(19) Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 602 07 191 T2** 2006.08.10

(12) # Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 1 351 807 B1**
(21) Deutsches Aktenzeichen: **602 07 191.7**
(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US02/01324**
(96) Europäisches Aktenzeichen: **02 718 841.6**
(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2002/066235**
(86) PCT-Anmeldetag: **16.01.2002**
(87) Veröffentlichungstag der PCT-Anmeldung: **29.08.2002**
(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **15.10.2003**
(97) Veröffentlichungstag der Patenterteilung beim EPA: **09.11.2005**
(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **10.08.2006**

(51) Int Cl.[8]: ***B29C 70/24*** (2006.01)
B29D 31/00 (2006.01)
B64C 3/18 (2006.01)
B64C 1/06 (2006.01)
B29C 65/00 (2006.01)

(30) Unionspriorität:
761301 **16.01.2001** **US**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
DE, FR, GB

(73) Patentinhaber:
Lockheed Martin Corp., Bethesda, MD., US

(72) Erfinder:
SCHMIDT, P., Ronald, Fort Worth, US

(74) Vertreter:
PFENNING MEINIG & PARTNER GbR, 10719 Berlin

(54) Bezeichnung: **HERSTELLEN VON STRUKTURELLEN ANORDNUNGEN MIT DREIDIMENSIONAL GEWEBTEN, VORGEFORMTEN ANSCHLUSSSTÜCKEN**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft im Allgemeinen Verfahren zum Befestigen von Untergruppen bei der Bildung von größeren komplexeren Strukturen und speziell ein Verfahren zum Verkleben von Unterbaugruppen mit dreidimensionalen gewebten Vorformlingen aus Faserstoff.

[0002] Diese Erfindung wurde mit staatlicher Unterstützung unter der durch die Abteilung der Luftwaffe zugeteilten Vertragsnummer F3361594C3210 gemacht. Die Regierung hat bei dieser Erfindung bestimmte Rechte.

HINTERGRUND DER ERFINDUNG

[0003] Herkömmliche strukturelle Verbindungen aus Verbundwerkstoff (miteinander gehärtet, verklebt oder verschraubt) sind hinsichtlich einer in der Ebene versetzten Belastbarkeit stark eingeschränkt (wie sie durch Kraftstoffdruck-Belastungen in dem Flügelkasten oder Rückstoßbelastungen an baulichen Unstetigkeiten erzeugt wird). In der Ebene versetzte Belastungen verursachen hohe Ablösespannungen und Spannungen in Zwischenschichten bei üblichen zweidimensionalen laminierten Verbindungen aus Verbundwerkstoff wie es in den Fig. 1A bis Fig. 1E dargestellt ist.

[0004] Typische zusammengesetzte Kunstharze weisen eine gute Zugfestigkeit und Scherfestigkeit jedoch eine sehr geringe Haftfestigkeit auf.

[0005] Schon im Jahre 1974 wurden bedeutende Verbesserungen an Verbindungen aus Verbundwerkstoff mit dreidimensionalen handgewebten Verbindungseinsätzen aus Faserstoff in gemeinsam gehärteten Tragflächen-Tragflächenholm-Verbindungen entwickelt. Jedoch wurde diese Technologie aufgrund hoher Kosten der handgewebten Faserstoffe bis in die frühen 1990er Jahre nicht verwendet, als mit dem F2-Programm das Weben des in Fig. 2 dargestellten deltaförmigen Einsatzes automatisiert wurde.

[0006] Dieser dreidimensionale gewebte Einsatz wird in erster Linie als ein Radiusverstärker auf der Außenhaut der unteren Tragfläche für mit dem Tragflächenholm gemeinsam gehärtete Verbindungen verwendet. Während die Festigkeit zugenommen hat, wird diese Anwendung noch eingeschränkt durch kostspielige maschinelle Ausrüstung und Verarbeitung, die zur Fertigung mit gemeinsamer Härtung der F2-Tragfläche aus Verbundwerkstoff erforderlich ist. Außerdem neigt die Verbindung auch dazu, sich in der Mitte aufzublättern.

[0007] Beech Starship hat eine andere Form einer dreidimensionalen Verbindung gemäß Fig. 3 eingesetzt. In dieser Verbindung werden Verbundwerkstoffe verwendet, folglich wäre gemeinsames Härten der gesamten Struktur sehr schwierig geworden. Beech entschied sich, die Einzelteile vorzuhärten und sie nebenbei zu verbinden. Während diese Möglichkeit funktionierte, war sie hinsichtlich der Belastung doch ziemlich beschränkt und wies Nachteile genau wie das Nachkleben (Montieren eines vorgehärteten Teils an einem Teil) auf. Diese spezielle Ausführung war außerdem auf Verbundstrukturen beschränkt.

[0008] Das NASA-Programm ACT (Advanced Composites Technology) [Fortgeschrittene Technologie für Verbundwerkstoffe] arbeitete an ganzheitlichen Strukturen, die dreidimensional gewebt, gestrickt, geflochten oder miteinander vernäht waren. Während diese Ausführungen hinsichtlich der Schadenstoleranz und der Festigkeiten der Verbindungen Vorteile aufweisen können, gibt es ernsthafte Einschränkungen. Gestrickte, geflochtene, genähte und dreidimensionale gewebte Strukturen besitzen normalerweise Eigenschaften außerhalb der Ebene, die gegenüber herkömmlichen zweidimensionalen Strukturen (aus Faserstoffen und Band hergestellt) hervorragend sind, jedoch sind ihre in gleicher Ebene wirkenden Eigenschaften im Allgemeinen viel schlechter. Dies führt zu Gewichtsnachteilen, wenn die dreidimensionalen Werkstoffe für die Außenhaut von Tragflächen, Tragflächenholmen- oder Spantstege, Rumpfbespannungen, usw., die normalerweise hohe in gleicher Ebene wirkende Belastungen aufweisen, verwendet werden. Aufgrund der Einschränkungen hinsichtlich der Maschinen und der Verarbeitung begrenzt außerdem die komplexe Geometrie den Einsatz von ganz gewebten oder miteinander vernähten Strukturen.

[0009] Die vorliegende Erfindung nutzt im Allgemeinen herkömmliches Vliesband, Faserstoff und/oder Metalleinzelteile für Bespannungen von Bauteilen, Tragflächenholmen- und Spantstege, Verbindungselemente, usw. Normale Schichtstoffe werden dort eingesetzt, wo erstklassige in der gleichen Ebene wirkende Eigenschaften erwünscht sind, und Metalle werden normalerweise verwendet, wo starre Verbindungselemente oder Ansatzpunkte gewünscht sind. Es sind viele unterschiedliche Materialkombinationen wie zum Beispiel RTM-Einzelteile, Einzelteile aus Thermoplast, Fiberglas, BMI, usw. möglich. Das kostengünstigste Verfahren zur Herstellung der Einzelteile kann beispielsweise bei einem mit Band belegten, in einer Etagenpresse gehärteten, mit einem Wasserstrahl geschnittenen Holmsteg eingesetzt werden. Die fertig bearbeiteten Einzelteile werden mit ungehärteten, mit Kunstharz eingeschmolzenen, dreidimensionalen gewebten Verbindungsstücken (Vorformling) und Klebstoff zwischen den Teilen in einer einfachen Baugruppen-Spannvorrichtung oder mit maschineller Ausrüstung mit selbstführenden Merkmalen (Bearbeitungslaschen oder Stifte, usw.)

angeordnet. Über die Bindungen werden anschließend einfache nachgiebige Überpressungen gelegt. Die Baugruppe wird anschließend im Vakuum gepresst und gehärtet, normalerweise mit Wärme und/oder Druck oder mit einem Elektronenstrahl bearbeitet, um thermische Auswirkungen zu vermeiden. Es ist auch möglich, Strukturen mit Härtungssystemen bei Raumtemperatur (Nassauflegen) zusammenzusetzen.

[0010] Die Verwendung dieser mit dem Verklebeprozess kombinierten fortgeschrittenen dreidimensionalen Verbindungsstücke erzeugt preisgünstige, stabile, strukturelle Verbindungen aus Verbundwerkstoff, die mit einer anderen Ausführung nach bisherigem Stand der Technik nicht erzielbar sind. Es können einfache, preiswerte, nachgiebige Überpressungen genutzt werden, da sich das ungehärtete, dreidimensionale Verbindungsstück aus Faserstoff während der Verarbeitung auf die gehärteten Einzelteile formt. Bei diesem Verfahren werden Präzisionswerkzeuge, die zum gemeinsamen Härten (wo alle Teile ungehärtet sind) benötigt werden, oder das beim sekundären Verbinden erforderliche genaue Montieren (bei dem mehrere gehärtete Teile mit einer dazwischen liegenden dünnen Klebstoffschicht zusammengebracht werden) vermieden.

