



(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2012 005 973.6**
(22) Anmeldetag: **23.03.2012**
(43) Offenlegungstag: **08.11.2012**

(51) Int Cl.: **B29C 53/08 (2012.01)**
B29C 70/00 (2012.01)
B21D 7/022 (2012.01)

(71) Anmelder:
Daimler AG, 70327, Stuttgart, DE

(72) Erfinder:
Reese, Eckhard, Dipl.-Ing. (FH), 21641, Apensen, DE; Göschel, Rick, 08112, Wilkau-Haßlau, DE

Mit Einverständnis des Anmelders offengelegte Anmeldung gemäß § 31 Abs. 2 Ziffer 1 PatG

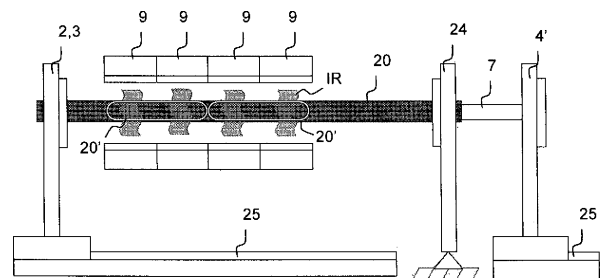
Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Biegeverfahren und Biege- sowie Fertigungsanlage für thermoplastische Faserverbundrohre**

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Erfindung stellt ein Verfahren und eine Biegeanlage (15) zum Biegen eines thermoplastischen Faserverbundrohrs (20) bereit, sowie eine Fertigungsanlage für gebogene, thermoplastische Faserverbundrohre (20), die die Biegeanlage (15) integriert. Das Verfahren

umfasst die Schritte:

- lokal begrenzt Erwärmen des thermoplastischen Faserverbundrohrs (20) mit zumindest einer Heizvorrichtung (9) an zumindest einem zu biegenden Rohrabschnitt (20') bis zur Verformbarkeit,
- Entfernen der Heizvorrichtung (9) von dem zu biegenden Rohrabschnitt (20') und
- Biegen des Rohrs (20) an dem lokal erwärmten Rohrabschnitt (20') mittels einer Biegeeinheit (3), dabei innenseitig Stützen des Rohrabschnitts (20') mit einem Biegedorn (4),
- Kühlen und mechanisch Stützen des gebogenen Rohrabschnitts (20') bis zum Aushärten des Rohrabschnitts (20').



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Biegeanlage für thermoplastische Faserverbundrohre (FVK-Rohre), sowie eine Herstellungsanlage für gebogene thermoplastische Faserverbundrohre, die die Biegeanlage umfasst, und ferner ein entsprechendes Umformverfahren, das mit der Biegeanlage ausgeführt werden kann.

[0002] Aus dem Stand der Technik sind Biegeanlagen, auch automatisiert Biegeanlagen zur Verformung von Metallrohren bekannt. Mit den Biegeanlagen kann das Freiform- oder das Rotationszugbiegen ausgeführt werden. Solche Anlagen umfassen meist eine Biegeeinheit und eine Spanneinheit, von denen eine verfahrbar ist, um das Rohr an der gewünschten Stelle zu biegen.

[0003] Eine Biegevorrichtung zum Freiformbiegen von Längsprofilen ist in der DE 10 2005 013 700 B3 beschrieben. Die Vorrichtung umfasst eine Vorschubeinheit, die das Längsprofil erfasst, und eine Axialhülse, die der Vorschubeinheit in Vorschubrichtung nachgeordnet ist und die das Längsprofil form- und/oder kraftschlüssig erfasst. Dieser ist in Vorschubrichtung eine Biegehülse mit einer an die Außenkontur des Längsprofils angepassten Durchgangsöffnung für das Längsprofil nachgeordnet. Die Biegehülse ist mittels Stellantrieben in einer orthogonal zur Achse ihrer Durchtrittsöffnung liegenden Ebene linear verstellbar und um eine senkrecht sowohl zur Achse der Durchtrittsöffnung als auch zur Richtung der Linearverstellung liegende Achse verschwenkbar. Ferner ist die Axialhülse mit einem Antrieb ausgerüstet, mit dem ihr Abstand von der Biegehülse eingestellt werden kann. Dabei erfolgt die Umformung des Rohres allein durch Lageänderung der Biegematrize. Mit dieser Vorrichtung kann ein Rohr direkt im Anschluss an seine Herstellung in einem endlosen Prozess Biegevorgängen unterzogen werden.

[0004] Zur Umformung von abgelängten Rohrabschnitten ist aus der DE 20 301 138 U1 eine Biegemaschine zur Einspannung und Biegung von Rohren mit einer feststehenden Spanneinheit zur Fixierung der Rohre und nur einer dagegen verfahrbaren Biegeeinheit, bekannt. Dabei werden die zu biegenden Rohre mit einem Ende in einer Spannzange der feststehenden Spanneinheit verdrehsicher fixiert. Die Biegeeinheit, die der Spanneinheit und dem darin fixierten Rohr gegenüber frei entlang der Rohrachse verfahrbar ist, hat einen Biegekopf mit Biegewerkzeug, die die erforderlichen Bewegungen zur Erzeugung der gewünschten Biegung des Rohres durchführen, wobei sie sich an der Biegeeinheit frei um das feststehende Rohr bewegen können.

