



(10) **DE 10 2021 111 279 B4** 2023.09.21

(12) **Patentschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2021 111 279.6**
(22) Anmeldetag: **30.04.2021**
(43) Offenlegungstag: **25.05.2022**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **21.09.2023**

(51) Int Cl.: **B25J 15/06 (2006.01)**
B25J 15/08 (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:
17/103,698 24.11.2020 US

(73) Patentinhaber:
**GM GLOBAL TECHNOLOGY OPERATIONS LLC,
Detroit, MI, US**

(74) Vertreter:
**LKGLOBAL Lorenz und Kopf Patentanwalt,
Attorney at Law PartG mbB, 80333 München, DE**

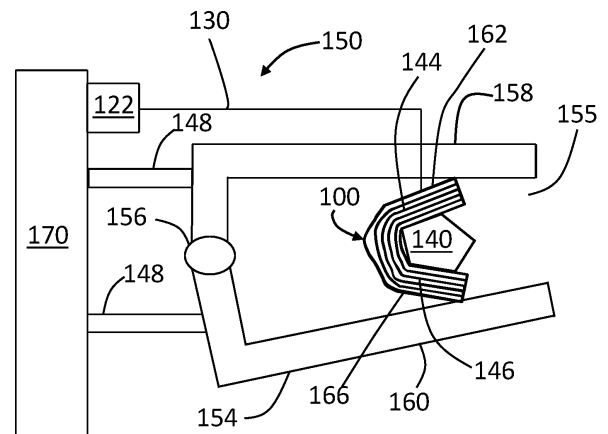
(72) Erfinder:
**Chae, HyungMin, Warren, US; Brown, Tyson W.,
Warren, US; Smith, Mark A., Warren, US; Skurkis,
Richard J., Warren, US; Kim, Wonhee M., Warren,
US**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	10 2011 050 099	A1
DE	10 2018 007 563	A1
DE	10 2020 005 752	A1
US	10 625 428	B2
US	2010 / 0 078 953	A1
EP	2 796 263	B1

(54) Bezeichnung: **Greifsystem und Verfahren zum Halten eines Werkstücks**

(57) Hauptanspruch: Greifsystem (150) zum Halten eines Werkstücks (140), das Greifsystem (150) aufweisend: eine Schichtverklebungsstruktur (100) mit einer Membran (102), die einen inneren Hohlraum (110) definiert, der eine Anzahl von überlappenden Materialschichten (112) enthält; ein Drucksystem (120) mit einer Pumpe (122), die mit dem inneren Hohlraum (110) gekoppelt ist; und ein Formanpassungswerkzeug (154) mit mindestens einem Teil, das so konfiguriert ist, dass es sich bewegt, um eine Kraft auf die Schichtverklebungsstruktur (100) auszuüben, wobei das Formanpassungswerkzeug (154) so konfiguriert ist, dass es bei Betätigung des mindestens einen Teils die Schichtverklebungsstruktur (100) an das Werkstück (140) anpasst, wobei das Drucksystem (120) so konfiguriert ist, dass es beim Betreiben der Pumpe (122) einen Druck in dem inneren Hohlraum (110) ändert, um der Schichtverklebungsstruktur (100) Steifigkeit zu verleihen.



Beschreibung

[0001] Die Beschreibung bezieht sich im Allgemeinen auf Fertigungswerkzeuge mit Formsteuerungsmerkmalen und im Besonderen auf Fertigungssysteme und -verfahren mit anpassungsfähigem Werkstückgreifen, bei denen die Vorrichtung, die ein Objekt hält, mechanische Merkmale enthalten kann, um die Greifgeometrie beim anfänglichen Kontakt mit einem Werkstück flexibel zu verändern, und die sich dann durch Schichtverklemmung versteifen können, um das Werkstück zu fixieren.

[0002] Die Manipulation von Werkstücken wurde im Allgemeinen durch manuelle Tätigkeiten durchgeführt, die eine angeborene Fähigkeit zum Steuern der Anpassungsfähigkeit an Formen und zum Steuern der auf Objekte ausgeübten Kraft beinhalten. Wenn Mechanisierung an die Stelle manueller Tätigkeiten tritt, unterliegt die Fähigkeit, die Anpassungsfähigkeit an Formen zu steuern und die angewandten Kräfte zu steuern, den inhärenten Einschränkungen, die durch die Geometrie und Steifigkeit mechanischer Strukturen auferlegt werden. Ein mechanisierter Greifer umfasst im Allgemeinen ein Paar gegenüberliegender, ebener Flächen, die ein Objekt zum Greifen, Halten, Heben und/oder Manipulieren zusammendrücken. Die Fähigkeit, das Greifen zu steuern, kann jedoch mehr als nur eine Kompressionsfunktion erfordern, und daher werden ausgefeiltere Mechanismen benötigt. Zum Beispiel kann die Form der zu manipulierenden Objekte komplex sein und variieren, so dass die Fähigkeit erforderlich ist, die komplexe Form und die möglicherweise vorhandenen Bauvariationen zu berücksichtigen. Darüber hinaus hat der zunehmende Einsatz von additiven Fertigungsverfahren die Fähigkeit entwickelt, Komponenten zu erzeugen, die immer komplexere Formen haben. Diese Formen enthalten möglicherweise keine flachen oder anderen Oberflächen, die zum Greifen geeignet sind. Daher steigt der Bedarf an anpassungsfähigeren Greifmechanismen.

[0003] DE 10 2020 005 752 A1 beschreibt einen Endeffektor, der in der Lage ist, Gegenstände unter Verwendung von Stoß- und Anziehungskräften zu fassen. Der Endeffektor beinhaltet ein Schnittstellensystem mit einer verformbaren Montageplatte und einem biegsamen Körperelement, das an der Montageplatte angebracht ist. Der Endeffektor umfasst ferner ein Gestängesystem zwischen mehreren Aktuatoren und dem Schnittstellensystem. Das Gestängesystem ist mit seitlichen Teilen der Montageplatte verbunden.

[0004] DE 10 2018 007 563 A1 beschreibt eine Vorrichtung zum Greifen von Bauteilen mit einer beliebigen Oberflächenkontur, umfassend ein Greifelement und eine Druckerzeugung. Bei einer Vorrichtung, bei

welcher die Greifbarkeit eines Roboters oder eines Manipulators verbessert werden kann, weist das Greifelement bauteilseitig eine elastische knautschfähige Struktur, wie eine Zellstruktur, auf, die auf einer Bauteil-abgewandten Seite mit der Druckerzeugung verbunden ist.

[0005] DE 10 2011 050 099 A1 beschreibt ein Drapierwerkzeug sowie ein Verfahren zum Herstellen eines Faserverbundwerkstoffbauteils für ein Kraftfahrzeug. Das Drapierwerkzeug weist Heizelemente sowie Formleisten auf, um damit ein Faserverbundwerkstoffbauteil für ein Kraftfahrzeug herzustellen.

[0006] EP 2 796 263 B1 beschreibt eine Verlegematrize zum Aufnehmen und Verlegen von Substraten, wobei die Matrize eine elastisch verformbare Substrataufnahmestruktur zum Bereitstellen einer Eingriffsfläche zur lösbaren Aufnahme von Substraten, ein Befestigungselement mit einem Gaskanal zum Bereitstellen von unter positivem oder negativem Druck stehendem Gas zum Aufnehmen und Abblasen der Substrate, einen Trägerkörper aus einem elastisch verformbaren Material umfasst, wobei der Trägerkörper sandwichartig zwischen der Aufnahmestruktur und dem Anbringungselement angeordnet ist, wobei das Anbringungselement angeordnet ist, um das Gas über den Trägerkörper zu verteilen, wobei der Trägerkörper eine Vielzahl von Durchbrüchen umfasst, um das Gas von dem Anbringungselement zu der Aufnahmestruktur zu übertragen, wobei die Aufnahmestruktur eine elastisch verformbare Verteilungsplatte umfasst, um das Gas über die Eingriffsoberfläche zu verteilen.

