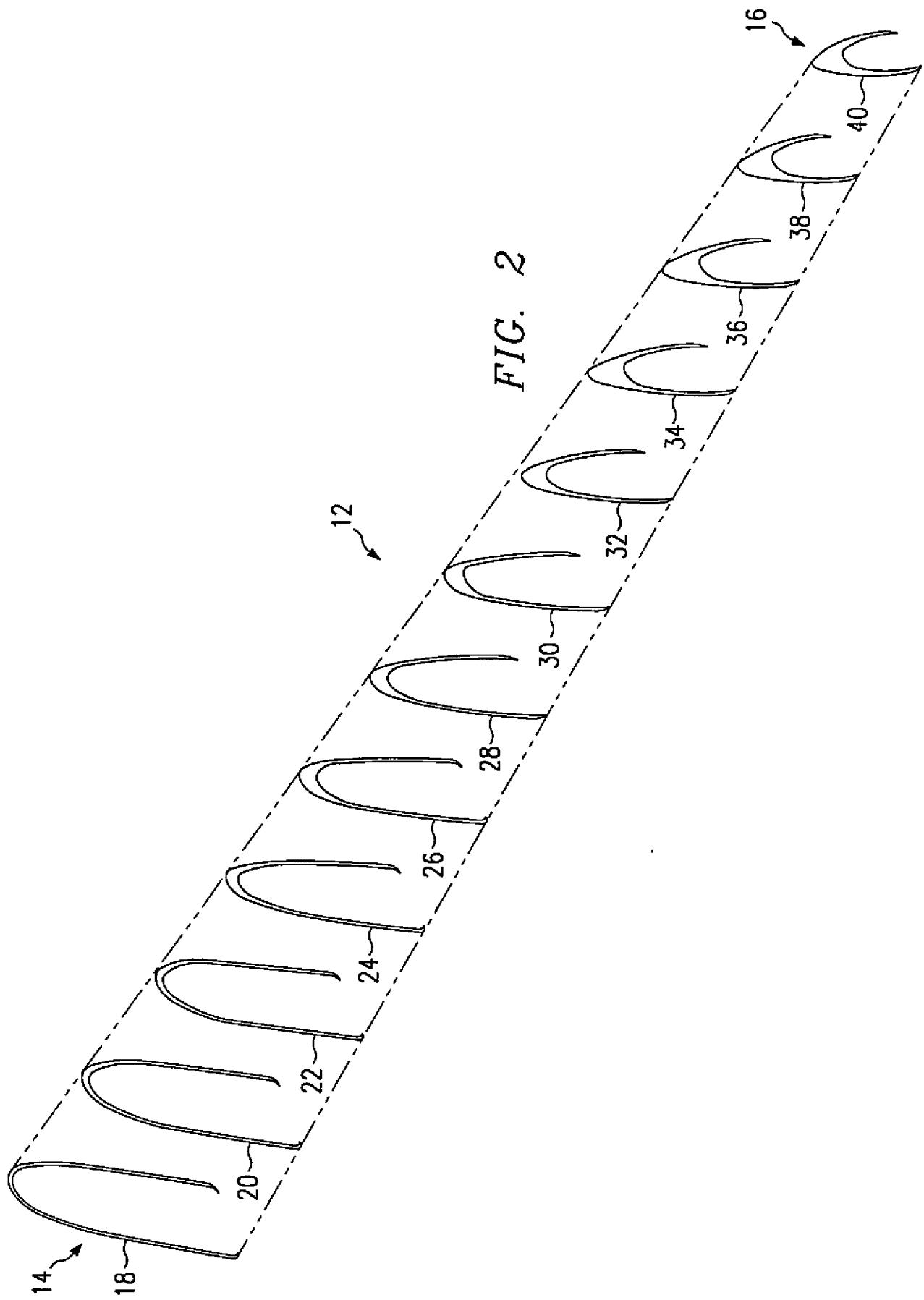
13. Verfahren nach Anspruch 11, wobei der Teil des aerodynamischen Blattes ein lasttragender Abschnitt (**12**) aerodynamischen Blattes ist und in mehreren Durchgängen aufgebaut wird, wobei sich in einem ersten Durchgang abgelegte Streifen über die gesamte Länge des Teils des aerodynamischen Blattes erstrecken und in einem letzten Durchgang abgelegte Streifen vor dem Spitzende (**16**) enden.

14. Verfahren nach Anspruch 11, wobei zudem der Schritt einbegriffen ist: Aushärten des Teils des aerodynamischen Körpers, nachdem alle der kunststoffimprägnierten Faserstreifen abgelegt worden sind.