[0011] Die Herstellung der dreidimensionalen gewebten Vorformlinge wird an vollautomatisierten Webmaschinen durchgeführt, die kostengünstige, hoch qualitative, reproduzierbare Verbindungsstücke ermöglichen. Das einmal zu einer Struktur gefertigte dreidimensionale gewebte Verbindungsstück verhält sich ähnlich wie ein Zubehörteil, bei dem sich die dazwischen liegenden Einzelteile, die Scher- und Zugbelastung übertragen, nicht ablösen.

[0012] Eine weitere Ausführung nach bisherigem Stand der Technik umfasst Sheahen P. et al. ("Primary Sandwich Structure: A Unitised Approach" ("Primäre Schichtstruktur: Ein Versuch nach dem Baukastenprinzip"), Collection of Technical Papers (Sammlung technischer Aufsätze) – AIAA/ASME/ASCE/AHS Structures, Structural Dynamics and Materials Conference AIAA, (Konferenz zu Bauten, Konstruktionsdynamik und Werkstoffen), Washington, DC, USA, Bd. 1, Nr. 1, 3. April 2000, Seiten 700–707, ISSN: 0273–4508), die eine unterbrechende strukturelle Verbindung mit einer vorgehärteten Anordnung und einem dreidimensionalen gewebten Vorformling aus Faserstoff umfasst.

ABRISS DER ERFINDUNG

[0013] Die vorliegende Erfindung stellt eine verklebte Strukturanordnung für Verbundwerkstoffe bereit, mit der erstrebt wird, Nachteile und Probleme im Wesentlichen auszuschalten oder zu verringern, die mit zuvor entwickelten Verfahren zum Verkleben von Verbundwerkstoffen verbunden waren.

[0014] Nach der vorliegenden Erfindung ist ein Verfahren zum Bilden einer Strukturanordnung vorgesehen, das die Schritte umfasst:
Befestigen einer ersten vorgehärteten Anordnung an einem gewebten textilen 3D-Vorformling, der mit einem ungehärteten Harz imprägniert ist, wobei sich ein Klebefilm zwischen der ersten vorgehärteten Anordnung und dem Vorformling befindet, der Vorformling eine Basis und ein sich von der Basis erstreckendes erstes und zweites Bein aufweist, die Basis ein erstes und ein zweites Ende mit konischen Abschnitten, die in der Dicke konisch verlaufen, hat und das erste und das zweite Bein Enden haben, die konische Abschnitte aufweisen, die in der Dicke konisch verlaufen, wobei sich die erste vorgehärtete Anordnung auf einer Seite der Basis entgegengesetzt dem ersten und dem zweiten Bein befindet;
Befestigen einer zweiten vorgehärteten Anordnung zwischen dem ersten und dem zweiten Bein des dreidimensionalen gewebten Vorformlings aus Faserstoff mit einem zusätzlichen Klebefilm, der sich zwischen der zweiten vorgehärteten Anordnung und inneren Oberflächen des ersten und des zweiten Beins des Vorformlings befindet;
Härten des Harzes und der Klebefilme, um die Strukturanordnung zu bilden, wobei das Härten durchgeführt wird durch Anlegen einer Beinseite eines ersten Druckverstärkers aus flexiblem Material an einer äußeren Oberfläche des ersten Beins und Anlegen einer Basisseite des ersten Druckverstärkers an der Basis, wobei die Beinseite des ersten Druckverstärkers sich an einem Ende der Basis vorbei erstreckt, und Anlegen einer Beinseite eines zweiten Druckverstärkers aus flexiblen Material an einer äußeren Oberfläche des zweiten Beins und Anlegen einer Basisseite des zweiten Druckverstärkers an der Basis, wobei die Beinseite des zweiten Druckverstärkers sich an einem Ende des zweiten Beins vorbei erstreckt und die Basisseite des zweiten Druckverstärkers sich an einem zweiten Ende der Basis vorbei erstreckt, wobei jeder der Druckverstärker eine äußere Seite hat, die sich von einer Kante der Basisseite zu einer Kante der Basisseite zu einer Kante der Beinseite erstreckt;
Einsetzen der ersten und der zweiten vorgehärteten Anordnung zusammen mit dem Vorformling, den Klebefilmen und den Druckverstärkern in einen Unterdruckbeutel, dann Evakuieren des Unterdruckbeutels, wodurch bewirkt wird, dass die Druckverstärker die Basis und die Beine des Vorformlings gegen Bereiche der vorgehärteten Anordnungen drücken; und
wobei jede der Beinseiten und jede der Basisseiten des ersten und des zweiten Druckverstärkers vor dem Evakuieren des Unterdruckbeutels einen Abstand von den konischen Abschnitten aufweisen.

[0015] Spezieller stellt die vorliegende Erfindung ein Verfahren zum Bilden von Strukturanordnungen mit

dreidimensionalen gewebten Verbindungs-Vorformlingen zur Verfügung. Das Verfahren nach der vorliegenden Erfindung bildet komplexe Strukturanordnungen mittels vorgehärteter Einzelteile mit dem dreidimensionalen gewebten Verbindungs-Vorformling. Zwischen die vorgeformten Strukturen und die ungehärteten dreidimensionalen gewebten Vorformlinge aus Faserstoff wird Klebstoff eingebracht. Anschließend werden die vorgehärteten Strukturen und der mit ungehärtetem Harz imprägnierte, dreidimensionale gewebte Faserstoff mit Wärme und/oder Druck zusammen gehärtet, um die großen komplexen Strukturanordnungen zu formen.

[0016] Die vorliegende Erfindung schafft gegenüber früheren Systemen und Verfahren zum Formen von komplexen Verbundstrukturen einen wichtigen technischen Vorteil. Die vorliegende Erfindung bewirkt eine stabile Verbindung zwischen zwei vorgehärteten Verbundwerkstoffen oder metallischen Untergruppen.

[0017] Durch gleichzeitiges Verkleben von Untergruppen mit dreidimensionalen gewebten Vorformlingen aus Faserstoff wird die strukturelle Festigkeit erhöht.

[0018] Außerdem bewirkt die vorliegende Erfindung einen weiteren wichtigen technischen Vorteil dadurch, dass die Notwendigkeit kostspieliger Werkzeugausrüstung und von Feintoleranzen zur Erzielung gleichmäßiger Klebelinien, die entscheidend sind für die strukturelle Funktionsfähigkeit, ausgeschlossen wird.

[0019] Ein noch weiterer technischer Vorteil, der durch die vorliegende Erfindung bewirkt wird, ist, dass eingesetzte Druckverstärker oder Überpressungen kostengünstig hergestellt werden können, weil eine exakte Passung nicht erforderlich ist, wie sie durch herkömmliches Verbinden oder gemeinsames Härten benötigt wird.

[0020] Außerdem schafft die vorliegende Erfindung einen weiteren wichtigen technischen Vorteil dadurch, dass ungehärtete dreidimensionale Vorformlinge gezwungen sind, sich den Untergruppen oder vorgehärteten Einzelteilen anzupassen. Dies ermöglicht es, dass die flexiblen ungehärteten dreidimensionalen gewebten Vorformlinge aus Faserstoff an benachbarte Untergruppen gedrückt werden, so dass sie sich exakten Konturen und Winkeln anpassen.

[0021] Ein noch weiterer, durch die vorliegende Erfindung bewirkter, technischer Vorteil ist, dass die dreidimensionalen gewebten Vorformlinge aus Faserstoff eine strukturelle Festigkeit bewirken, die nicht verglichen werden kann mit normalen zweidimensionalen Verbindungen aus textilem Verbundwerkstoff. Fasern werden in Richtungen der Belastungsaufnahme von Schnittpunkten zwischen Untergruppen eingewebt. So wird ein textiler Bund gebildet, der den dreidimensionalen gewebten Vorformling aus Faserstoff für die Untergruppen "passend macht". Folglich erzeugt die vorliegende Erfindung eine Verbindung mit vorherrschend Scher- und Zugbeanspruchungen, wenn die Steg-Unterbaugruppe normal zu der Außenhaut-Unterbaugruppe belastet wird. Darüber hinaus werden Schälkräfte wesentlich reduziert. Diese Schälkräfte sind ein mit verklebten Anordnungen verbundenes Hauptproblem.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0022] Zum vollständigeren Verständnis der vorliegenden Erfindung und deren Vorteile wird jetzt Bezug auf die folgende Beschreibung hergestellt, die in Verbindung mit den begleitenden Zeichnungen vorgenommen wird, in denen gleiche Bezugszahlen gleiche Merkmale angeben und in denen zeigen:

[0023] Fig. 1A bis Fig. 1E Lösungen aus dem Stand der Technik;

[0024] Fig. 2 eine zweite Lösung nach dem Stand der Technik;

[0025] Fig. 3 eine noch andere Lösung nach dem Stand der Technik;

[0026] Fig. 4 eine Strukturanordnung oder einen Teil der vorliegenden Erfindung;

[0027] Fig. 5 Fasern, die in Richtungen der Belastungsaufnahme im Querschnitt eines Bundes aus Faserstoff zwischen zwei Untergruppen gewebt sind;

[0028] Fig. 6A und Fig. 6B das Fehlen von Fasern im Kreuzungsbereich, wenn ein zweidimensionaler Faserstoff verwendet wird;

[0029] Fig. 7A, Fig. 7B, Fig. 7C und Fig. 7D unterschiedliche Ausführungen von gewebten Vorformlingen und Verbindungen aus Faserstoff;

[0030] Fig. 8 ein Ablaufdiagramm, welches das Verfahren nach der vorliegenden Erfindung veranschaulicht;

[0031] Fig. 9A, Fig. 9B, Fig. 9C und Fig. 9D eine Strukturanordnung oder Teil der vorliegenden Erfindung mit auf die äußere Oberfläche der Strukturanordnung aufgebrachten Umhüllungsschichten; und

[0032] Fig. 10 schematisch die Bruchbelastung von Strukturanordnungen nach der vorliegenden Erfindung im Vergleich zu einem Bezugssystem nach dem Stand der Technik.

AUSFÜHRLICHE BESCHREIBUNG DER ERFINDUNG

[0033] Bevorzugte Ausführungen nach der vorliegenden Erfindung sind in den Abbildungen dargestellt, in denen gleiche Zahlen verwendet werden, die sich auf gleiche und entsprechende Teile der verschiedenen Zeichnungen beziehen.

[0034] Die vorliegende Erfindung stellt ein einzigartiges Verfahren bereit zum Montieren von tragenden Elementen wie es durch Fig. 4 dargestellt ist. Fig. 4 stellt eine Strukturanordnung oder ein Teil **10** dar. Diese Anordnung wird durch verschiedene Untergruppen **12** gebildet. Untergruppen **12** sind normalerweise vorgehärtete laminierte Verbundstrukturen oder metallische Strukturen. Außerdem können Untergruppen **12** aus wabenartigen Schichtstrukturen oder festen monolithischen Strukturen aufgebaut sein. Die vorliegende Erfindung muss jedoch nicht auf diese Materialart für Untergruppen **12** beschränkt sein, es können andere Werkstoffarten wie zum Beispiel Graphit, Fiberglas, Metalle, Kevlar und dergleichen, wie sie dem Fachmann bekannt sind, eingesetzt werden.

[0035] In der allgemeinsten Anwendung wird die Strukturanordnung **10** dadurch gebildet, dass zumindest eine Untergruppe **12** in einem Härtungsprozess mit einem ungehärteten Vorformling **14** verbunden wird. In einer Ausführung nach der vorliegenden Erfindung ist der Vorformling **14** ein dreidimensionaler gewebter Faserstoff, der mit einem ungehärteten Harz imprägniert wird. Außerdem kann zwischen den Untergruppen **12** und dem ungehärteten Vorformling **14** ein Klebefilm **16** eingebracht werden. Die Klebeschicht kann in das Harz, das den dreidimensionalen gewebten Faserstoff imprägniert, einbezogen werden. Jedoch besitzen selbsthaftende Systeme aus Kunstharz typischerweise nicht die gleichen Eigenschaften.

[0036] Die Strukturanordnung **10** wird gebildet, wenn die Untergruppen **12** und der Vorformling **14** an der Verwendungsstelle gehärtet werden. Dies erzeugt eine stabile Verbindung zwischen zwei vorgehärteten Verbundwerkstoffen oder metallischen Untergruppen **12**. Durch gleichzeitiges Verkleben der Unterbaugruppen **12** mit dem Vorformling **14** kann eine Welligkeit der Fasern in den Untergruppen **12**, die die strukturelle Festigkeit ernsthaft verringert, vermieden werden. Außerdem wird durch das Verfahren eine Anpassung der gehärteten Struktur aus Verbundwerkstoff an eine gehärtete Untergruppe, die eine kostspielige Werkzeugausrüstung und genaue Toleranzen zum Erreichen von gleichförmigen Klebelinien erfordert, die für strukturelle Funktionsfähigkeit entscheidend sind, vermieden.

[0037] Das Härten an der Verbindungsstelle ermöglicht es, dass nachgiebige Druckverstärker **18** den flexiblen, ungehärteten gewebten Vorformling **14** an benachbarte Untergruppen **12** drücken, so dass er sich genauen Konturen und Winkel anpasst. Zusätzlich können die nachgiebigen Druckverstärker **18** preiswert hergestellt werden, weil eine genaue Passung nicht erforderlich ist, da sich die gehärteten Vorformlinge **14** den Untergruppen **12** anpassen können.

[0038] Außerdem ist der dreidimensionale Vorformling **14** nach der vorliegenden Erfindung einzigartig. In der Vergangenheit wurden zweidimensionale Faserstoffe verwendet, um Verbindungen zwischen Verbundwerkstoffen zu erzeugen. Der dreidimensionale Faserwerkstoff bewirkt eine strukturelle Festigkeit, die nicht mit einem üblichen zweidimensionalen Verbundwerkstoff verglichen werden kann. Der dreidimensionale Faserstoff besitzt Fasern **20**, die in Richtungen der Belastungsaufnahme des Schnittbereichs **22** eingewebt sind. Diese Fasern sind im Querschnitt eines in Fig. 5 dargestellten Bundes aus Faserstoff veranschaulicht. So macht ein Bund aus Faserstoff den dreidimensionalen Vorformling **14** mit Untergruppen **12** "passend". Klebstoffe und Harze besitzen im Allgemeinen hohe Zugfestigkeit und hohe Scherfestigkeit, jedoch geringe Haftfestigkeiten. Der dreidimensionale Vorformling aus Faserstoff nach der vorliegenden Erfindung erzeugt eine Verbindung mit vorherrschend Scher- und Zugbeanspruchungen, wenn die Steg-Untergruppe normal zur Oberfläche der Außenhaut belastet wird. In den Fig. 6A und Fig. 6B sind Querschnitte vorgesehen, die diese dreidimensionalen und zweidimensionalen Faserstoffe vergleichen, um das Fehlen von Fasern in dem Schnittbereich **22** zu veranschaulichen, wenn ein zweidimensionaler Faserstoff **24** eingesetzt wird.

[0039] In den Fig. 7A, Fig. 7B, Fig. 7C und Fig. 7D sind mehrere mögliche Ausführungen des dreidimensionalen Vorformlings **14** vorgesehen. Es soll jedoch angemerkt werden, dass die vorliegende Erfindung nicht auf die in den Fig. 7A bis Fig. 7D vorgesehenen dreidimensionalen Strukturen aus Faserstoff beschränkt ist, vielmehr sind diese nur zum Zweck der Darstellung vorgesehen, wobei jede beliebige dreidimensionale Struktur verwendet werden kann.

[0040] In Fig. 8 ist ein Ablaufdiagramm vorgesehen, das ein Verfahren zum Aufbauen der Anordnungen **10** nach der vorliegenden Erfindung darstellt. Beginnend mit Schritt **100** wird zwischen die Untergruppen **12** und den dreidimensionalen gewebten Vorformling **14** aus Faserstoff ein in Fig. 4 dargestellter Klebstofffilm **16** eingebracht. Im Schritt **102** werden über den freigelegten Faserstoffen **14** nachgiebige Überpressungen **18** angeordnet.

[0041] Im Schritt **104** wird ein Unterdruckbeutel **26** außerhalb der Überpressungen **18** angebracht. Die

Anordnung **10**, die die Untergruppen **12** und den dreidimensionalen gewebten Vorformling **14** aus Faserstoff sowie den Klebstoff **16** aufweist, wird anschließend gehärtet, um im Schritt **106** eine einzelne starre Struktur zu bilden. Normalerweise wird diese Härtung durch die Anwendung von Wärme und/oder Druck ausgeführt. In dem Augenblick, wo Druck verwendet wird, werden die Druckverstärker **18** in der Nähe der Untergruppen **12** und des dreidimensionalen gewebten Vorformlings **14** aus Faserstoff angeordnet. Ein mit den Druckverstärkern nach der vorliegenden Erfindung verbundener Vorteil besteht darin, dass sie preiswert aus einem flexiblen Material wie z. B. Silikongummi gebildet werden können, indem Formen verwendet werden, die mit Verfahren der Stereolithografie hergestellt wurden.