[0007] US 10 625 428 B2 beschreibt einen Endeffektor und ein zugehöriges Verfahren zum Greifen eines Gegenstandes. Der Endeffektor umfasst ein Schnittstellensystem mit einer Montageplatte, die mindestens einen ersten Abschnitt aufweist, der relativ zu mindestens einem zweiten Abschnitt beweglich ist. Beispielsweise sind der erste Abschnitt und/oder der zweite Abschnitt so konfiguriert, dass sie um mindestens eine erste Schwenkachse schwenken. Das Schnittstellensystem umfasst ferner ein biegsames Körperelement, das an der Montageplatte befestigt ist und zumindest teilweise eine innere Aussparung bildet. Der Endeffektor umfasst ferner ein Paar von Betätigungselementen, die funktionsfähig mit der Platte verbunden und jeweils so konfiguriert sind, dass sie eine Kraft auf die Platte ausüben, um einen Teil der Montageplatte zu schwenken und das biegsame Körperelement zu verformen. Der Endeffektor umfasst ferner einen Vakuumananschluss, der mit der inneren Aussparung in Fluidverbindung steht.

[0008] US 2010 / 0 078 953 A1 beschreibt eine Werkstückgreifvorrichtung mit einem primären Fangmechanismus mit einem Saugnapf, der dazu geeignet ist, ein Werkstück durch Saugkraft zu halten, und

einem stangenartigen Teil, an dessen einem Ende der Saugnapf angebracht ist, Greifklinken, die das Werkstück sandwichartig einschließen und ergreifen, eine Antriebseinheit zum Zuführen einer Antriebskraft und einen Übertragungsmechanismus, der die Antriebskraft der Antriebseinheit auf die Greifklinken überträgt. Der Übertragungsmechanismus bewegt die Greifklinken entlang einer Achse des stabförmigen Teils zwischen einer Greifposition, in der die Greifklinken über den Saugnapf hinausragen, und einer zurückgezogenen Position, in der die Greifklinken vom Saugnapf in Richtung der Grundplatte zurückgezogen sind. Die Greifklinken werden in die Greifposition entlang der Achse des stabförmigen Teils bewegt, während der Abstand zwischen den Greifklinken verkürzt wird.

[0009] Es kann als Aufgabe betrachtet werden, die Fähigkeit eines Greifers, sich der individuellen Geometrie eines Werkstücks anzupassen und komplexe Formen zu erfassen, zu verbessern und ein entsprechendes Greifsystem sowie ein Verfahren zum Halten eines Werkstücks anzugeben. Darüber hinaus werden weitere wünschenswerte Merkmale und Eigenschaften der vorliegenden Erfindung aus der nachfolgenden detaillierten Beschreibung und den beigefügten Ansprüchen ersichtlich, die in Verbindung mit den beigefügten Zeichnungen und dem vorstehenden technischen Gebiet und Hintergrund betrachtet werden. Die genannte Aufgabe wird durch den Gegenstand der unabhängigen Ansprüche 1 und 9 gelöst.

[0010] Für das Greifen von Werkstücken werden Systeme und Verfahren mit Formsteuerungsfunktionen bereitgestellt. Erfindungsgemäß umfasst ein Greifsystem zum Halten eines Werkstücks eine Schichtverklemmungsstruktur mit einer Membran, die einen inneren Hohlraum definiert, der eine Anzahl von überlappenden Materialschichten enthält. Das Greifsystem umfasst erfindungsgemäß weiterhin ein Drucksystem mit einer Pumpe, die mit dem inneren Hohlraum gekoppelt ist. Das Greifsystem umfasst erfindungsgemäß weiterhin ein Formanpassungswerkzeug mit mindestens einem Teil, das ausgestaltet ist, sich zu bewegen, um eine Kraft auf die Schichtverklemmungsstruktur auszuüben. Das Formanpassungswerkzeug ist ausgestaltet, durch Betätigung des beweglichen Teils die Schichtverklemmungsstruktur an das Werkstück anzupassen. Das Drucksystem ändert durch das Betreiben der Pumpe den Druck im inneren Hohlraum, um der Schichtverklemmungsstruktur Steifigkeit zu verleihen.

[0011] In einer Ausführungsform ist das Formanpassungswerkzeug eine Klemme mit einem ersten Arm, der in die Schichtverklemmungsstruktur eingreift, und einem zweiten Arm, der in die Schichtverklemmungsstruktur eingreift. Das Formanpassungswerk-

zeug hat eine C-Form mit einer offenen Seite, die zur Aufnahme des Werkstücks ausgelegt ist.

[0012] In einer weiteren Ausführungsform hält der erste Arm einen ersten Abschnitt der Schichtverklemmungsstruktur und der zweite Arm einen zweiten Abschnitt der Schichtverklemmungsstruktur. Der erste und der zweite Abschnitt werden nicht parallel zueinander gehalten.

[0013] In einer weiteren Ausführungsform umfasst das Greifsystem eine Steuerung, die so konfiguriert ist, dass sie das Drucksystem und einen Aktuator des Formanpassungswerkzeugs betreibt.

[0014] In einer weiteren Ausführungsform umfasst das Greifsystem einen Sensor, der mit der Steuerung gekoppelt ist, wobei der Sensor konfiguriert ist, um einen Parameter der Schichtverklemmungsstruktur zu überwachen.

[0015] In einer weiteren Ausführungsform ist die Steuerung mit der Pumpe und mit einem Aktuator gekoppelt. Die Steuerung ist ausgestaltet, dass sie den Aktuator betätigt, um mit dem Formanpassungswerkzeug die Schichtverklemmungsstruktur an das Werkstück vorzuverformen, bevor die Pumpe betätigt wird, um ein Vakuum in dem inneren Hohlraum zu erzeugen.

[0016] In einer weiteren Ausführungsform erfasst der Sensor eine aufgebrachte Kraft des Formanpassungswerkzeugs. Die Steuerung ist so konfiguriert, dass sie den Aktuator steuert, um die aufgebrachte Kraft an eine vorgegebene Kraft anzupassen.

[0017] In einer weiteren Ausführungsform umfasst das Werkstück eine Vielzahl von Oberflächen, die gekrümmt und/oder schräg zueinander sind, wobei das Greifsystem so konfiguriert ist, dass es das Werkstück an der Vielzahl von Oberflächen greift.

[0018] In einer weiteren Ausführungsform ist das Formanpassungswerkzeug eine Klemme, die so geformt ist, dass sie die Schichtverklemmungsstruktur in einem Zustand hält, der so konfiguriert ist, dass sie das Werkstück aufnimmt und umschließt.

[0019] In einer weiteren Ausführungsform ist die Membran an der Klemme befestigt.

[0020] Erfindungsgemäß umfasst ein Verfahren das Bilden einer Schichtverklemmungsstruktur mit einer Membran, die einen inneren Hohlraum definiert, der eine Anzahl von überlappenden Materialschichten enthält. Erfindungsgemäß umfasst das Verfahren weiterhin das Koppeln eines Drucksystems, das eine Pumpe umfasst, mit dem inneren Hohlraum. Erfindungsgemäß umfasst das Verfahren weiterhin das Positionieren eines Formanpassungswerk-

zeugs, so dass es sich bewegt, um eine Kraft auf die Schichtverklemmungsstruktur auszuüben. Erfindungsgemäß umfasst das Verfahren weiterhin das Betätigen des Formanpassungswerkzeugs, so dass sich die Schichtverklemmungsstruktur an die Form des Werkstücks anpasst. Erfindungsgemäß umfasst das Verfahren weiterhin das Betreiben der Pumpe durch das Drucksystem, um den Druck im inneren Hohlraum zu ändern und der Schichtverklemmungsstruktur Steifigkeit zu verleihen.