Es folgen 4 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen





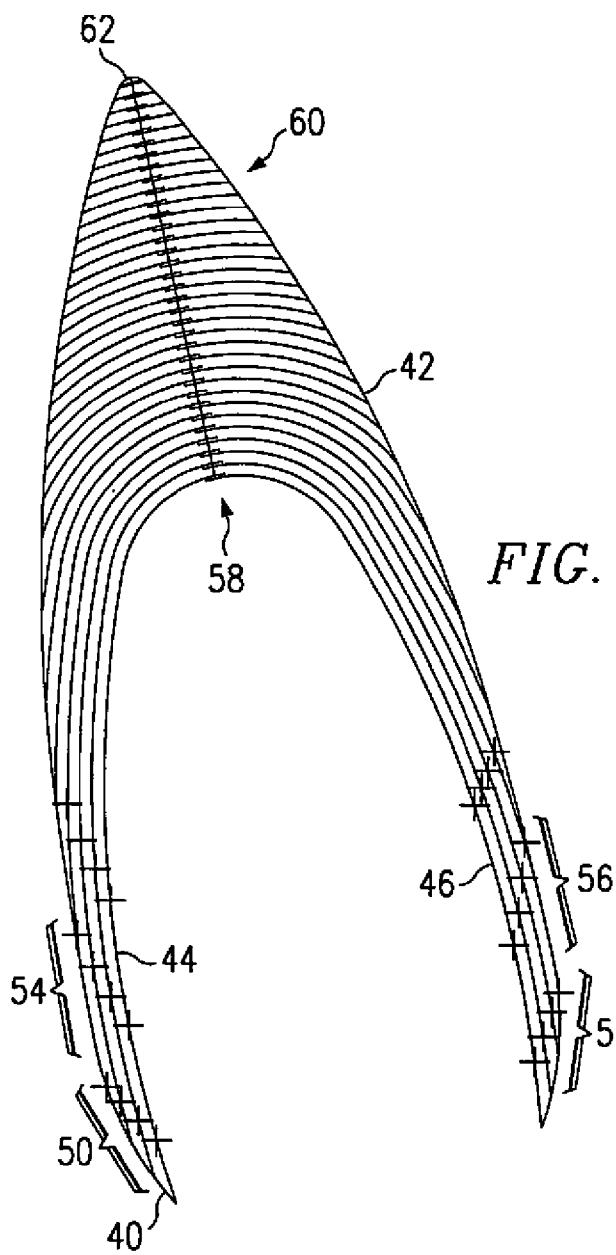


FIG. 5