[0042] Die gesamte Anordnung **10** kann in einem Unterdruckbeutel **26** angeordnet werden. Weil das Vakuum in den Unterdruckbeutel **26** gesaugt wird, wird auf alle Oberflächen der Anordnung **10** eine gleichförmige Kraft gleichmäßig aufgebracht. Dies schließt die Notwendigkeit einer kostspieligen und spezialisierten Werkzeugausrüstung zum Zusammendrücken und Festhalten der Anordnung **10** während des Härtungsprozesses aus. Dieser Druck drückt die Bindung des flexiblen ungehärteten dreidimensionalen gewebten Vorformlings **14** aus Faserstoff gegen die Konturen der Untergruppen **12**, damit gleichmäßige Klebelinien gewährleistet werden und die Welligkeit von Fasern, die die strukturelle Festigkeit reduziert, vermieden wird.

[0043] Alternativ dazu können der Klebefilm und der ungehärtete dreidimensionale gewebte Vorformling aus Faserstoff gehärtet werden, indem anstelle von Wärme ein System zum Härten von Harz mit einem Elektronenstrahl verwendet wird.

[0044] Um der Anordnung **10** zusätzliche Festigkeit zu verleihen, können vor dem Härten **106** Umhüllungsschichten **28**, wie in Fig. 9A gezeigt, auf die äußeren Oberflächen des dreidimensionalen gewebten Vorformlings **14** aus Faserstoff und der Untergruppen **12** aufgebracht werden.

[0045] Fig. 9B stellt einen typischen Bezugsflügel dar, der durch herkömmliche Verfahren ohne einen gewebten Vorformling hergestellt ist.

[0046] Fig. 9C und Fig. 9D stellen den Verklebeprozess dar, bei dem ein "T"-Vorformling aus Graphit und ein "TT"-Vorformling aus Graphit eingesetzt werden.

[0047] Druck wird aufgebracht, um die Untergruppen **12** und Vorformlinge **14** zusammenzuhalten. Dies kann durch die Anwendung von Überpressungen und Eintüten unter Vakuum oder Festklemmen der Untergruppen **12** und Vorformlinge **14** ausgeführt werden. Viele Systeme mit Kunstharz erfordern einen Druck über den hinaus, der mit einem Unterdruckbeutel erreichbar ist, so dass ein Autoklav verwendet wird, um den Unterdruckbeutel zu ergänzen.

[0048] Stereolithographie ermöglicht es, dass die Druckverstärker oder Überpressungen aus mit CAD erzeugten Feststoff- oder Oberflächenmodellen gebildet werden. Die ausgelegten Überpressungen erscheinen als ein fester dreidimensionaler Teil, ohne dass maschinelle Ausrüstung benötigt wird.

[0049] Der Vorgang, eine Bearbeitung aus einem ursprünglichen Konzept durch alle notwendigen Phasen, die vor einer Realisierung in einer Fertigungsumgebung erforderlich sind, vorzunehmen, ist sowohl zeitaufwändig als auch kostspielig. Die Größe der Zeit, die benötigt wird, um die Produktions-/Herstellungsphase eines Produktes tatsächlich zu erreichen, kann direkt in Dollar und Cent gemessen werden. Eine Verringerung dieser Zeit macht den Herstellungsprozess sowohl effizienter als auch profitabler. Als eine Methode wird CAD-Software verwendet, um sowohl die Geometrie als auch die dimensionalen Anforderungen der Überpressungen zu definieren. Die Daten aus dieser CAD-Datei werden anschließend elektronisch zu einem Stereolithographiesystem übertragen. Es gibt mehrere unterschiedliche Typen von Stereolithographiesystemen, die verfügbar sind, von denen jedes seinen eigenen charakteristischen Prozess nutzt in Abhängigkeit solcher Faktoren wie erforderliche Genauigkeit des Modells, Ausrüstungskosten, Modellmaterial, Modelltyp und, wahrscheinlich am wichtigsten, die Modellierzeit. Eine solche Stereolithographievorrichtung besteht aus einem großen Fass eines flüssigen Polymers, in dem ein beweglicher Hubtisch/Plattform vorhanden ist, der/die sich in Abhängigkeit von den Anforderungen, die den Typ des zu konstruierenden Modells definieren, in sehr genauen Zuwächsen bewegen (absenken) kann. Anschließend wird ein Helium-/Cadmium-Laser eingesetzt, um einen kleinen aber intensiven Punkt ultravioletten Lichts zu erzeugen, der zum Bewegen durch ein computergesteuertes optisches Abtastsystem über die Oberseite des großen Fasses von flüssigem Polymer verwendet wird. An dem Punkt, wo der Laser und das flüssige Polymer in Kontakt kommen, wandelt sich das Polymer zu einem Feststoff um. Wenn der Laserstrahl über eine xy-Fläche gelenkt wird, wird das Modell punktweise und schichtweise als ein Kunststoffgegenstand so echt gebildet, wie es durch die Art des Photopolymers ermöglicht wird, das in allen drei Dimensionen x, y und z verwendet wird. Wenn jede Schicht ausgebildet ist, dann wird die Hubplattform abgesenkt, so dass die nächste Schicht eingescannt werden kann. Wenn jede zusätzliche Schicht ausgebildet ist, dann klebt sie an der vorhergehenden, und das sich ergebende Objekt wird durch eine genaue Anzahl von aufeinander folgenden Schichten erzeugt.

[0050] Am Ende dieses Prozesses kann das Objekt dann aus der Stützstruktur entfernt und durch eine beliebige Anzahl von Verfahren fertig bearbeitet werden, bis die Oberflächenbearbeitung die Beschaffenheit aufweist, die erforderlich ist. Das Objekt kann anschließend entweder als eine negative oder positive Form eingesetzt werden, um die Überpressungen aus einem flexiblen Material zu bilden. Alternativ dazu kann das Objekt, wenn das Polymer aus dem das Objekt aufgebaut ist, die gewünschten Materialeigenschaften aufweist, direkt als Druckverstärker oder Überpressung verwendet werden.

[0051] Stereolithographie ist in der Lage, Toleranzen bis 0,005 einzuhalten, wobei auch feinere Toleranzen durch maschinelle Bearbeitung oder Präzisionsschleifen des fertig bearbeiteten Objektes möglich sind. Komplexe Formen und Geometrie der produzierten Objekte sind scheinbar nur durch eigene Vorstellung beschränkt.

[0052] Fig. 10 zeigt die vergleichbare Festigkeit der ganz verklebten Verbindung aus Faserstoff nach der vorliegenden Erfindung im Vergleich zu einer mit Schrauben versehenen Bezugsverbindung mit einem Aluminiumsrahmen wie sie durch den Stand der Technik zur Verfügung gestellt wird. Wie man sehen kann, erreicht die verklebte Verbindung **40** ungefähr die gleiche Belastung wie die Bezugsverbindung **42** vor dem Versagen. Typischerweise tragen alle Verbindungen aus Verbundwerkstoff ungefähr ein Drittel dieser Belastungshöhe. Die Anpassung der Festigkeit einer Verschraubung mit einem Aluminiumrahmen ist mit Verfahren nach dem Stand der Technik zuvor nicht erreicht worden.

[0053] Die vorliegende Erfindung stellt einen wichtigen technischen Vorteil gegenüber früheren Systemen und Verfahren der Bildung von komplexen Verbundstrukturen zur Verfügung. Die vorliegende Erfindung bewirkt eine stabile Verbindung zwischen zwei vorgehärteten Verbundwerkstoffen oder metallischen Untergruppen. Dadurch, dass Untergruppen gleichzeitig mit dreidimensionalen gewebten Vorformlingen aus Faserstoff verklebt werden, kann die Welligkeit von Fasern, die die strukturelle Festigkeit ernsthaft reduziert, vermieden werden.

[0054] Außerdem erfordert die Anpassung einer gehärteten Struktur aus einem Verbundwerkstoff an eine Untergruppe normalerweise eine kostspielige Bearbeitung und Feintoleranzen, um gleichmäßige Klebelinien zu erreichen, die für die strukturelle Funktionsfähigkeit entscheidend sind. Die durch die vorliegende Erfindung verwendeten Druckverstärker oder Überpressungen können kostengünstig hergestellt werden, weil eine genaue Passung nicht erforderlich ist wie sie durch sekundäre Verbindungsprozesse benötigt wird, da sich die ungehärteten Vorformlinge den Untergruppen anpassen.