[0005] Das in der DE 101 06 741 C2 offenbarte Verfahren ermöglicht, ein Rohr mindestens zweimal zu biegen, wobei ein Biegewerkzeug mit einer feststehenden Biegerolle und einer verschwenkbaren Umlenkrolle verwendet wird, zwischen denen das Rohr angeordnet wird. Das Biegewerkzeug wird entlang des Rohrs an eine vorgegebene Biegestelle verfahren und nimmt dort eine Biegestellung ein, in der das Rohr eingeklemmt ist. Das Rohr wird an der Biegestelle in einer vorgegebener Weise gebogen, und ein Abschnitt des Rohrs zwischen der Biegestelle und einer Spannstelle, an der das Rohr fixiert ist, wird mittels des Biegewerkzeugs einer Drehbewegung um die Längsachse des Abschnitts unterzogen, so dass eine Schwingungsbewegung eines verbleibenden Rohrabschnitts gedämpft wird, ehe das Biegewerkzeug in seine Verfahrstellung zurückgeht und an eine nächste Biegestelle verfährt.

[0006] Das Biegen von Metallrohren bzw. Längsprofilen kann jedoch aufgrund der werkstoffinhärenten Eigenschaften nicht ohne weiteres auf Faserverbundrohre übertragen werden, so dass die kontinuierliche Verformung von Faserverbundrohren mit Thermoplastmatrix mittels CNC-Technik bisher nicht erfolgt.

[0007] Ausgehend von diesem Stand der Technik ist es Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Biegeanlage und ein entsprechendes Biegeverfahren zur Umformung von thermoplastischen Faserverbundrohren bereitzustellen. Ferner ergibt sich die Aufgabe der Schaffung einer gesamten Fertigungsanlage, die es erlaubt, gebogene, thermoplastische Faserverbundrohre in einem einzigen Fertigungsablauf herzustellen.

[0008] Diese Aufgaben werden durch das Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1 und durch eine Biegeanlage mit den Merkmalen des Anspruchs 5 sowie durch die Fertigungsanlage mit den Merkmalen des Anspruchs 10 gelöst. Weiterbildungen des Verfahrens und der Antrage sind in den entsprechenden Unteransprüchen ausgeführt.

[0009] Das erfindungsgemäße Verfahren, das es erlaubt, auch thermoplastische Faserverbundrohre zu biegen, umfasst die Schritte:

- lokal begrenzt Erwärmen des thermoplastischen Faserverbundrohrs mit zumindest einer Heizvorrichtung an zumindest einem zu biegenden Rohrabschnitt bis zur Verformbarkeit,
- Entfernen der Heizvorrichtung von dem zu biegenden Rohrabschnitt und Biegen des Rohrs an dem lokal erwärmten Rohrabschnitt mittels einer Biegeeinheit, dabei innenseitig Stützen des Rohrabschnitts mit einem Biegedorn,
- Kühlen und mechanisch Stützen des gebogenen Rohrabschnitts bis zum Aushärten des Rohrabschnitts.

[0010] Durch das ausschließlich lokale, definierte Erwärmen, das materialschonend nur bis zur Verformbarkeit der erwärmten Stellen ausgeführt wird, und durch das innenseitige Stützen des Rohres mittels eines Dornsystems wird so vorteilhaft das Kollabieren, Knicken oder eine ungewollte Verformung des Querschnitts des Rohres an der Biegestelle vermieden.

[0011] Vorteilhaft kann das Biegeverfahren auch das Verformen einer Querschnittsform des Rohres zumindest in dem erwärmten Abschnitt während des Biegens oder nach dem Biegen vorsehen.

[0012] Das mechanisch Stützen kann geeigneter Weise automatisiert mittels einer Roboter geführten Greifervorrichtung erfolgen; ferner kann zur Vermeidung von Materialschäden beim Biegen des thermoplastischen Faserverbundrohres optional an einem zweiten Abschnitt eine Ausgleichsbewegung des mechanisch gestützten gebogenen Rohrabschnitts ausgeführt werden.

[0013] Das Biegen kann als „Freiformbiegen“, „Rotationszugbiegen“ oder „Kompressionsbiegen“ entsprechend den aus der Metallumformung bekannten Verfahren ausgeführt werden.

[0014] Es kann sowohl an einem kontinuierlich hergestellten thermoplastischen Faserverbundrohr (hierin auch kurz als Rohr bezeichnet) ausgeführt werden, das mit einer bestimmten Vorschubgeschwindigkeit bewegt wird, als auch an einem abgelenkten Rohr.

[0015] Bei dem thermoplastischen Faserverbundrohr erfolgt das Erwärmen, Biegen, Kühlen und Stützen an dem sich mit der Vorschubgeschwindigkeit bewegenden Abschnitt; es schließt sich dann ein Ablängschritt an, um aus dem thermoplastischen Faserverbundrohr bzw. sogar -rohrstrang ein Rohr gewünschter Länge zu erhalten.

[0016] Das Verfahren kann vorteilhaft mit einer Biegeanlage für derartige thermoplastische Faserverbundrohre ausgeführt werden. Diese umfasst eine Biegeeinheit und eine Spanneinheit, die relativ zueinander bewegbar sind, und zumindest eine zu einem zu biegenden Abschnitt des thermoplastischen Faserverbundrohres verfahrbare Heizvorrichtung; weiter

- einen Biegedorn zur innenseitigen Stützung des Abschnitts,
- zumindest eine Kühlvorrichtung zur Kühlung des gebogenen Abschnitts,
- und zumindest eine der Biegeeinheit nachgeordnete Stützvorrichtung zur Stützung des gebogenen Abschnitts.

[0017] Die Biegeanlage kann optional eine Verformungsvorrichtung umfassen, mit der die Quer-

schnittsform des Rohres geändert werden kann. Diese Verformungsvorrichtung kann der Biegeeinheit nachgeordnet oder in die Biegeeinheit integriert sein.