[0021] In einer Ausführungsform ist das Formanpassungswerkzeug als Klemme ausgeführt. Ein erster Arm der Klemme und ein zweiter Arm der Klemme greifen in die Schichtverklemmungsstruktur ein. Der erste und der zweite Arm bringen die Schichtverklemmungsstruktur in eine Form, um das Werkstück zu halten.

[0022] In einer Ausführungsform hält der erste Arm einen ersten Abschnitt der Schichtverklemmungsstruktur und der zweite Arm hält einen zweiten Abschnitt der Schichtverklemmungsstruktur in einer Position, in der der erste und zweite Abschnitt nicht parallel sind.

[0023] In einer Ausführungsform steuert eine Steuerung das Drucksystem und einen Aktuator, um das Formanpassungswerkzeug zu bewegen und die Steifigkeit zu verleihen.

[0024] In einer Ausführungsform überwacht ein mit der Steuerung gekoppelter Sensor einen Parameter der Schichtverklemmungsstruktur.

[0025] In einer Ausführungsform formt ein von einer Steuerung betriebener Aktuator die Schichtverklemmungsstruktur an das Werkstück vor. Nach dem Vorformen der Schichtverklemmungsstruktur betätigt die Steuerung die Pumpe, um ein Vakuum im inneren Hohlraum zu erzeugen.

[0026] In einer Ausführungsform wird eine aufgebrachte Kraft des Formanpassungswerkzeugs erfasst. Die Steuerung steuert den Aktuator so, dass er die aufgebrachte Kraft an eine vorgegebene Kraft anpasst.

[0027] In einer Ausführungsform wird das Werkstück an mehreren Flächen gegriffen, die gekrümmt und/oder schräg zueinander sind.

[0028] In einer Ausführungsform ist das Formanpassungswerkzeug als Klemme in einer Form ausgebildet, die die Schichtverklemmungsstruktur in einem Zustand hält, der so gewählt ist, dass er das Werkstück aufnimmt und umschließt.

[0029] Die beispielhaften Ausführungsformen werden im Folgenden in Verbindung mit den folgenden

Figuren beschrieben, wobei gleiche Ziffern gleiche Elemente bezeichnen, und wobei:

Fig. 1 ist eine schematische Darstellung eines Schichtverklemmungsgreifers und des zugehörigen Drucksystems in einem nachgiebigen Zustand;

Fig. 2 ist eine schematische Darstellung des Schichtverklemmungsgreifers und des Drucksystems von **Fig. 1** in einem aktivierten, starren Zustand;

Fig. 3 ist eine schematische Darstellung des Schichtverklemmungsgreifers von **Fig. 1** in einem nachgiebigen Zustand und beim Einführen in ein Werkstück;

Fig. 4 ist eine schematische Darstellung des Schichtverklemmungsgreifers von **Fig. 3** in einem starren Zustand und zum Halten des Werkstücks von **Fig. 3**;

Fig. 5 ist eine schematische Darstellung des Schichtverklemmungsgreifers und des Drucksystems von **Fig. 1**, das auf einer Vorrichtung montiert ist und dabei ist, ein Werkstück aufzunehmen;

Fig. 6 ist ein schematisches Diagramm des Schichtverklemmungsgreifers und des Drucksystems von **Fig. 5** im Prozess der Anpassung an das Werkstück; und

Fig. 7 ist eine schematische Darstellung des Schichtverklemmungsgreifers und des Drucksystems von **Fig. 5** in einem aktivierten, starren Zustand und beim Greifen des Werkstücks.

[0030] In verschiedenen Ausführungsformen kann eine Schichtverklemmungsstruktur im Allgemeinen eine luftdichte Umhüllung umfassen, die innere dünne Schichten aus blattartigem Material enthält. Luftdruck wird verwendet, um die dünnen Materialschichten zu aktivieren und die Reibung zwischen den einzelnen Schichten zu verstärken. In Ausführungsformen wird Vakuum verwendet, und je höher der Vakuumdruck (Unterdruck) ist, desto größer ist die Reibung zwischen benachbarten Schichten. Die Reibungsänderungen können verwendet werden, um die Steifigkeit des Greifers zu variieren, z. B. zwischen einem nachgiebigen Zustand und einem starren Zustand, und können zum Halten und Greifen eines Objekts verwendet werden, z. B. zum Festhalten und/oder Manipulieren. In einer Reihe von Ausführungsformen wird die Schichtverklemmungsstruktur mit einem mechanischen, klammerartigen, Formanpassungswerkzeug kombiniert, um eine bestimmte Kraft aufzubringen, um der Schichtverklemmungsstruktur eine Form zum flexiblen Halten eines Werkstücks zu verleihen. Die Möglichkeit, die Schichtverklemmungsstruktur zu formen, erweitert den Umfang der Werkstückformen, die gehalten werden können, und ermöglicht ein sichereres Greifen.

[0031] Bezugnehmend auf **Fig. 1** umfasst eine Schichtverklemmungsstruktur 100, die wie unten beschrieben als Schichtverklemmungsgreifer konfiguriert sein kann, eine Membran 102, die eine Wand 104 mit einer Außenfläche 106 und einer Innenfläche 108 bildet, die einen eingeschlossenen inneren Hohlraum 110 definieren. Die Wand 104 kann aus einer oder mehreren Schichten eines flexiblen Materials bestehen, das, zumindest in einigen Betriebszuständen, nachgiebig und verformbar ist. In einer Reihe von Ausführungsformen kann das für die Wand 104 verwendete Material hohe Reibungseigenschaften an der Außenfläche 106 aufweisen, um das Greifen relativ zu einem Objekt zu erleichtern. Zum Beispiel kann die Membran 102 aus einem Elastomer, wie natürlichem oder synthetischem Kautschuk, hergestellt sein.

[0032] Im inneren Hohlraum 110 ist eine Anzahl von sich überlappenden Materialschichten 112 eingeschlossen. Die Materialschichten 112 können aus folienartigem Material bestehen, das aus einem synthetischen (Kunststoff), gewebten oder anderweitig geformten Naturfasern, einem Elastomer oder anderen Materialien hergestellt ist. Abwechselnde Schichten können aus unterschiedlichen Materialien oder demselben Material bestehen. Die Materialschichten 112 sind innerhalb des inneren Hohlraums 110 mit komplementären, einander zugewandten Oberflächen (z. B. Oberflächen 114, 116) benachbarter Materialschichten 112 angeordnet, die in engem oder direktem Kontakt stehen, um unter Anwendung einer Kraft, z. B. durch einen aufgebrachtten Klemmdruck, zusammengebracht zu werden. Wie in **Fig. 1** dargestellt, handelt es sich bei den Materialschichten 112 um separate Stücke, die zueinander ausgerichtet sind. In anderen Ausführungsformen können die Materialschichten 112 zueinander versetzt oder gestaffelt sein. In weiteren Ausführungsformen können die Materialschichten 112 Teil einer größeren Materialbahn sein, die in Lagen gefaltet ist. Wie in **Fig. 1** dargestellt, ist der Druck innerhalb des inneren Hohlraums 110, einschließlich der inneren Oberfläche 108, gleich dem Druck (Atmosphärendruck) außerhalb des inneren Hohlraums 110, einschließlich der äußeren Oberfläche 106. In diesem inaktivierten Zustand sind die Materialschichten 112 in der Lage, sich relativ zueinander zu bewegen, wobei die Oberflächen 114, 116 aneinander vorbeigleiten können und die Schichtverklemmungsstruktur 100 nachgiebig ist. Wie in **Fig. 2** dargestellt, unterscheidet sich der Druck innerhalb des inneren Hohlraums 110, einschließlich der inneren Oberfläche 108, von dem Druck (Atmosphärendruck) außerhalb des inneren Hohlraums 110, einschließlich der äußeren Oberfläche 106. In diesem aktivierten Zustand weisen die Materialschichten 112 eine hohe Reibung zueinander auf, wobei die Oberflächen 114, 116 gezwungen sind, statisch zueinander zu bleiben. Infolgedessen kann die Schichtverklemmungsstruktur 100 zwischen einem flexiblen, nachgiebigen Zustand von **Fig. 1** und einem starren Zustand von **Fig. 2** übergehen.