[0055] Das Härten an der Verwendungsstelle ermöglicht es, dass die Bindung aus flexiblen ungehärteten dreidimensionalen gewebten Vorformlingen aus Faserstoff an die benachbarten Untergruppen gedrückt wird und sich somit exakten Konturen und Winkel anzupassen. Außerdem können Druckverstärker kostengünstig hergestellt werden, da eine genaue Passung nicht erforderlich ist wie sie durch vorgehärtete Vorformlinge benötigt wird, wenn sich die ungehärteten Vorformlinge den Untergruppen anpassen. Somit können aufwändige Kosten und feste Toleranzen, die mit vorgehärteten Vorformlingen verbunden sind, vermieden werden.

[0056] Außerdem bewirkt der dreidimensionale gewebte Vorformling aus Faserstoff nach der vorliegenden Erfindung eine einzigartige strukturelle Festigkeit und Schadenstoleranz, die mit einer herkömmlichen zweidimensionalen Verbindung aus Faserstoff-Verbundmaterial nicht verglichen werden kann. Der dreidimensionale Faserstoff besitzt Fasern, die in Richtungen der Belastungsaufnahme von Schnittstellen zwischen Untergruppen eingewebt werden. So wird ein Bund aus Faserstoff gebildet, der den dreidimensionalen gewebten Vorformling aus Faserstoff zu den Untergruppen passend macht. Folglich erzeugt die vorliegende Erfindung eine Verbindung mit vorherrschend Scher- und Zugbeanspruchungen, wenn die Steg-Untergruppe normal zu der Fläche der Außenhaut belastet wird.

[0057] Zusammenfassend stellt die vorliegende Erfindung ein System und Verfahren zum Bilden von Strukturanordnungen mit dreidimensionalen gewebten Verbindungs-Vorformlingen bereit. Das Verfahren nach der vorliegenden Erfindung bildet komplexe Strukturanordnungen mit vorgehärteten Strukturen aus Verbundwerkstoff oder Metall. Zwischen die vorgehärteten Strukturen und die ungehärteten dreidimensionalen gewebten Vorformlinge aus Faserstoff wird ein Klebstoff eingebracht. Anschließend werden die vorgehärteten Strukturen und der mit ungehärtetem Harz imprägnierte, dreidimensionale gewebte Faserstoff mit Wärme und/oder Druck zusammen gehärtet, um die größeren komplexen Strukturanordnungen zu bilden.

[0058] Obwohl die vorliegende Erfindung ausführlich beschrieben worden ist, soll verständlich werden, dass daran verschiedene Änderungen, Substitutionen und Veränderungen vorgenommen werden können, ohne von dem Umfang der Erfindung, wie durch die angefügten Ansprüche beschrieben, abzuweichen.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Bilden einer Strukturanordnung (**10**), das die Schritte aufweist:
Befestigen einer ersten vorgehärteten Anordnung

(**12**) an einem gewebten textilen 3D-Vorformling (**14**), der mit einem ungehärteten Harz imprägniert ist, wobei sich ein Klebefilm (**16**) zwischen der ersten vorgehärteten Anordnung (**12**) und dem Vorformling (**14**) befindet, der Vorformling (**14**) eine Basis und ein sich von der Basis erstreckendes erstes und zweites Bein aufweist, die Basis ein erstes und ein zweites Ende mit konischen Abschnitten, die in der Dicke konisch verlaufen, hat und das erste und das zweite Bein Enden haben, die konische Abschnitte haben, die in der Dicke konisch verlaufen, welche erste vorgehärtete Anordnung (**12**) sich auf einer Seite der Basis entgegengesetzt dem ersten und dem zweiten Bein befindet;
Befestigen einer zweiten vorgehärteten Anordnung (**12**) zwischen dem ersten und dem zweiten Bein des gewebten textilen 3D-Vorformlings (**14**) mit einem zusätzlichen Klebefilm (**16**), der sich zwischen der zweiten vorgehärteten Anordnung (**12**) und inneren Oberflächen des ersten und des zweiten Beins des Vorformlings (**14**) befindet;
Härten des Harzes und der Klebefilme (**16**), um die Strukturanordnung (**10**) zu bilden; wobei
das Härten durchgeführt wird durch Anlegen einer Beinseite eines ersten Druckverstärkers (**18**) aus flexiblem Material an einer äußeren Oberfläche des ersten Beins und Anlegen einer Basisseite des ersten Druckverstärkers (**18**) an der Basis, welche Beinseite des ersten Druckverstärkers (**18**) sich an einem Ende des ersten Beins vorbei erstreckt und welche Basisseite des ersten Druckverstärkers (**18**) sich an einem ersten Ende der Basis vorbei erstreckt, und Anlegen einer Beinseite eines zweiten Druckverstärkers (**18**) aus flexiblem Material an einer äußeren Oberfläche des zweiten Beins und Anlegen einer Basisseite des zweiten Druckverstärkers (**18**) an der Basis, welche Beinseite des zweiten Druckverstärkers (**18**) sich an einem Ende des zweiten Beins vorbei erstreckt und welche Basisseite des zweiten Druckverstärkers (**18**) sich an einem zweiten Ende der Basis vorbei erstreckt, wobei jeder der Druckverstärker (**18**) eine äußere Seite hat, die sich von einer Kante der Basisseite zu einer Kante der Beinseite erstreckt;
Einsetzen der ersten und der zweiten vorgehärteten Anordnung (**12**) zusammen mit dem Vorformling (**14**), den Klebefilmen (**16**) und den Druckverstärkern (**18**) in einen Unterdruckbeutel (**26**), dann Evakuieren des Unterdruckbeutels (**26**), wodurch bewirkt wird, dass die Druckverstärker (**18**) die Basis und die Beine des Vorformlings (**18**) gegen Bereiche der vorgehärteten Anordnungen (**12**) drücken; und
wobei jede der Beinseiten und jede der Basisseiten des ersten und des zweiten Druckverstärkers (**18**) vor dem Evakuieren des Unterdruckbeutels (**26**) einen Abstand von den konischen Abschnitten aufweisen.

2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem der Schritt des Härtens mit Wärme und Druck durchgeführt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem die äußere Seite von jedem der Druckverstärker (**18**) konkav ist.

4. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem der Schritt des Härtens mit einem E-Strahl-Harzsystem durchgeführt wird.

5. Verfahren nach Anspruch 1, weiterhin aufweisend den Schritt des Aufbringens einer zusammengesetzten Umhüllungsschicht (**28**) auf die äußeren Oberflächen der Beine des Vorformlings (**14**) vor dem Drücken der Beinseiten der Druckverstärker (**18**) gegen die Beine.

6. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem die Druckverstärker (**18**) Gummi sind.

7. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem die Basisseite und die Beinseite von jedem der Druckverstärker (**18**) einen rechten Winkel zueinander aufweisen und jeder der Druckverstärker (**18**) im Querschnitt im Wesentlichen dreieckig ist.

Es folgen 7 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

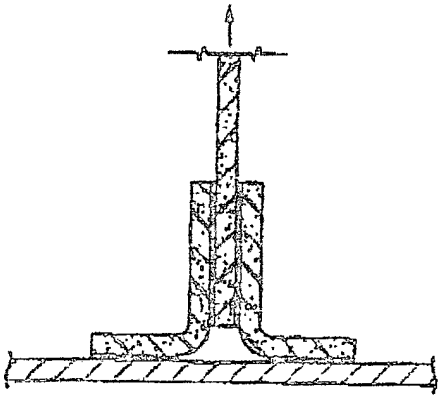


FIG.1a
(Stand der Technik)

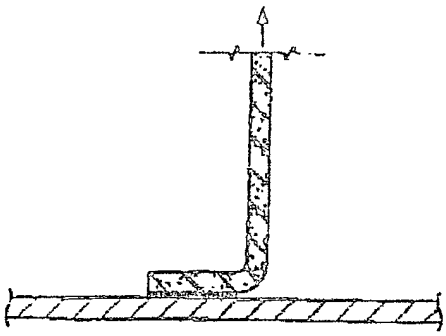


FIG.1b
(Stand der Technik)

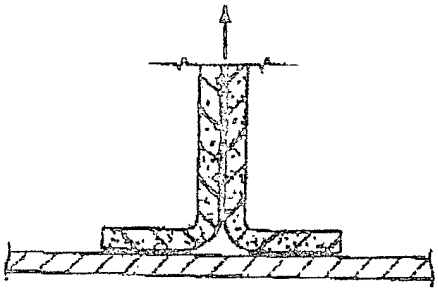


FIG.1c
(Stand der Technik)

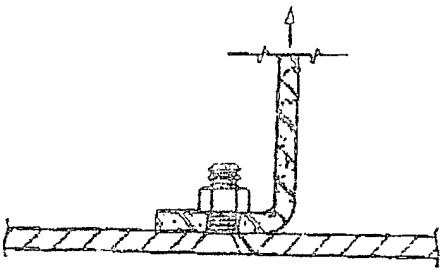


FIG.1d
(Stand der Technik)