[0018] Der Biegedorn besteht vorteilhaft materialschonend zumindest an seiner Oberfläche aus einem elastomeren Material, diese Materialschonung kann weiter durch eine an seiner Spitze vorgesehene Nase, die aus einem Kunststoff, einer Keramik oder einem Metallmaterial besteht, unterstützt werden.

[0019] Der Biegedorn kann etwa

- ein massiver Vollelastomer-Biegedorn oder ein Biegedorn aus einem Vollelastomer-Hohlrohr sein, oder
- einen Gliederdorn oder einen Schuppendorn mit einer Elastomerhülle umfassen, oder
- einen Seilkern mit einer Elastomerhülle umfassen, oder
- einen Seilkern oder Gliederdorn oder einen Schuppendorn mit einer Elastomerhülle umfassen, die zumindest eine aufweitbare Kammer aufweist, oder
- eine in einen Seilkern eingedrehte Gliederkette und eine Elastomerhülle umfassen, oder
- eine in einem Elastomerschlauch eingebettete Schraubenfeder, die bevorzugt aus Metall ist, umfassen.

[0020] Die Kühlvorrichtung der erfindungsgemäßen Biegeanlage zumindest kann eine Vorrichtung zur aktiven Außenkühlung, bevorzugt ein Kühlring oder eine Wirbeldüse sein, die der Biegeeinheit bzw. der Verformungseinheit nachgeordnet ist, oder eine Vorrichtung zur aktiven Innenkühlung, bevorzugt ein in dem FVK-Rohr angeordnetes Wirbelrohr, von dem sich eine Zuleitung durch den Biegedorn erstreckt, die in den Abschnitt mündet. Zusätzlich oder alternativ kann eine Vorrichtung zur passiven oder teilweise aktiven Abkühlung, die bevorzugt durch eine in einer Greifervorrichtung integrierte Kühlungseinrichtung, die Kühlleitungen umfasst, gebildet werden. Dabei wird die Greifervorrichtung bevorzugt von einem Roboter geführt und stellt besonders bevorzugt die der Biegeeinheit nachgeordnete Stützvorrichtung bereit.

[0021] Die Heizvorrichtung der erfindungsgemäßen Biegeanlage kann eine Vielzahl von IR-Strahlern umfassen, die in einem Gehäuse um das Rohr angeordnet sind. Ferner kann die Heizvorrichtung in einer Längsrichtung entlang dem Rohr und/oder in einer Richtung senkrecht dazu verfahrbar sein. Ist die Heizvorrichtung senkrecht zu dem Rohr verfahrbar, so umfasst sie ein Gehäuse, das geöffnet werden kann.

[0022] Eine erfindungsgemäße Fertigungsanlage für gebogene, thermoplastische Faserverbundrohre umfasst die ebenfalls erfindungsgemäße Biegeanlage,

die zum Biegen eines kontinuierlichen Rohrs bzw. Rohrstangsstrangs ausgebildet ist, sowie eine Herstellungsanlage, der die Biegeanlage in Prozessrichtung nachgeordnet ist. Die Herstellungsanlage ist bevorzugt eine Pultrusionsanlage oder eine Tape-Leggeeinrichtung, oder eine andere kontinuierliche Fertigungseinheit für die Fertigung endloser FVK Halbzeuge, wobei die Spanneinheit durch die Herstellungsanlage gebildet wird, und wobei die Biegeanlage in Bezug zu der Herstellungsanlage längs der durch den Herstellungsprozess bedingten Vorschubgeschwindigkeit des Rohres verfahrbar ist.

[0023] Diese und weitere Vorteile werden durch die nachfolgende Beschreibung unter Bezug auf die begleitenden Figuren dargelegt. Der Bezug auf die Figuren in der Beschreibung dient der Unterstützung der Beschreibung und dem erleichterten Verständnis des Gegenstands. Gegenstände oder Teile von Gegenständen, die im Wesentlichen gleich oder ähnlich sind, können mit denselben Bezugszeichen versehen sein. Die Figuren sind lediglich eine schematische Darstellung einer Ausführungsform der Erfindung.

[0024] Dabei zeigen:

[0025] **Fig. 1** eine schematische Seitenschnittansicht einer erfindungsgemäßen Biegeanlage, die einer Flechtpultrusionsanlage nachgeordnet ist,

[0026] **Fig. 2** eine schematische Seitenschnittansicht einer erfindungsgemäßen Biegeanlage mit integrierter nachgeordneter Ringdüse zur Außenkühlung,

[0027] **Fig. 3** eine schematische Seitenschnittansicht einer erfindungsgemäßen Biegeanlage mit nachgeordneten Wirbelrohren zur Außenkühlung,

[0028] **Fig. 4** ein temperierter Greifer zum Halten eines gebogenen Rohrabschnitts,

[0029] **Fig. 5a)** eine schematische Draufsicht auf eine dem Biegewerkzeug nachgeordnete oder darin integrierte Nachverformungsvorrichtung für Rohrquerschnittsvarianten und
b) eine Schnittansicht entlang AA aus a),

[0030] **Fig. 6** eine schematische Seitenschnittansicht einer erfindungsgemäßen Biegeanlage mit in das Biegewerkzeug integrierter Nachverformungsvorrichtung,