[0033] In einer Reihe von Ausführungsformen umfasst ein Verfahren zur Steuerung der aufgebrachtten Klemmkraft der Schichtverklemmungsstruktur 100 den Betrieb eines Drucksystems 120. Im Allgemeinen umfasst das Drucksystem 120 eine Pumpe 122, eine Sensoreinheit 124 und eine Steuerung 128, der mit der Pumpe 122 und der Sensoreinheit 124 gekoppelt ist. Der innere Hohlraum 110 steht durch eine Öffnung in der Wand 104 der Membran 102 in Fluidverbindung mit einer Leitung 130. Ein Fluid, wie z. B. Luft, kann durch die Leitung 130 in den inneren Hohlraum 110 eingeleitet oder aus diesem entfernt werden, um den Druck im inneren Hohlraum 110 zu erhöhen oder zu verringern. Die Pumpe 122 ist mit der Leitung 130 verbunden, um die Luftbewegung durch die Leitung zu erleichtern. In einer Reihe von Ausführungsformen kann eine Leitung mit Ventil (nicht dargestellt) in Fluidverbindung mit dem inneren Hohlraum stehen. Ein solches Ventil kann z. B. geöffnet werden, um das Vakuum im inneren Hohlraum 110 effizient zu entlasten, und es kann geschlossen werden, z. B. wenn die Pumpe 122 ein Vakuum anzieht. Die Steuerung 128 steuert den Betrieb der Pumpe 122 und des Ventils, wenn es enthalten ist, in Koordination.

[0034] Die Steuerung 128 wird mit Parameterdaten von der Sensorreihe 124 versorgt. Die Sensorreihe 124 kann Sensoren 136 enthalten, die im inneren Hohlraum 110 enthalten sind oder sich durch die Membran 102 hindurch erstrecken oder in diese eingebettet sind. Die Sensorreihe kann Sensoren 138 außerhalb der Membran 102 enthalten. Die Sensoreinheit 124 kann so konfiguriert sein, dass sie mindestens einen Parameter überwacht, wie z. B. die Bestimmung von Luftdruck, Kraft, Position/Ort und/oder anderer Systemparameter. Die Sensorreihe 124 ist mit einer Steuerung 128 gekoppelt, der Signale von der Sensorreihe 124 empfängt, um Feststellungen in Bezug auf das Erfassen, Greifen und Manipulieren von Objekten zu treffen. Im Allgemeinen verwendet die Steuerung 128 die verfügbaren Eingaben, einschließlich derjenigen von der Sensorreihe 124, um ein Steuerungssystem des Drucksystems 120 und anderer Systeme bereitzustellen, um verschiedene Funktionen der Befestigung eines Objekts, wie z. B. eines Werkstücks, effektiv zu steuern. Die Steuerung 128 umfasst im Allgemeinen einen Prozessor und eine Speichereinrichtung und kann mit einer Speichereinrichtung gekoppelt sein. Der Prozessor führt die Berechnungs- und Steuerungsfunktionen der Steuerung 128 gemäß programmierten Schritten, Algorithmen, Berechnungen usw. aus. und kann jede Art von Prozessor oder mehrere Prozessoren umfassen. Die Steuerung 128 kann mit einem oder mehreren Aktuator(en) 148 gekoppelt

sein, um verschiedene Aktionen, wie unten beschrieben, zu bewirken.

[0035] Um die Schichtverklemmungsstruktur 100 starr zu machen, z. B. um ein Greifen zu bewirken, kann Luft oder ein anderes Fluid aus dem inneren Hohlraum 110 evakuiert werden, wodurch ein Vakuumdruckzustand innerhalb des inneren Hohlraums 110 entsteht. Die Membran 102 und die Materialschichten 112 gehen von einem nachgiebigen Zustand in einen starren Zustand über, indem eine Druckdifferenz über die Wand 104 der Membran 102 an der inneren Oberfläche 108 und der äußeren Oberfläche 106 aufgebaut wird. In **Fig. 1** ist der Druck innerhalb der Membran 102 im inneren Hohlraum 110 im Allgemeinen gleich dem Druck außerhalb der Membran 102, und die Schichtverklemmungsstruktur 100 befindet sich in einem nachgiebigen Zustand. Beispielsweise kann der Druck im Inneren der Membran 102 gleich oder annähernd gleich sein wie der Druck außerhalb der Membran 102. In diesem nachgiebigen Zustand lassen sich die überlappenden Materialschichten 112 leicht relativ zueinander bewegen (z. B. durch Gleiten oder Scheren aneinander vorbei) und sind als Reaktion auf eine aufgebrachte Kraft oder Last relativ leicht verformbar.

[0036] Wie in **Fig. 2** dargestellt, ist der Druck im inneren Hohlraum 110 anders, und in diesem Fall geringer als der Druck außerhalb der Membran 102. Dieser Druckunterschied bewirkt, dass sich die Membran 102 zusammenzieht und der Reibungswiderstand zwischen den Materialschichten 112 zunimmt, wenn die überlappenden Materialschichten 112 zusammengedrückt werden, wodurch ein starrer Zustand entsteht. In der vorliegenden Ausführungsform ist der Druck im Inneren der Membran 102 deutlich geringer (z. B. um den Faktor zehn oder mehr) als der Druck außerhalb der Membran 102. Das Ausmaß der Steifigkeit ist ein Faktor des Ausmaßes, in dem sich benachbarte Materialschichten überlappen, der Reibungseigenschaften der Materialschicht 112 und des Druckunterschieds zwischen dem inneren Hohlraum 110 und der Umgebung außerhalb der Membran 102. Es kann ein hoher Grad an Steifigkeit erreicht werden, der die Schichtverklemmungsstruktur 100 in einem starren Zustand arretiert.

[0037] Bezugnehmend auf **Fig. 3** ist die Schichtverklemmungsstruktur 100 als Vorbereitung für die Aufnahme eines Objekts in Form eines Werkstücks 140 in einer Anwendung dargestellt, bei der die Schichtverklemmungsstruktur 100 als Greifer zum Greifen und Halten des Werkstücks 140 verwendet wird. Das Werkstück 140 weist eine unregelmäßige Form 142 auf, die eine komplexe Form mit keinen parallelen gegenüberliegenden Seiten zum Festklemmen definiert. In Ausführungsformen kann das Werkstück 140 keine flachen Oberflächen oder Merkmale auf-

weisen, an denen herkömmliche Greiftechnologien angreifen könnten. Wie in **Fig. 4** dargestellt, nimmt die Schichtklemmstruktur das Werkstück 140 auf und hat sich dessen Form angepasst. Beispielsweise umfasst die unregelmäßige Form 142 eine Oberfläche 144 und eine Oberfläche 146, die von der Schichtverklemmungsstruktur 100 erfasst werden. Die Oberflächen 144, 146 sind entweder gekrümmt und/oder schräg zueinander, und das System ist so konfiguriert, dass es das Werkstück 140 an diesen Oberflächen greift. Da die Oberflächen 144, 146 von der Schichtverklemmungsstruktur 100 eng umschlossen werden und in diese eingreifen, wird das Werkstück 140 sicher gegriffen und gehalten. In einer Reihe von Ausführungsformen kann das Werkstück 140 ein additiv gefertigtes Objekt sein und kann für Operationen nach dem Druck, wie z. B. das Entfernen von für den Druck benötigten Stützen, oder für andere Operationen fixiert werden. Die Sicherung des Werkstücks 140 durch die Schichtklemmstruktur 100 gewährleistet eine sichere Befestigung für die Operationen nach dem Druck.