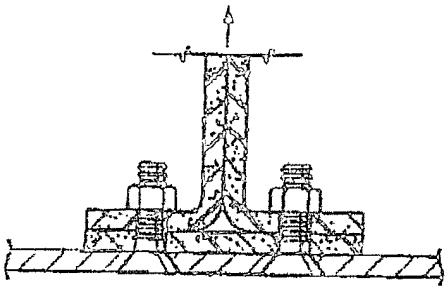


FIG.1e
(Stand der Technik)

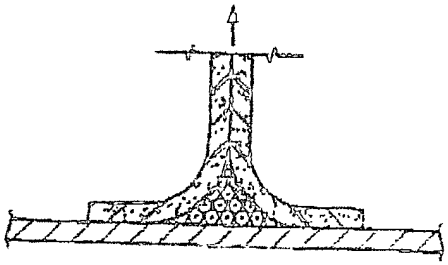


FIG.2

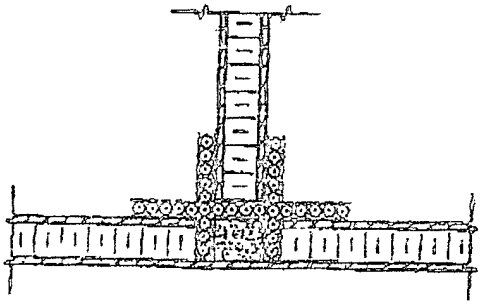


FIG.3

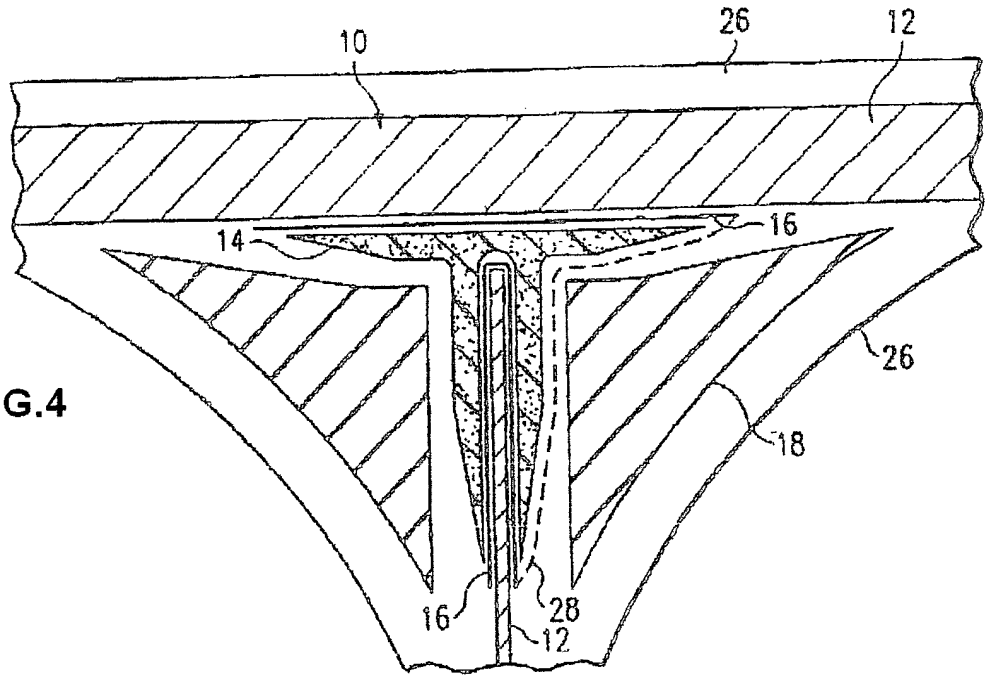


FIG.4

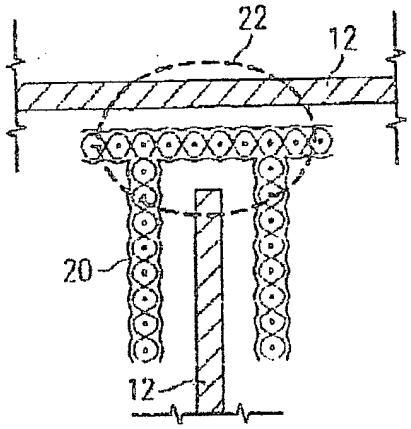


FIG.5

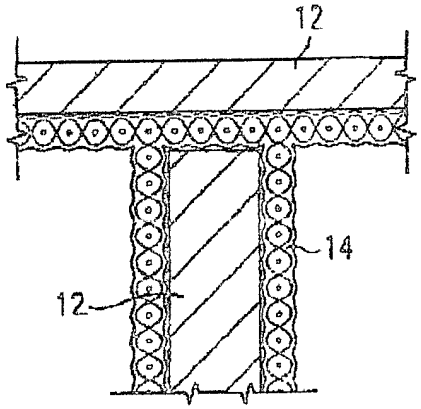


FIG.6a

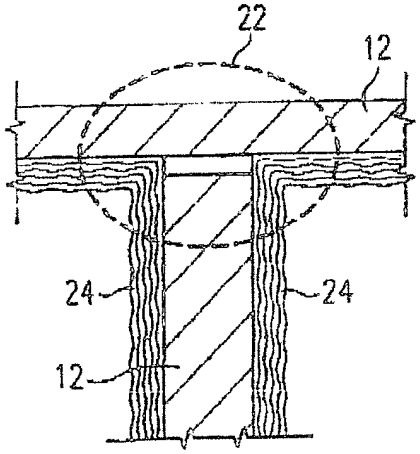


FIG.6b

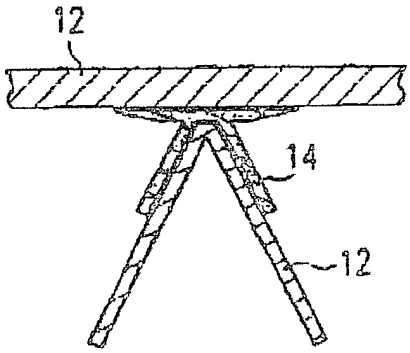


FIG.7a

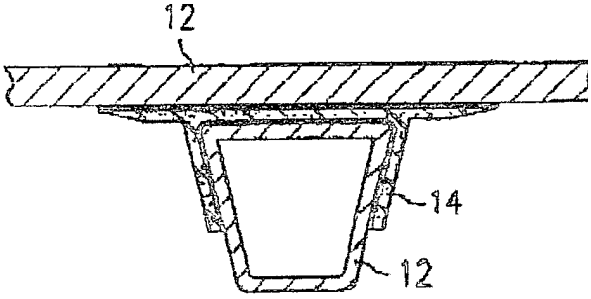


FIG.7b

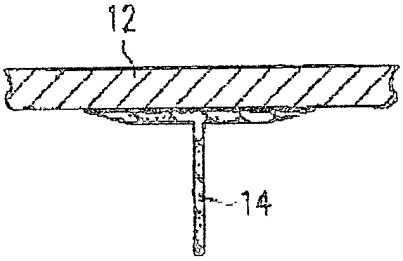


FIG.7c

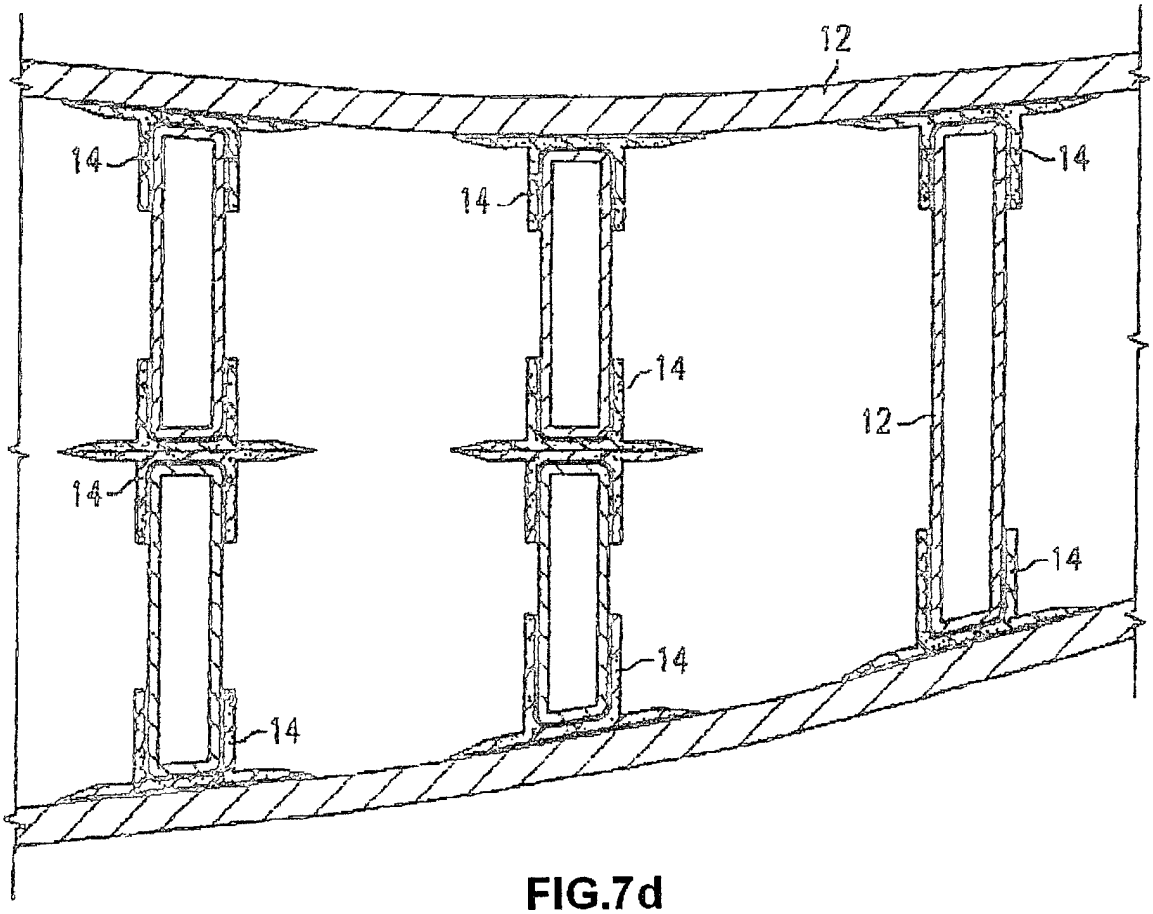


FIG.7d

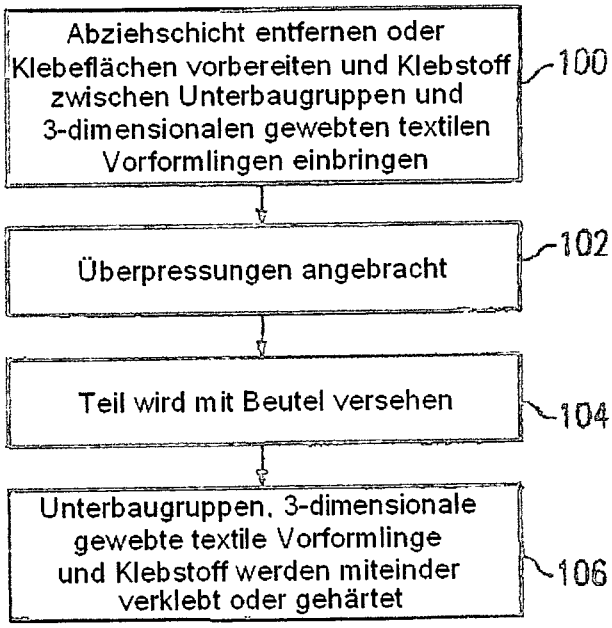

Abziehschicht entfernen oder Klebeflächen vorbereiten und Klebstoff zwischen Unterbaugruppen und 3-dimensionalen gewebten textilen Vorformlingen einbringen
100
Überpressungen angebracht
102
Teil wird mit Beutel versehen
104
Unterbaugruppen, 3-dimensionale gewebte textile Vorformlinge und Klebstoff werden miteinder verklebt oder gehärtet
106