[0031] **Fig. 7** Seitenschnittansichten verschiedener Biegedornvarianten: Vollelastomerdorn mit aufgesetzter Nase (a), dickwandiges Elastomerrohr als Dorn mit aufgesetzter Nase (b), Gliederdorn mit Elastomerhülle (c), Seilkern mit Elastomerhülle als Dorn (d), ein um eine Gliederkette gedrehter Seilkern mit Elastomerhülle (e), Seilkern mit doppelwan-

diger Elastomerhülle (f), Elastomerschlauch mit eingebetteter Schraubenfeder als Dorn (g), und eine perspektivische Schnittansicht eines Schuppensdorns mit Elastomerhülle (h),

[0032] **Fig. 8** in schematischer Darstellung das automatisierte Handling von abgelängten Rohren vor und nach dem Biegen mittels Robotertechnik,

[0033] **Fig. 9** schrittweise a) bis k) das Biegen eines abgelängten Rohrs an zwei Biegestellen mit einer Rotationszug-Biegemaschine mit feststehender Biegeeinheit und beweglicher Klemm- und Vorschubeinheit,

[0034] **Fig. 10** schrittweise a) bis i) das Biegen eines abgelängten Rohrs an zwei Biegestellen mit einer Rotationszug-Biegemaschine mit verfahrbarer Biegeeinheit und feststehender Klemmeinheit,

[0035] **Fig. 11** eine Querschnittansicht durch eine erfindungsgemäße Heizvorrichtung mit einzeln ansteuerbaren IR-Einheiten,

[0036] **Fig. 12** eine schematische Seitenschnittansicht einer erfindungsgemäßen Biegeanlage für abgelängte Rohre mit vier Heizvorrichtungen und verfahrbarer Biegeeinheit und feststehender Klemmeinheit,

[0037] **Fig. 13** drei Querschnittansichten von kontaktflächen- und damit reibungsvermindernden Umfangsgestaltungen der Dorn-Führungslanze,

[0038] **Fig. 14** eine Querschnittansicht der Führungslanze mit am Umfang verteilten wechselbaren Gleitelementen.

[0039] Die Erfindung betrifft eine Biegeanlage für thermoplastische Faserverbundrohre (FVK-Rohre), sowie eine Herstellungsanlage für gebogene thermoplastische Faserverbundrohre, die die Biegeanlage umfasst, und ferner ein entsprechendes Umformverfahren, das mit der Biegeanlage ausgeführt werden kann. Um einen kontinuierlichen Biegeprozess bei FVK-Rohren zu gewährleisten, bei dem ein gewünschter Rohrverlauf und gegebenenfalls auch eine gewünschte Rohrform erzielt wird, wird erfindungsgemäß das FVK-Rohr bzw. der Endlosrohrstrang lokal nur an der oder den zu biegenden Stellen erwärmt und das Rohr wird an den materialschonend nur bis zur Verformbarkeit erwärmten Stellen gebogen, wobei es innenseitig mittels eines Dornsystems gestützt wird, um Kollabieren, Knicken oder eine ungewollte Verformung des Querschnitts des Rohres an der Biegestelle zu vermeiden. Das Rohr wird an dem gebogenen Abschnitt gezielt gekühlt und dabei gleichzeitig mechanisch, vorzugsweise mittels einer von einem Roboter geführten Greifervorrichtung gestützt, so dass der gebogene Rohrabschnitt in der

gewünschten Form beim Abkühlen aushärtet. Optional kann an die Biegevorrichtung eine Verformungseinheit angeschlossen oder darin integriert sein, mittels derer die Querschnittsform des Rohres geändert wird.

[0040] Mit den erfindungsgemäßen Biegesystemen für das Umformen von Faserverbund-Kunststoffrohren werden die Probleme der Zuführung der Rohre zur Biegemaschine, des Aufheizens der Rohre im Prozess, des Abkühlens der Rohre im Prozess und des Handlings der Rohre während und nach dem Biegeprozess gelöst. Und es wird die Nachverformung, bzw. Onlineverformung der Rohrquerschnitte und die innere Stützung der Rohrsysteme über neuartige Dornsysteme ermöglicht.

[0041] Ein erstes erfindungsgemäßes CNC-geeignetes Biegesystem basiert auf dem Prinzip des Freiformbiegens wie bspw. in der Patentschrift DE 10 2005 013 750 B3 beschrieben. Dabei erfolgt die Umformung des Rohres durch die Lageänderung der Biegematrize. Dieses Verfahren stellt aufgrund seiner Funktionsweise eine ideale Umsetzung für einen endlosen Prozess dar und kann daher einer Pultrusionsanlage nachgeordnet werden, mit der ein kontinuierliches FVK-Rohr hergestellt wird.

[0042] Eine Anlagenanordnung für den Prozessablauf ist in [Fig. 1](#) abgebildet. Die Herstellung des FVK-Rohrs **20** erfolgt in einer Flechtpultrusionsanlage **50** mit drei Flechträdern **51**, mit denen drei Faserlagen auf einen Flechtdorn geflochten werden. Das Fasermaterial umfasst den thermoplastischen Matrixkunststoff. Es können neben Verstärkungsfasern auch Thermoplastfasern verflochten werden, alternativ kann ein Hybridgarn verwendet werden, das Verstärkungsfasern in einer Matrixschichte umfasst. Neben Einzelfasern können selbstverständlich auch Faserbündel (Rovings) oder Fasernbänder (Tapes) verwendet werden.