[0038] Wie in **Fig. 5** dargestellt, umfasst ein Greifsystem 150 die Schichtverklemmungsstruktur 100, das Drucksystem 120, einen Objektleiter 152 und ein Formanpassungswerkzeug 154, das als Klemme ausgeführt ist. Wenn die Schichtverklemmungsstruktur 100 in dem Formanpassungswerkzeug 154 angeordnet ist, ist die Schichtverklemmungsstruktur 100 so dimensioniert und angeordnet, dass sie das Werkstück 140 aufnehmen kann. Der Objektleiter 152 kann als Stößel ausgeführt sein, der das Werkstück 140 in die Schichtverklemmungsstruktur 100 lenkt/drückt. In anderen Ausführungsformen kann die Objektleiteinrichtung 152 eine Fläche sein, auf der das Werkstück 140 zum Erfassen durch das Greifsystem 150 aufliegt. Das Formanpassungswerkzeug 154 ist mit mindestens einem Teil konfiguriert, das beweglich ist, um die Form der Schichtverklemmungsstruktur 100 vorzuverformen und zu verbessern, damit sie der Form des Werkstücks 140 entspricht. In der vorliegenden Ausführungsform umfasst das Formanpassungswerkzeug 154 ein als Drehpunkt 156 ausgebildetes Gelenk, einen Arm 158, einen Arm 160 und den mindestens einen Aktuator 148, der in der vorliegenden Ausführungsform zwei Aktuatoren 148 umfasst. Die Aktuatoren 148 können elektrisch, fluidbetrieben oder mechanisch sein. Die Aktuatoren 148 sind zur Steuerung ihres Betriebs mit dem Steuergerät 128 gekoppelt, und die Aktuatoren 148 bewegen die Arme 158, 160 zum Schwenken oder Drehen relativ zueinander um den Drehpunkt 156. In anderen Ausführungsformen kann die Klemmwirkung des Formanpassungswerkzeugs 154 durch eine Feder oder Federn verstärkt werden. In anderen Ausführungsformen kann die Klemmbewegung lösbar in Position gehalten werden, z. B. durch einen Ratschenmechanismus. Das Formanpassungswerkzeug 154 ist C-förmig

geformt und hat eine offene Seite 155, die zur Aufnahme des Werkstücks 140 ausgelegt ist. In einer Reihe von Ausführungsformen kann das Formanpassungswerkzeug 154 die Form einer X-Klemme, einer freitragenden Klemme, eines Bearbeitungsschraubstocks, eines Roboter-Endeffektors oder eines anderen Werkzeugs haben, das Kraft ausübt. Der Objektleiter 152 präsentiert und kann das Werkstück 140 in die Schichtverklemmungsstruktur 100 schieben, wo es in Reichweite ist, um umhüllt zu werden. Der Objektleiter 152 kann mit der Steuerung 128 gekoppelt sein und von dieser bedient werden. In einer Ausführungsform kann anstelle eines mechanisierten Aktuators eine menschliche Betätigung des Formanpassungswerkzeugs 154 verwendet werden.

[0039] Wenn sich das Werkstück 140 im Greifbereich der Schichtverklemmungsstruktur 100 befindet, betätigt die Steuerung den/die Aktuator(en) 148, der/die die Arme 158, 160 bewegt/bewegen, um die Schichtverklemmungsstruktur 100 durch den Betrieb des Formanpassungswerkzeugs 154 an die Form des Werkstücks 140 vorzuverformen. Wie zum Beispiel in **Fig. 6** dargestellt, übt der Arm 158 eine Kraft auf den Abschnitt 162 der Schichtverklemmungsstruktur 100 aus, wodurch der Abschnitt 162 gegen die Oberfläche 144 des Werkstücks 140 gedrückt wird. Durch die Wirkung des Formanpassungswerkzeugs 154 wird die Schichtverklemmungsstruktur 100 und insbesondere der Abschnitt 162 an die Form der Oberfläche 144 angepasst. Darüber hinaus übt das Formgebungswerkzeug 154 und insbesondere der Arm 160 eine Kraft auf den Abschnitt 166 aus und passt ihn an die Form der Oberfläche 146 an. Der Anpassungsvorgang schließt ein, dass die Schichtverklemmungsstruktur 100 um das Werkstück 140 herum gezwungen und durch eine Formänderung geführt wird, um das Werkstück 140 sicher zu umhüllen. Nach der Bewegung des Formanpassungswerkzeugs 154 durch die Aktuatoren 148 wird die Schichtverklemmungsstruktur 100 in eine grobe C-Form gebracht, um das Werkstück 140 zu halten. Die offene Seite 155 der C-Form des Formanpassungswerkzeugs 154 ist relativ zur Position von **Fig. 5** geschlossen. In der vorliegenden Ausführungsform sind die Flächen 144, 146 nicht parallel zueinander, und die Vorformung verbessert die Fähigkeit, das Werkstück 140 sicher zu greifen, z. B. zum Halten während eines Bearbeitungsvorgangs. Die Arme 158, 160 halten die Abschnitte 162, 166 in nicht parallelen Positionen zueinander. Das Formanpassungswerkzeug 154 kann ein vorbestimmtes Kraftniveau aufbringen, z. B. durch Anpassung an das von Kraftsensoren der Sensoreinheit 124 angezeigte Kraftniveau. In einer Ausführungsform ist der Arm 158 an dem Abschnitt 162 und der Arm 160 an dem Abschnitt 166 befestigt, um die Schichtverklemmungsstruktur 100 an dem Formanpassungswerkzeug 154 zu sichern. Die Fixierung

kann durch einen Klebstoff, eine mechanische Verbindung oder auf andere Weise erfolgen. Die von den Armen 158, 160 aufgebrachten Kräfte können die Verklemmungssteifigkeit der Abschnitte 162, 166 erhöhen.

[0040] Wenn die Schichtverklemmungsstruktur 100 durch das Formanpassungswerkzeug 154 umgeformt wurde, wird das Drucksystem 120 durch die Steuerung 128 betrieben. Im inneren Hohlraum 110 wird ein Vakuum erzeugt und die Materialschichten 112 werden an ihrem Platz fixiert, wodurch die angepasste Schichtverklemmungsstruktur 100 starr wird, wie in **Fig. 7** dargestellt. Zum Verriegeln der Schichtverklemmungsstruktur 100 kann eine vorbestimmte Druckdifferenz angelegt werden. In anderen Ausführungsformen kann die Sensorreihe 124 Druckabtastung und Objekterkennung umfassen, und die Steuerung 128 kann die Druckdifferenz auf der Grundlage von Änderungen der Größe, Form und/oder Ausrichtung des Werkstücks 140 anpassen. In der vorliegenden Ausführungsform ist das Formanpassungswerkzeug 154 fest mit einer Vorrichtungsbasis 170 verbunden, die beispielsweise Teil eines Bearbeitungswerkzeugs zur Bearbeitung des Werkstücks 140 sein kann. In einer Reihe von Ausführungsformen wird das Werkstück 140 durch additive Fertigung geformt und kann als Teil des Druckprozesses erzeugte Stützen aufweisen, die entfernt werden müssen, z. B. durch Fräsen, Schleifen, Schneiden oder eine andere Bearbeitung. Während das Werkstück 140 durch das Greifsystem 150 sicher gehalten wird, wird eine Werkzeugmaschine 172 mit einem Fräser 174 eingesetzt, der von der Steuerung 128 bedient werden kann. Der Fräser 174 greift in das Werkstück 140 ein und führt einen Materialabtrag oder eine Umformung durch. Wenn die erforderlichen Arbeitsschritte abgeschlossen sind, wird das Drucksystem 120 betätigt, um das Vakuum im inneren Hohlraum 110 zu entlasten, wodurch die Schichtverklemmungsstruktur 100 entriegelt wird, der/die Aktuator(en) 148 wird/werden betätigt, um die Kraft des Formanpassungswerkzeugs 154 zu lösen, und das Werkstück 140 wird freigegeben.