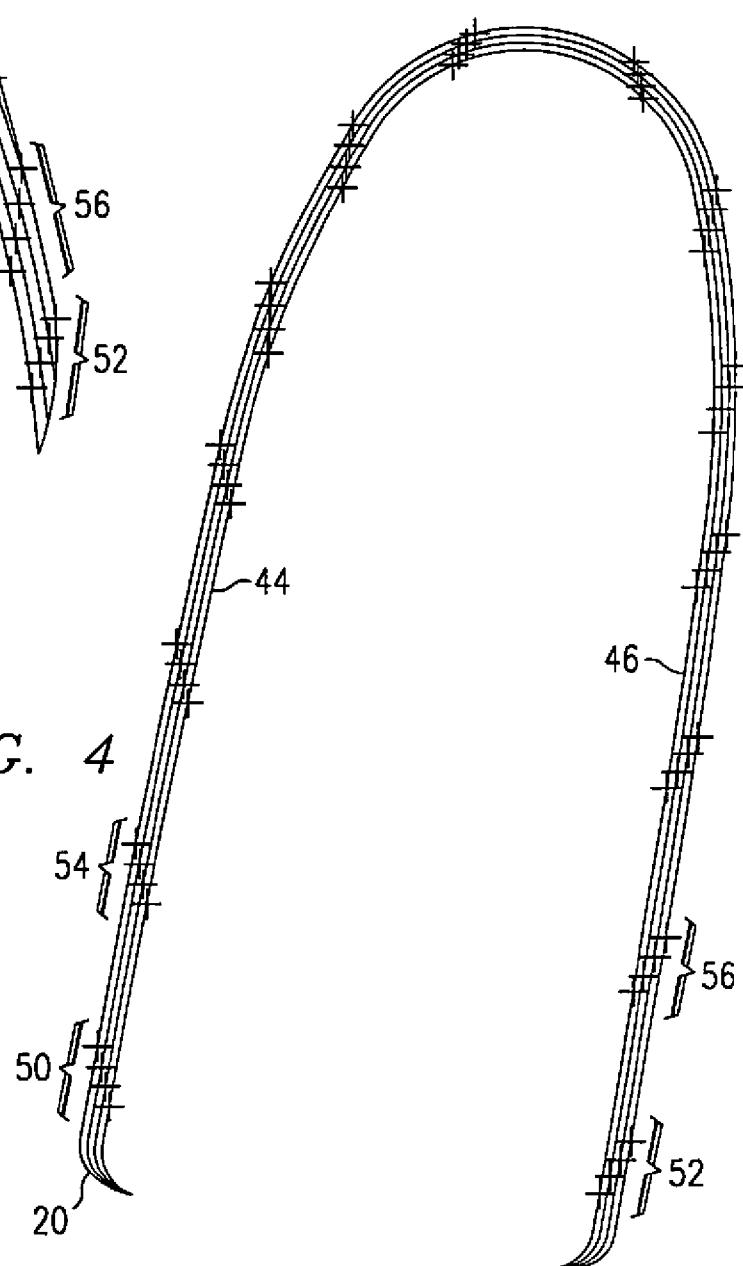


FIG. 4

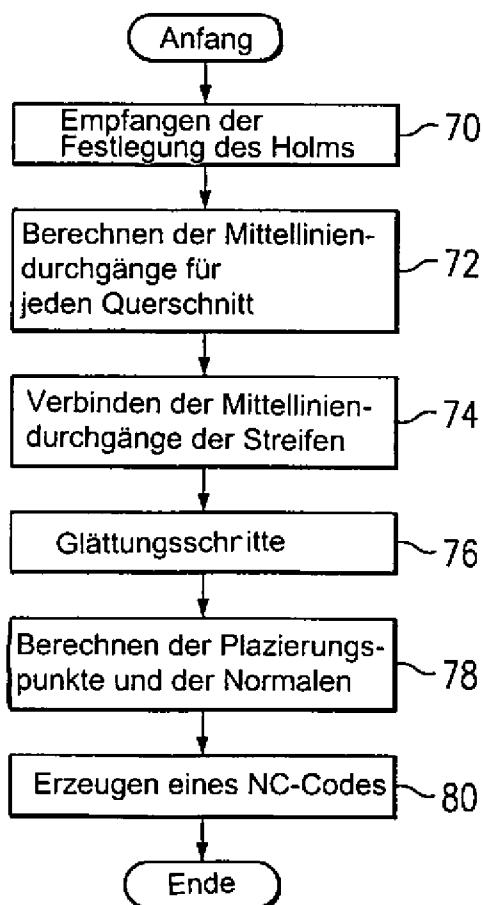
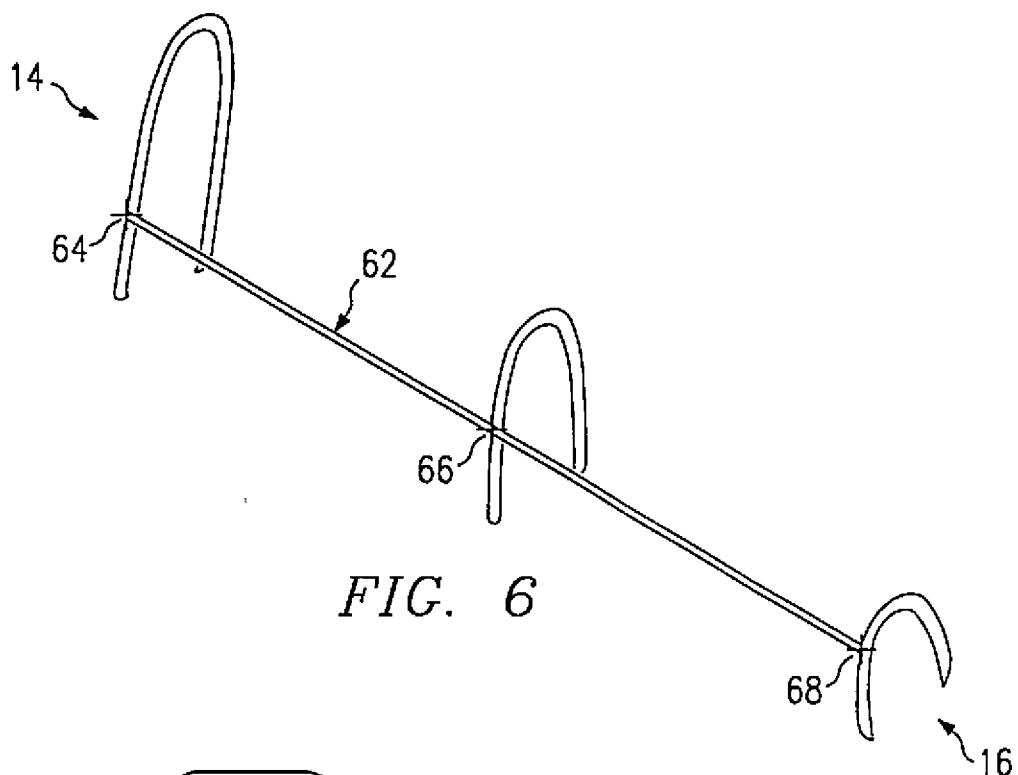


FIG. 7