[0043] Die Thermoplastmatrix kann bereits vor dem Eintritt in das Pultrusions- bzw. Konsolidierungswerkzeug **53** beispielsweise durch einen IR-Strahler **52** erwärmt werden, um den Durchtritt durch die Einzugsmatrize **55** zu unterstützen, etwa um dort einen Faserstau zu vermeiden. In dem Pultrusions- bzw. Konsolidierungswerkzeug **53** wird die Thermoplastmatrix bis zum Schmelzpunkt erwärmt, so dass das Verstärkungsfasergeflecht vollständig von der Matrix durchdrungen wird, ehe diese durch gesteuertes Abkühlen ausgehärtet wird. Angetrieben wird der Pultrusionsprozess von dem Doppelbandabzug **54**, der dem Pultrusions- bzw. Konsolidierungswerkzeug **53** nachgeordnet ist und das dann fertige FVK-Rohr **20** abzieht.

[0044] Das FVK-Rohr **50** wird direkt im Anschluss an den Herstellungsprozess, neben dem beschriebenen Flechtpultrusionsprozess kommen auch die Rohr-

herstellung über Tapewickeln oder anderen endlosen Fertigungstechnologien für Faserverbundrohre mit thermoplastischer Matrix in Frage, in einer erfindungsgemäßen Biegeanlage **15** gebogen.

[0045] Dazu durchläuft das Rohr **20** nach Verlassen der Herstellungsstrecke **50** einen neuerlichen Heizbereich **9**. Dieser Heizbereich **9** besteht dabei aus mehreren voneinander getrennt agierenden IR-Strahlersystemen **29**, welche kreisförmig um das Rohr **20** angeordnet sind (siehe [Fig. 11](#)).

[0046] Diese einzelnen Strahler **29** können leistungstechnisch einzeln geregelt werden und ermöglichen es somit, einen sich aufgrund der fertigungsbedingten Vorschubbewegung V_a (siehe [Fig. 2](#), [Fig. 3](#), [Fig. 6](#)) aus dem Herstellungsprozess bewegenden Punkt über die Regelung der einzelnen IR Bereiche gezielt zu erwärmen. Damit muss also das Rohr **20** nicht vollständig erwärmt werden, sondern es ist möglich, nur gezielte Bereiche **20'** des Rohres **20** zu erwärmen und das auch, wenn sich das Rohr **20** mit einer bestimmten Vorschubgeschwindigkeit V_a fortbewegt. Dies wird im Folgenden noch genauer erläutert.

[0047] Anschließend durchläuft das Rohr **20** eine ebenfalls teilweise temperierte Freiformeinheit **2, 3**, vgl. auch [Fig. 2](#), [Fig. 3](#) und [Fig. 6](#). Nach Verlassen dieser Freiformeinheit **2, 3** hat das Rohr **20** die gewünschte Biegung und, falls, wie in [Fig. 6](#) gezeigt und später noch erläutert wird, eine entsprechende Querschnittsumformvorrichtung **2** vorgesehen ist, auch die gewünschte Außenkontur erhalten. Um ein Rückformen des eventuell noch warmen Rohres zu verhindern, wird dieses im Anschluss zusätzlich von Robotereinheiten **21** gestützt, wie sie schematisch beispielsweise in [Fig. 8](#), [Fig. 9](#) und [Fig. 10](#) skizziert sind. Hat ein Rohrabschnitt, der einem kompletten Bauteil entspricht, die Umformstrecke **15** passiert, wird dieses über eine Trenneinheit vom hinteren endlosen Teil des Rohres **20** abgetrennt und kann einem Folgeprozess zugeführt werden.

[0048] Alternativ zu der in Zusammenhang mit [Fig. 1](#), [Fig. 2](#), [Fig. 3](#) und [Fig. 6](#) beschriebenen kontinuierlich arbeitenden Biegeanlage kann ein Biegesystem für bereits abgelängte Rohre eingesetzt werden, das auf dem Rotationszugbiegen basiert. Hierzu kann ein Biegeverfahren realisiert werden, das einem Umformverfahren beschrieben in der DE 10 106 741 C2 oder in der DE 20301138 U1 entspricht. Da hier das Biegewerkzeug rotatorisch um das Rohr bewegt wird, wird auch hier die grundsätzliche Bedingung erfüllt, dass das Rohr während des Biegeprozesses nicht rotatorisch bewegt werden soll.

[0049] Ein weiteres erfindungsgemäß einsetzbares Biegeverfahren, das für bereits abgelängte Rohre eingesetzt werden kann, ist das Kompressionsbie-

gen. Selbstverständlich kann auch das oben in Bezug auf das Biegen im endlosen Prozess beschriebene Freiformbiegen mit abgelängten Rohren durchgeführt werden. Dabei wird das abgelängte Rohr durch eine Vorschubeinheit durch die feststehende Biegeeinheit „gedrückt“.

[0050] Der für die Umformung von Faserverbundrohren nötige Maschinenaufbau der Biegeanlage zur Verarbeitung von bereits abgelängten Rohren **20** wird dabei in **Fig. 9** und **Fig. 10** mit den zum Biegen durchgeführten Arbeitsschritten beschrieben. Dabei werden zwei Bewegungsmodi der Anlage unterschieden.

[0051] Die in **Fig. 9a)** bis **k)** gezeigte Anlage hat eine feststehende Biegeeinheit **2, 3**, die das Rohr **20** durchdringt, und eine auf einer Laufschiene **25** verfahrbare Klemm- und Vorschubeinheit **24** in Anlehnung an die Funktionsweise einer Standard CNC-Rotationszug-Biege maschine.