[0041] Durch die hierin offengelegten Ausführungsformen bietet ein Greifsystem 150 ein sicheres Greifen und Halten von Werkstücken, die komplexe/unregelmäßige Formen aufweisen, die möglicherweise keine parallelen flachen Oberflächen zum Greifen enthalten. Die anfängliche Formgebung einer Schichtverklemmungsstruktur wird durch die Anwendung von Kraft durch ein klammerartiges Formanpassungswerkzeug erreicht und die Schichtverklemmungsstruktur wird dann durch das Erzeugen eines Vakuums in einem starren Zustand fixiert.

Patentansprüche

1. Greifsystem (150) zum Halten eines Werkstücks (140), das Greifsystem (150) aufweisend: eine Schichtverklemmungsstruktur (100) mit einer Membran (102), die einen inneren Hohlraum (110) definiert, der eine Anzahl von überlappenden Materialschichten (112) enthält;

ein Drucksystem (120) mit einer Pumpe (122), die mit dem inneren Hohlraum (110) gekoppelt ist; und ein Formanpassungswerkzeug (154) mit mindestens einem Teil, das so konfiguriert ist, dass es sich bewegt, um eine Kraft auf die Schichtverklemmungsstruktur (100) auszuüben, wobei das Formanpassungswerkzeug (154) so konfiguriert ist, dass es bei Betätigung des mindestens einen Teils die Schichtverklemmungsstruktur (100) an das Werkstück (140) anpasst, wobei das Drucksystem (120) so konfiguriert ist, dass es beim Betreiben der Pumpe (122) einen Druck in dem inneren Hohlraum (110) ändert, um der Schichtverklemmungsstruktur (100) Steifigkeit zu verleihen.

2. Greifsystem (150) nach Anspruch 1, wobei das Formanpassungswerkzeug (154) eine Klemme mit einem ersten Arm (158), der in die Schichtverklemmungsstruktur (100) eingreift, und einem zweiten Arm (160), der in die Schichtverklemmungsstruktur (100) eingreift, umfasst, wobei das Formanpassungswerkzeug (154) in einer C-Form mit einer offenen Seite ausgebildet ist, die so bemessen ist, dass sie das Werkstück (140) aufnimmt.

3. Greifsystem (150) nach Anspruch 2, wobei der erste Arm (158) einen ersten Abschnitt (162) der Schichtverklemmungsstruktur (100) hält und der zweite Arm (160) einen zweiten Abschnitt (166) der Schichtverklemmungsstruktur (100) hält, wobei der erste Abschnitt (162) und der zweite Abschnitt (166) nichtparallel zueinander gehalten werden.

4. Greifsystem (150) nach Anspruch 1, wobei das Greifsystem (150) eine Steuerung (128) umfasst, die so konfiguriert ist, dass sie das Drucksystem (120) betreibt und einen Aktuator (148) des Formanpassungswerkzeugs (154) betreibt.

5. Greifsystem (150) nach Anspruch 4, wobei das Greifsystem (150) mindestens einen Sensor (136, 138) umfasst, der mit der Steuerung (128) gekoppelt ist, wobei der mindestens eine Sensor (136, 138) so konfiguriert ist, dass er einen Parameter der Schichtverklemmungsstruktur (100) überwacht.

6. Greifsystem (150) nach Anspruch 1, umfassend eine Steuerung (128), die mit der Pumpe (122) und mit einem Aktuator (148) gekoppelt ist,

wobei die Steuerung (128) so konfiguriert ist, dass sie den Aktuator (148) betätigt, um durch das Formanpassungswerkzeug (154) die Schichtverklemmungsstruktur (100) an das Werkstück (140) vorzuverformen, bevor die Pumpe (122) betätigt wird, um ein Vakuum in dem inneren Hohlraum (110) zu erzeugen.

7. Greifsystem (150) nach Anspruch 6, das einen Sensor (136, 138) umfasst, der so konfiguriert ist, dass er eine aufgebrachte Kraft des Formanpassungswerkzeugs (154) erfasst, wobei die Steuerung (128) so konfiguriert ist, dass sie den Aktuator (148) betätigt, um die aufgebrachte Kraft an eine vorbestimmte Kraft anzupassen.

8. Greifsystem (150) nach Anspruch 1, wobei das Werkstück (140) eine Vielzahl von Oberflächen (144, 146) aufweist, die entweder gekrümmt oder schräg zueinander sind, wobei das Greifsystem (150) so konfiguriert ist, dass es das Werkstück (140) an der Vielzahl von Oberflächen (144, 146) greift.

9. Verfahren zum Halten eines Werkstücks (140), das Verfahren aufweisend: Bilden einer Schichtverklemmungsstruktur (100) mit einer Membran (102), die einen inneren Hohlraum (110) definiert, der eine Anzahl von überlappenden Materialschichten (112) enthält; Koppeln eines Drucksystems (120) mit einer Pumpe (122) mit dem inneren Hohlraum (110); Positionieren eines Formanpassungswerkzeugs (154), so dass es sich bewegt, um eine Kraft auf die Schichtverklemmungsstruktur (100) auszuüben; Betätigen des Formanpassungswerkzeugs (154), um die Schichtverklemmungsstruktur (100) an eine Form des Werkstücks (140) anzupassen; und Betreiben der Pumpe (122) durch das Drucksystem (120), um einen Druck im inneren Hohlraum (110) zu verändern, um der Schichtverklemmungsstruktur (100) Steifigkeit zu verleihen.

10. Verfahren nach Anspruch 9, aufweisend: Aufbauen des Formanpassungswerkzeugs (154) als Klemme; Erfassen der Schichtverklemmungsstruktur (100) durch einen ersten Arm (158) der Klemme; Erfassen der Schichtverklemmungsstruktur (100) durch einen zweiten Arm (160) der Klemme; und Anpassen der Schichtverklemmungsstruktur (100) durch den ersten Arm (158) und den zweiten Arm (160) in eine Form, um das Werkstück (140) zu halten.