FIG.8

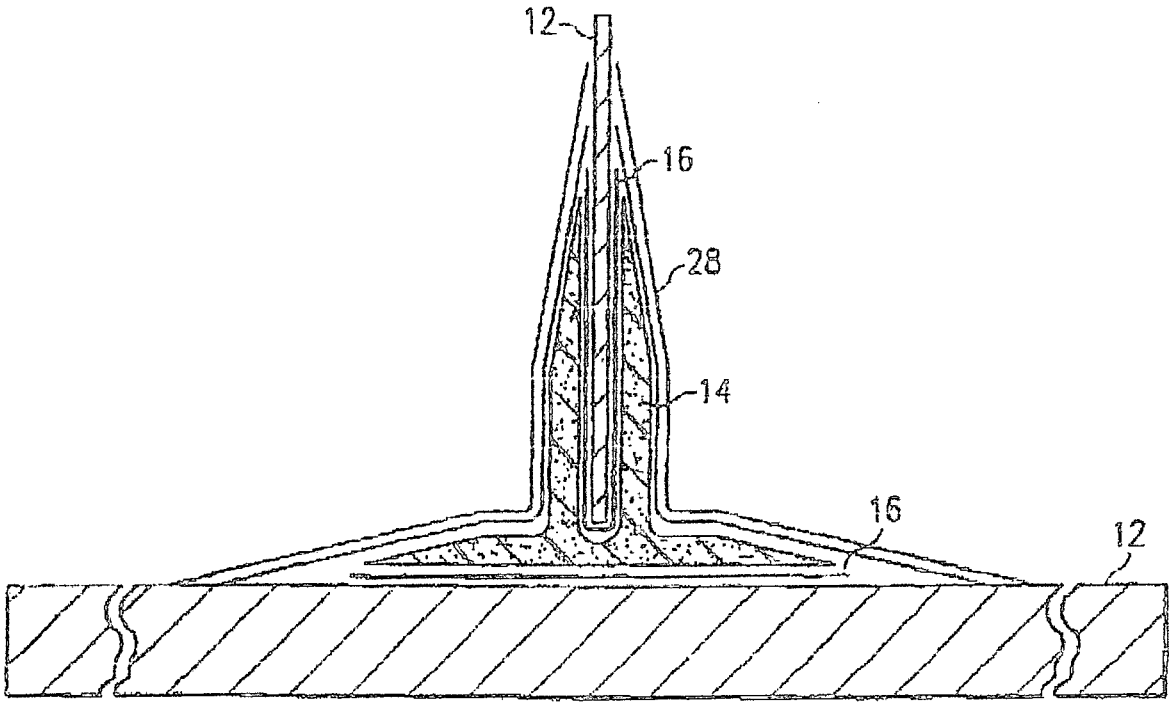

12
16
28
14
16
12

FIG.9a

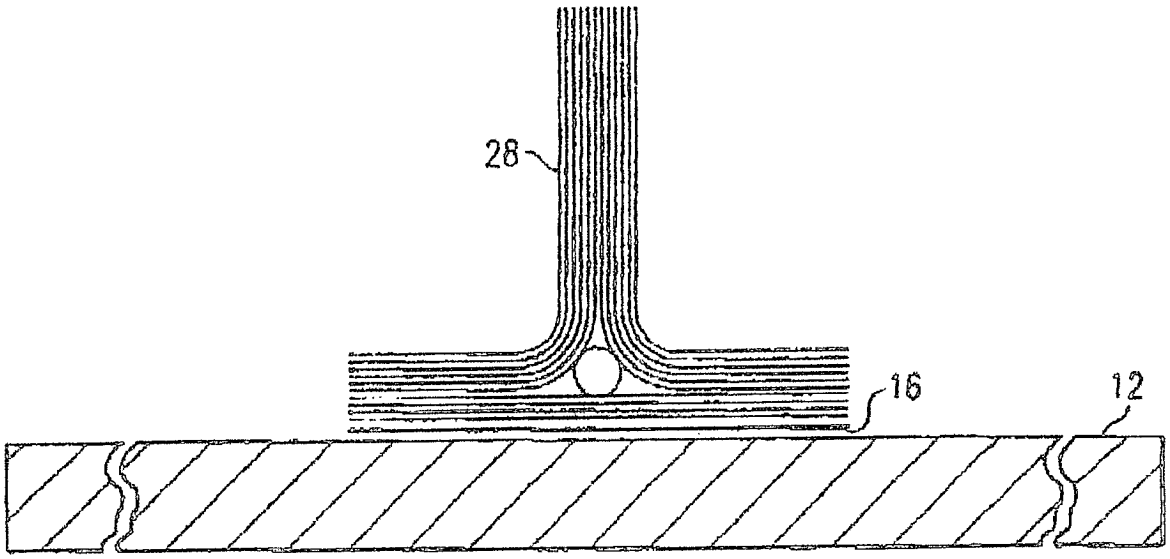


FIG.9b

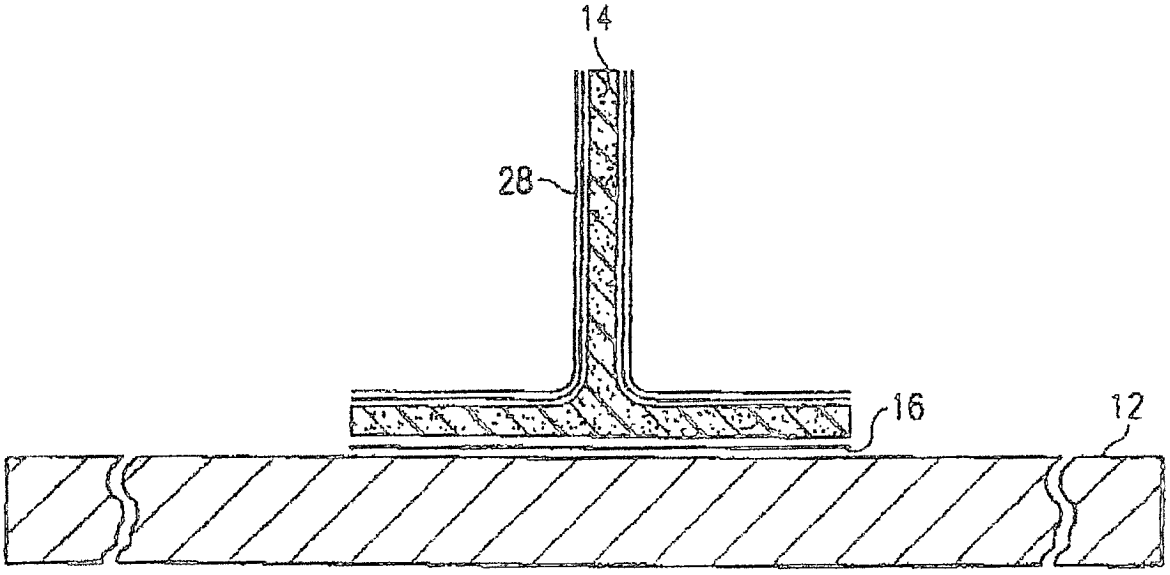


FIG.9c

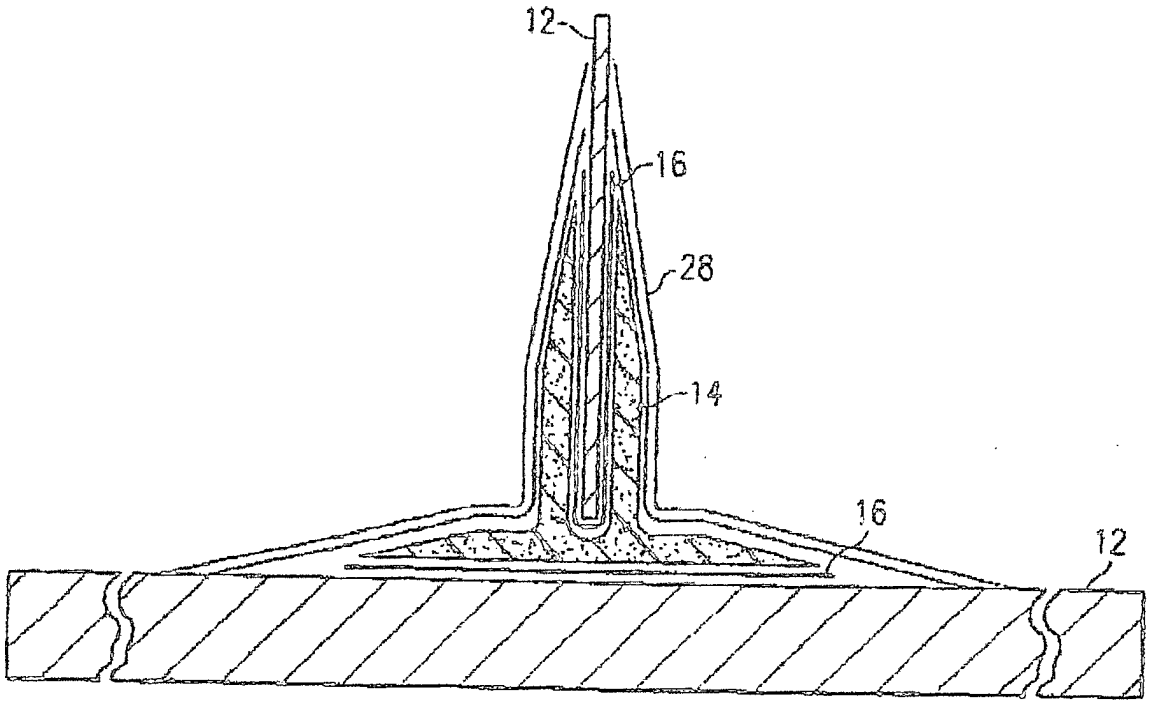