[0052] Neben der feststehenden Biegeeinheit **2, 3** weist die Anlage ein feststehendes Dornsystem auf, das eine Halterung **4'** umfasst, die die den Biegedorn haltenden Führungslanze **7** hält. Das Dornsystem kann über eine interne Steuerung hydraulisch, pneumatisch oder elektrisch angetrieben geringe Verfahrwege realisieren, um gegebenenfalls den Dorn über den Bereich der Glieder aus dem Biegebereich ausziehen. Der Biegedorn ist in dem eingespannten FVK-Rohr **20** angeordnet und daher nicht zu sehen; er erstreckt sich entlang der Biegestelle an der Biegeeinheit **2, 3**. Die bewegliche Klemm- und Vorschubeinheit, in der das FVK-Rohr **20** eingespannt ist, ist zwischen der feststehenden Biegeeinheit **2, 3** und der Dornhalterung **4'** angeordnet. D. h. hier wird das Rohr **20** von der Klemm- und Vorschubeinheit **24** bewegt. Diese Bewegung führt zum einen den jeweiligen zu biegenden Rohrabschnitt zur Biegeeinheit **2, 3**, zum anderen führt sie bspw. die Ausgleichsbewegung im Rotationszugbiegeprozess aus.

[0053] Nach dem Einspannen des zu biegenden Rohres in der Biegeanlage (**Fig. 9a)** werden die verfahrbaren, einzeln steuerbaren Heizvorrichtungen **9.1, 9.2, 9.3, 9.4** an den zu biegenden Rohrabschnitten **20** platziert. Die Heizvorrichtungen **9.1, 9.2** erwärmen eine erste Biegestelle **20'** und die Heizvorrichtungen **9.3, 9.4** eine zweite (**Fig. 9b**).

[0054] Wenn wie im vorliegenden Beispiel mehrere Bereiche gleichzeitig erwärmt werden, muss im nicht erwärmten Bereich zwischen den erwärmten Abschnitten **20'** zusätzlich eine Stützung erfolgen. Dieses kann, wie in **Fig. 9c)** gezeigt, mittels eines Roboters **21** erfolgen. Selbstverständlich sind auch andere Klemmsysteme, auch in die Maschine integrierte Greifsysteme denkbar. Diese zusätzliche Stützung dient dazu, das Verziehen oder Deformieren der erwärmten Bereiche aufgrund einer Vorschub- oder

Biegebewegung zu unterbinden. Sind dabei mehr als zwei Erwärmungsstellen hintereinander angeordnet, ist vorzugsweise eine zusätzliche Stützung möglichst zwischen jedem dieser Bereiche vorzusehen.

[0055] Ist wenigstens die erste Biegestelle **20'** bis zur Verformbarkeit erwärmt, werden, wie in **Fig. 9d)** zu sehen ist, deren Heizvorrichtungen entfernt, so dass lediglich die Heizvorrichtungen **9.3** und **9.4** der zweiten Biegestelle an dem Rohr **20** verbleiben. Wie Pfeil v_1 in **Fig. 9e)** anzeigt, wird dann das Rohr **20** von der Klemm- und Vorschubeinrichtung **24** so bewegt, dass die erste Biegestelle **20'** in der Biegeeinheit **2, 3** angeordnet ist.

[0056] Bei der Vorschubbewegung des Rohres **20** werden die Heizvorrichtungen **9.3** und **9.4** sowie der stützende Roboter **21** synchron mit der Rohrbewegung v_1 verfahren, wie die Pfeile v_2 und v_3 andeuten, um ein Verschieben der erwärmten Laminatenebenen zu vermeiden.

[0057] In einer alternativen Anlagen- und Prozessführung, die den Wegfall der zusätzlichen Stützeinheit **21** ermöglichen würde, wird die Erwärmung der nächsten Biegestellen erst begonnen, wenn die aktuell im Biegen befindliche Biegestelle fertig gebogen ist. Damit kann verhindert werden, dass aufgrund des Durchziehens des Rohres beim Rotationszugbiegen eine Veränderung der Laminatausrichtungen in etwaigen Erwärmungsbereichen hinter der eigentlichen Biegestelle stattfindet. Die Steuerung des Laminatverhaltens im Biegebereich durch Druck und Zug wird dann hier, wie bei einem gewöhnlichen Rotationszugbiegeprozess von Metallrohren auf einer CNC-Maschine, von der Klemm- und Vorschubeinheit **24** übernommen.

[0058] Da beim Biegen des Rohrs **20** beim Rotationszugbiegen eine neuerliche Vorschubkraft v_b durch das Ziehen des Rohrs **20** entsteht, muss diese ebenfalls von den drei Komponenten Stützroboter **21**, Heizvorrichtung **9.3, 9.4** und Klemmeinheit **24** ausgeglichen werden (**Fig. 9f**). Dabei kann mit dem Greifer **21** hinter der ersten Biegestelle **20** ein zusätzlicher Effekt erzielt werden: Dieser kann durch Bewegung abweichend vom Rohrvorschub v_b sowohl eine Druckkraft, als auch eine Zugkraft auf den von der Biegeeinheit **2, 3** zu biegenden Rohrabschnitt auswirken. Damit kann bspw. das Laminatverhalten im Biegebereich gesteuert werden. So kann im Biegeprozess Material aus dem Biegebereich herausgehalten oder zugeführt werden.