Es folgen 6 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

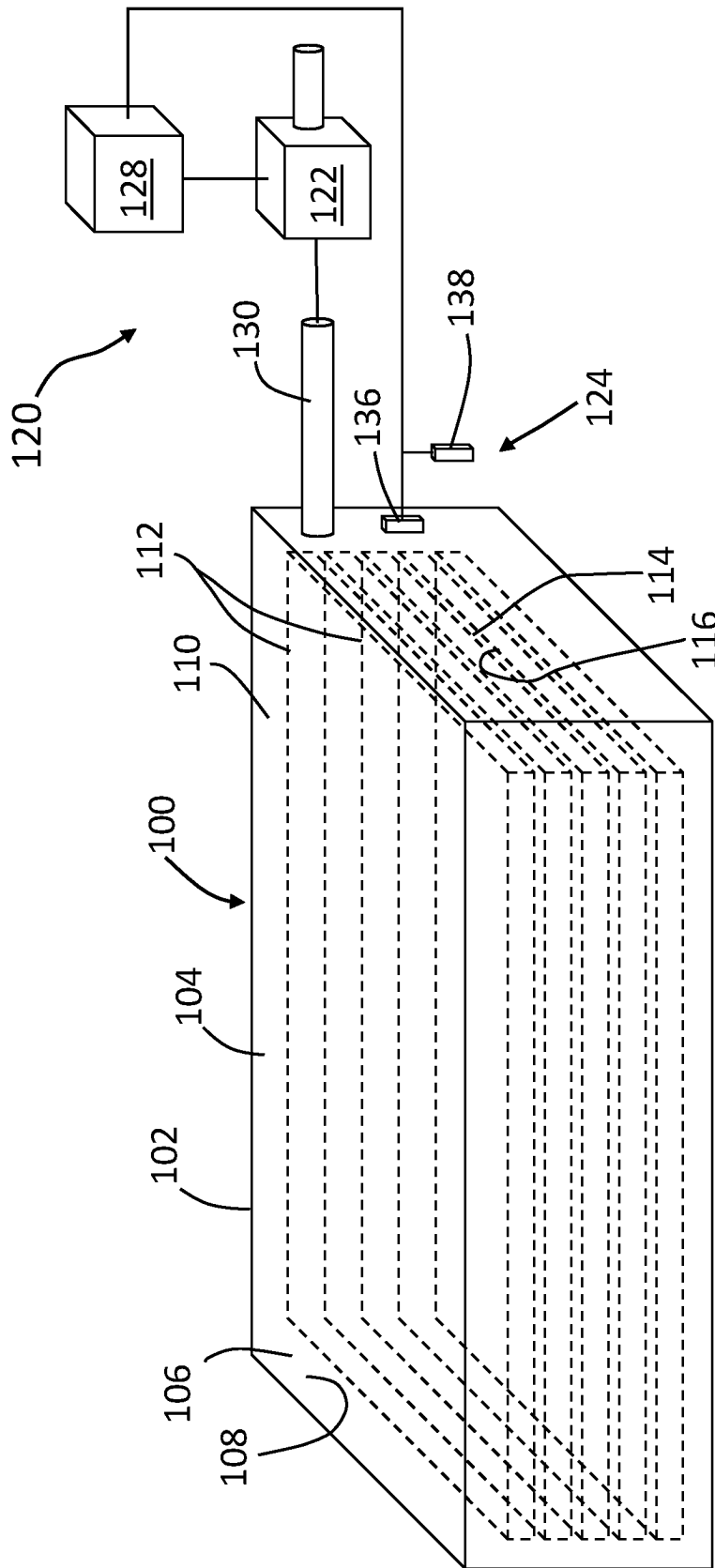


FIG. 1

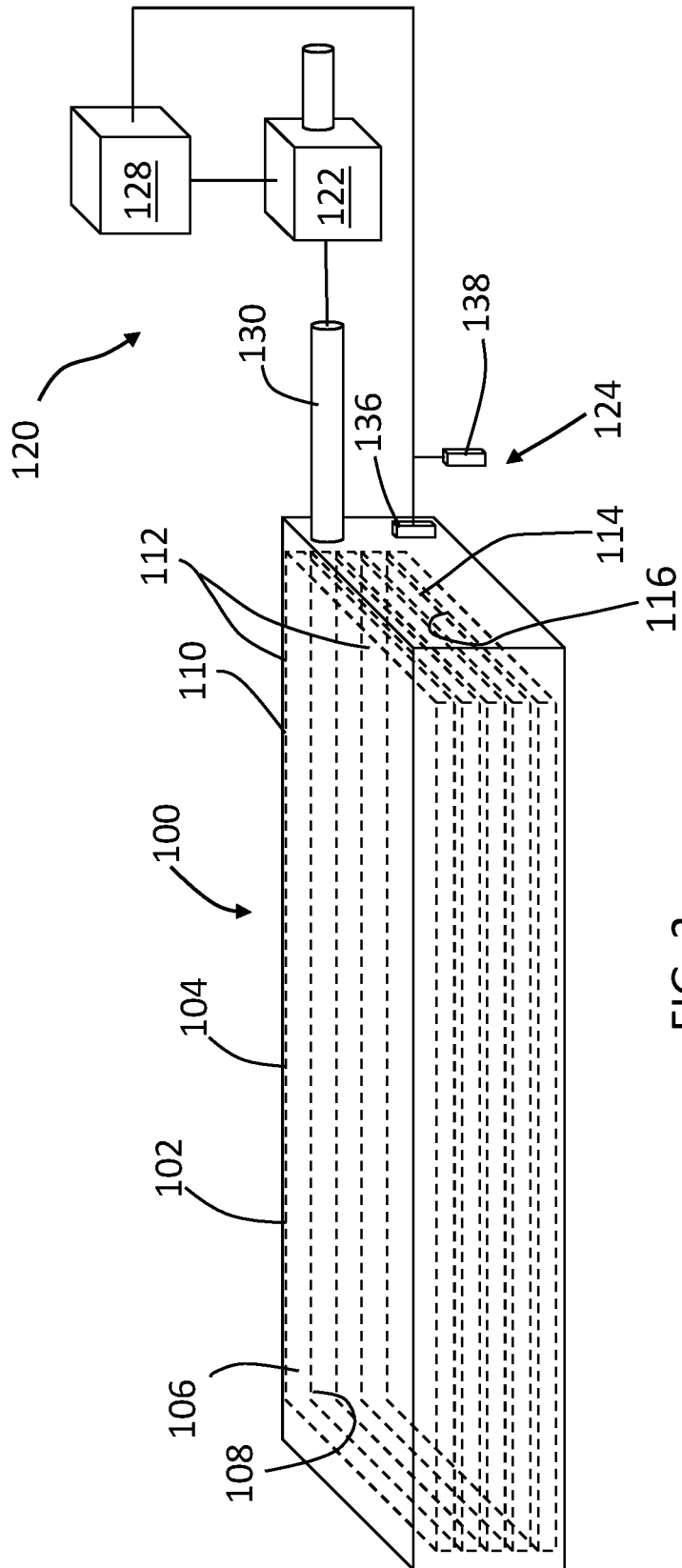
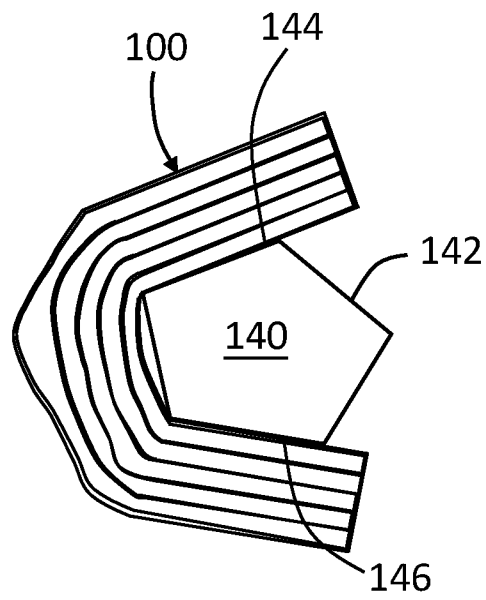
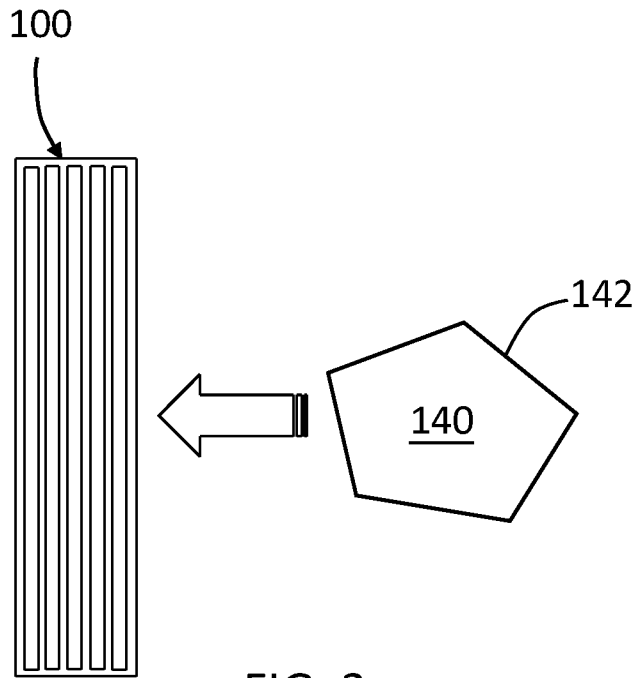