FIG.9d

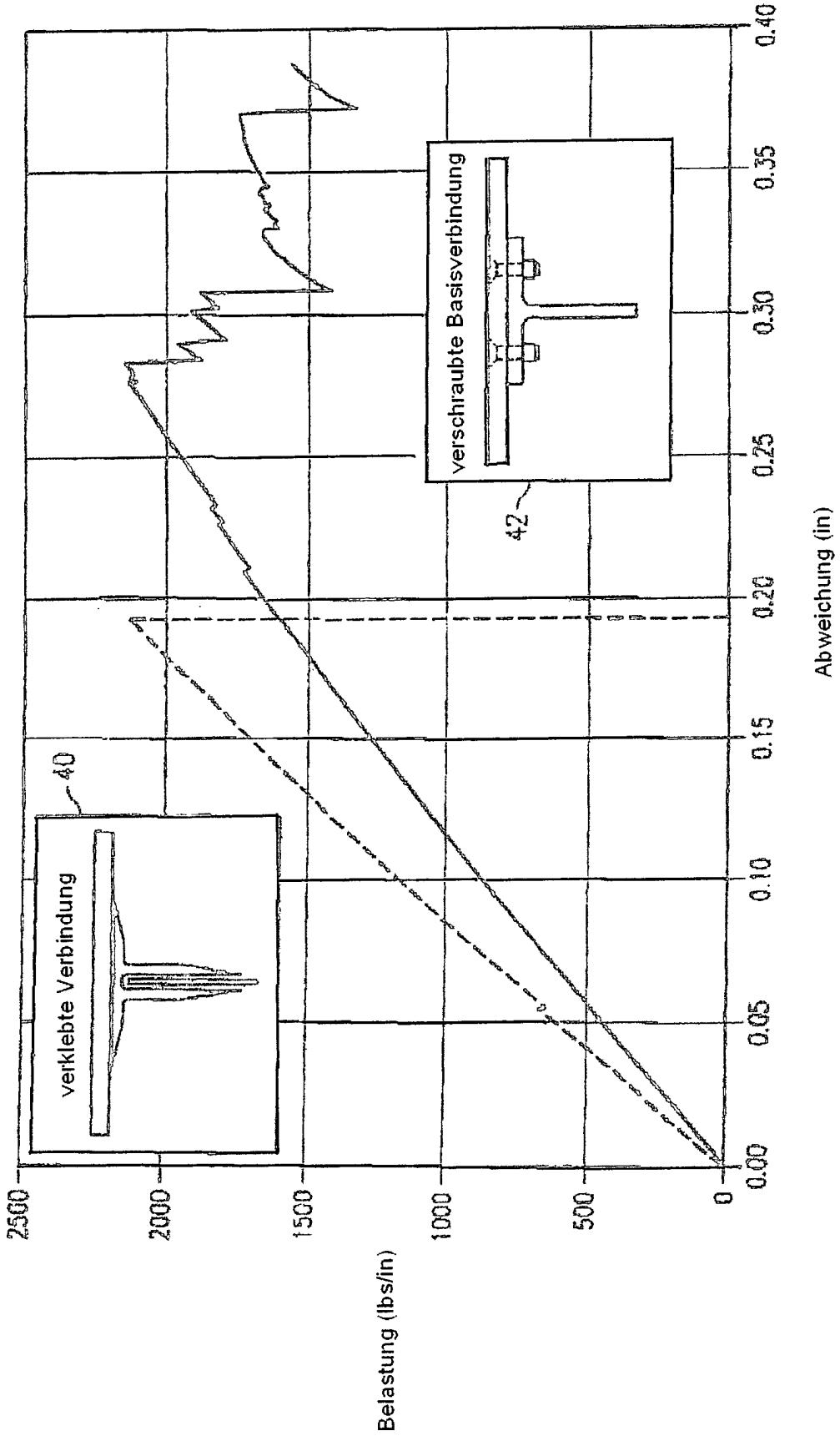

verklebte Verbindung
40
verschraubte Basisverbindung
42
Belastung (lbs/in)
2500
2000
1500
1000
500
0
Abweichung (in)
0.00
0.05
0.10
0.15
0.20
0.25
0.30
0.35
0.40

FIG.10