[0059] Nach Biegen des Rohrs **20** an der ersten Biegestelle wird das gebogene Rohrende ebenfalls mittels eines Roboters **21**, der dazu mit einem wie in **Fig. 4** gezeigten temperierten Greifer **14** ausgestattet sein kann, gestützt (**Fig. 9g**). Zum Biegen der zweiten Biegestelle wird der erste Stützroboter **21** und

die restlichen Heizeinrichtungen **9.3, 9.4** entfernt, und das Rohr **20** von der Klemmeinheit **24** vorgeschoben, bis die zweite Biegestelle **20'** in der Biegeeinheit **2, 3** platziert ist (**Fig. 9h**) und i). Synchron dazu wird der das gebogene Rohrende stützende Roboter **21** mit verfahren. Wie **Fig. 9j**) entnommen werden kann, tritt auch beim zweiten Biegevorgang eine Vorschubbewegung v_b des Rohres **20** auf, zu der synchron die Klemm- und Stützeinheit **24** verfahren wird. Der das gebogene Rohrende stützende Roboter **21** führt dabei eine sowohl den Vorschub als auch die rotatorische Bewegung des Rohres ausgleichende Bewegung b aus. Anschließend stützt ein weiterer Roboter **21** die zweite Biegestelle, bis das Rohr **20** verformungsfest abgekühlt ist (**Fig. 9k**).

[0060] Beim zweiten Bewegungsmodus wird die eigentliche Biegeeinheit von Biegestelle zu Biegestelle verfahren und die Klemmeinheit steht fest. In **Fig. 10a**) bis i) ist eine entsprechende Anlage und die damit durchgeführten Prozessschritte dargestellt. Hier sind die Biegeeinheit **2, 3**, die entlang dem Rohr **20** bewegt wird, und die Dornhalterung **4'** auf Laufschienen **25** angeordnet. Die dazwischen positionierte Klemm- und Vorschubeinheit **24** steht fest.

[0061] Für beide in Zusammenhang mit **Fig. 9** und **Fig. 10** beschriebenen Systeme ist eine Dornintegration vorgesehen. Diese Dornintegration basiert grundsätzlich auf den bereits in Serie vorhandenen Dornsystemen, welche auch in Rotationszug-Biegemaschinen zum Einsatz kommen. Dabei wird der eigentliche mit Gliedern oder anderweitig aufgebaute Dorn über eine Lanze **7** an der für die Biegung benötigten Stelle positioniert. Während bei einer feststehenden Biegeeinheit das Dornsystem ebenfalls feststehend ausgeführt ist, ist es für eine Biegeanlage, wie in **Fig. 10** beschrieben, mit einer verfahrbaren Biegeeinheit **2, 3** erforderlich, auch den Dorn über die Führungslanze **7** und die Halterung **4'** beweglich zu gestalten, so dass der Dorn synchron mit der Biegeeinheit **2, 3** von Biegestelle zu Biegestelle bewegt werden kann, oder wie in den Schritten f) und g) dargestellt ist, der Dorn durch die Bewegung V_D der Halterung **4'** an der zweiten Biegestelle **20'** platziert wird, ehe die Biegeeinheit **2, 3** entsprechend dem Pfeil V_B zur Biegestelle **20'** verschoben wird. Dazu ist der Dorn bzw. die Führungslanze **7** an einer verfahrbaren Halterung **7** eingespannt.

[0062] Auch hier wird das Rohr **20** partiell an den zu biegenden Abschnitten mittels der verfahrbaren und einzeln ansteuerbaren Heizvorrichtungen **9.1, 9.2, 9.3, 9.4** erwärmt, um das Umformen zu ermöglichen.

[0063] In **Fig. 10a**) erwärmt eine Heizeinheit aus vier Heizvorrichtungen **9.1, 9.2, 9.3, 9.4** die vorgesehenen Biegestellen des Rohrs **20**. Nachdem die Heizvorrichtungen **9.1, 9.2** der ersten Biegestelle **20'** entfernt sind (**Fig. 10b**), verfährt die Biegeeinheit **2, 3**

zu der ersten Biegestelle **20'**, an der der Dorn über die Führungslanze **7** und die verfahrbare Halterung **4'** bereits richtig platziert ist (**Fig. 10c**), und führt den Biegevorgang aus (**Fig. 10d**). Das gebogene Rohrende wird auch hier von einem Roboter **21** gestützt, der auch mit einer gegebenenfalls temperierten oder temperierbaren Greifvorrichtung **14** ausgestattet sein kann (**Fig. 10e**). Nun werden auch die Heizvorrichtungen **9.3, 9.4** an der zweiten Biegestelle **20'** entfernt (**Fig. 10f**) und der Dorn durch Verschieben v_B der Halterung **4'** in der zweiten Biegestelle **20'** positioniert. Sodann wird die zweite Biegestelle **20'** durch die Biegeeinheit **2, 3** angefahren (Pfeil v_B in **Fig. 10g**), so dass das Umformen des Rohrs **20** an der zweiten Biegestelle erfolgen kann (**Fig. 10h**), wobei der das gebogene Ende stützende Roboter **21** eine Ausgleichsbewegung ausführt. Auch die zweite Biegestelle wird durch einen Roboter **21** gestützt (**Fig. 10i**).

[0064] In allen Fällen, d. h. in allen Biegeanlagen soll das Aufheizen der Rohre partiell an den für die Biegung vorgesehenen Stellen geschehen und möglichst nicht über das komplette Rohr erfolgen.

[0065] Hierzu können die Rohre direkt aus dem Pultrusionsprozess **50**, wie in **Fig. 1** gezeigt, in noch warmen, aber verformungsfestem Zustand der Biegemaschine **15** zugeführt werden. Die Hauptheizstrecke bilden dann, im Bereich hinter der Biegezone, separat voneinander steuerbare IR-Strahler **9**, welche um das Rohr **20** herum angeordnet sind, wie in **Fig. 11** zu sehen ist. Die getrennte Steuerbarkeit ermöglicht es, bei einem sich bewegendem Rohr die Wärmeeinbringungszone punktuell mit dem Rohrvorschub zu steuern. Der Vorschub und/oder die Heizleistung werden dabei so angepasst, dass die Zeit in der IR-Strecke ausreicht um eine vollständige Durchwärmung der thermoplastischen Matrix des Rohrs zu erreichen.