FIG. 2



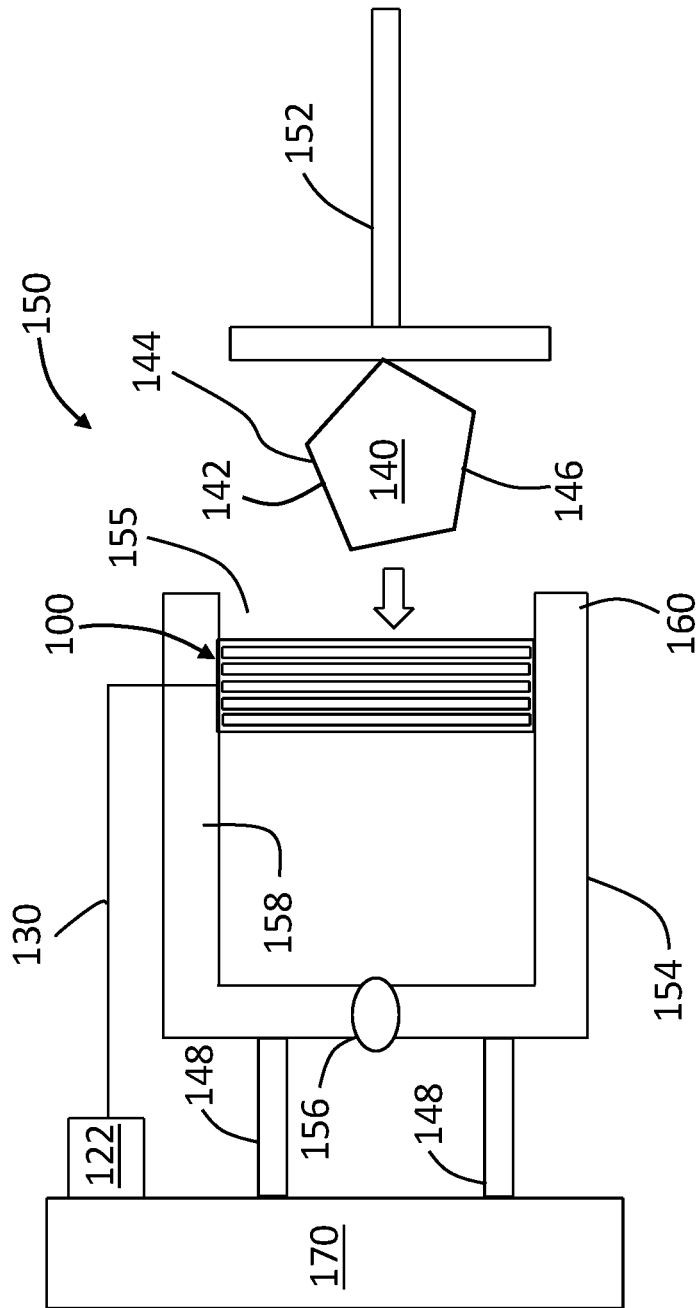


FIG. 5

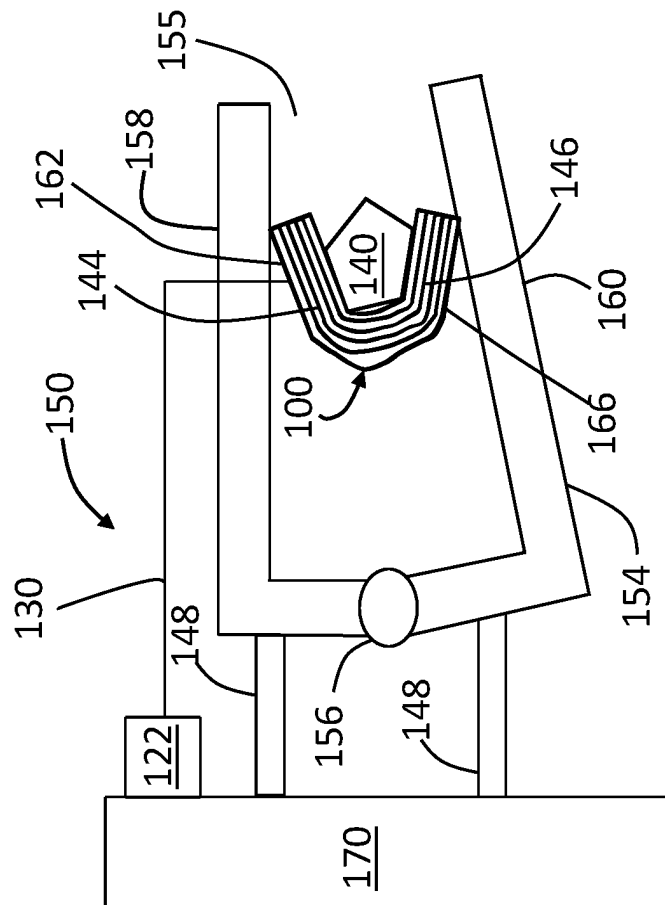


FIG. 6

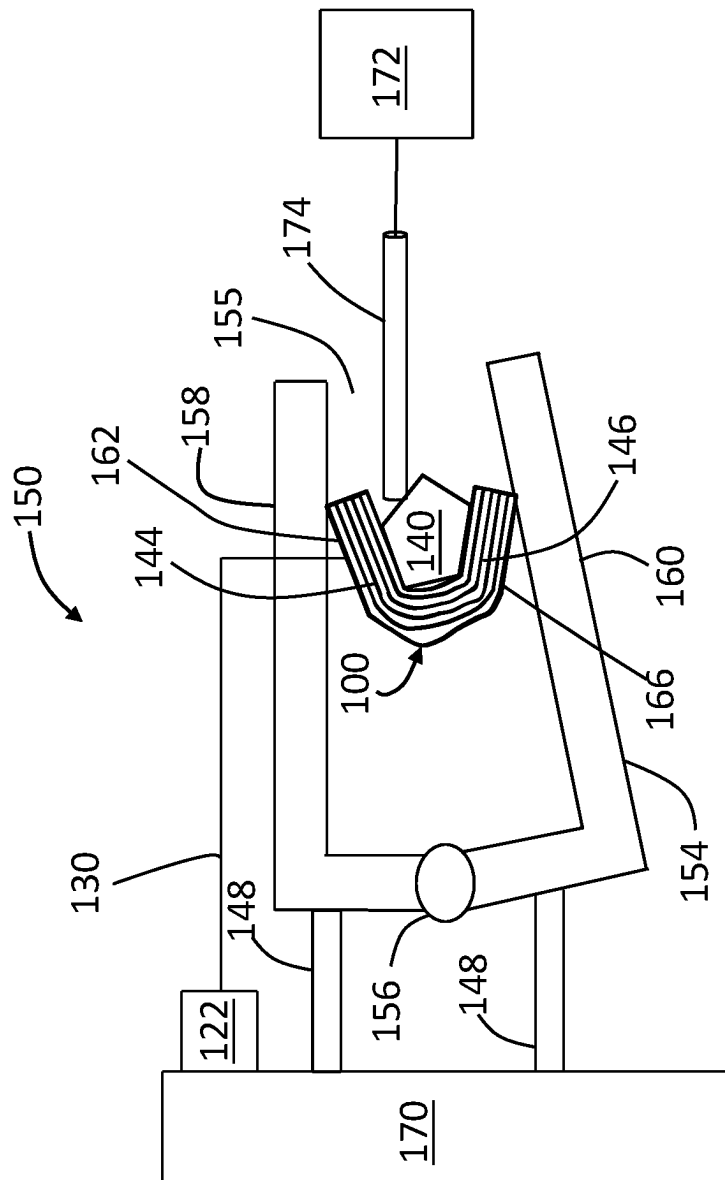


FIG. 7