[0066] Die Heizvorrichtung **9**, der jede der Heizvorrichtungen **9.1, 9.2, 9.3, 9.4** entspricht, umfassen eine Vielzahl von IR-Strahlern **29**, die im in **Fig. 11** gezeigten Beispiel in einem Gehäuse mit achteckigem Querschnitt verteilt angeordnet sind und somit annähernd kreisförmig um das FVK-Rohr **20** angeordnet sind. Das das FVK-Rohr **20** umschließende Gehäuse kann, wie in **Fig. 11** dargestellt, aus zwei durch ein Scharnier **17** klappbar verbundenen Halbschalen bestehen und somit geöffnet werden (Pfeile o), um die Heizvorrichtung **9** einzeln an dem Rohr **20** anzuordnen und zu entfernen. Dazu kann die geöffnete Heizvorrichtung **9**, um aus dem Vorschubbereich des Rohrs entfernt zu werden, in Richtung des Doppelpfeils s verschoben werden.

[0067] So können quasi endlose oder nicht endlose Rohre aus Faserverbänden mit thermoplastischen Matrizen nach der vollständigen Konsolidierung, hergestellt in einer Anlage **50** entsprechend **Fig. 1**, einer Tapewickelanlage oder ähnlichen Anlagen direkt

oder abgelängt einem Biegeprozess zugeführt werden. Dabei können die Rohre direkt im Anschluss an die Herstellung, aber auch nach Zwischenlagerung dem Biegeprozess zugeführt werden. In allen Fällen kommen die einzeln verfahrbaren und ansteuerbaren Heizvorrichtungen zum Einsatz, mit denen die Erwärmung der Rohre über die annähernd kreisförmig um das Rohr angeordneten IR-Strahler erfolgt. Durch die aus mehreren einzeln getrennt voneinander steuerbaren Heizvorrichtungen bestehende Heizeinheit können gezielt nur die Umformungsbereiche erwärmt werden.

[0068] Die Variante mit der wie in [Fig. 11](#) dargestellten aufklappbaren Heizvorrichtung ist vor allem zum Einsatz in einer Biegeanlage, wie sie in [Fig. 10](#) und auch [Fig. 12](#) gezeigt ist, anzustreben, in der ein bereits abgelängtes Rohr **20** durch die feststehende Klemmeinheit **24** in der Biegeanlage eingespannt ist und somit das Rohr **20** stillsteht, während sich die Biegeeinheit **2, 3** bewegt. Dabei müssen die einzelnen IR-Felder erzeugenden Heizvorrichtungen **9.1, 9.2, 9.3, 9.4** sich aus dem Biegebereich entfernen lassen. Mit der aufklappbaren Gestaltung nach [Fig. 11](#) kann die Heizvorrichtung **9** geöffnet werden, um am Rohr **20** platziert zu werden, oder um aus dem Rohrbereich entfernt zu werden. Ist oder sind die Heizvorrichtungen **9.1, 9.2, 9.3, 9.4** um das Rohr **20** positioniert, schließt es sich und beginnt den Heizvorgang. Zur Positionierung kann bzw. können die Heizvorrichtung(en) in ein Maschinensystem integriert oder an einem Robotersystem montiert sein.

[0069] Für das kontinuierliche Biegeanlagenkonzept, das in Bezug auf die [Fig. 1, Fig. 2, Fig. 3](#) und [Fig. 6](#) beschrieben wurde, sind zusätzliche Heizbereiche denkbar. Dabei erfolgt prozessabwärts zu der IR-Strecke mit den Heizvorrichtungen **9** im Bereich der kurzen Strecke der Axialhülse **8** eine weitere Temperierung über selbige (Der Pfeilkopf V_a zeigt die Vorschubrichtung des Rohrs **20** an). Dabei ist die Axialhülse **8** temperiert, so dass möglichst wenig Wärmeverlust im zu biegenden Abschnitt des Rohrs **20** bis zur eigentlichen Biegestelle auftritt. Hierbei kann gegebenenfalls in den Temperierungsbereichen **9, 8**, vor allem im Bereich der Axialhülse **8**, eine leichte Übertemperierung über die eig. Verformungstemperatur des Kunststoffes hinaus erforderlich sein, damit die Abkühlung über die Biegestrecke nicht zu groß und damit die Verformbarkeit eingeschränkt wird.

[0070] Direkt im Anschluss an die Biegeeinheit **2, 3** ist ein Abkühlprozess vorgesehen, um die Rückverformung des Kunststoffes im biegeweichen Zustand zu unterbinden und damit eine möglichst hohe Toleranzgüte zu gewährleisten. Das Abkühlen der Rohre **20** kann in den erfindungsgemäßen Biegeanlagen über drei autark voneinander agierende Kühlsysteme erfolgen: eines zur aktiven Außenkühlung und eines zur aktiven Innenkühlung und eines zum passi-

ven bzw. teilweise aktiven Abkühlen des umgeformten Rohrabchnitts.

[0071] Die aktive Außenkühlung erfolgt dabei entweder über eine handelsübliche Ringdüse **1** oder über Wirbeldüsenkühlung. Beide Systeme beruhen dabei auf Druckluft L_a als Kühlmedium und sind steuerbar. Eine Variante mit Ringdüse **1** ist in [Fig. 2](#) ersichtlich. Dabei wird die Düse **1** direkt hinter die Freiformeinheit **2, 3** gesetzt und der Druckluftstrom L_a kühlt damit sofort den Rohrbereich, der nicht mehr durch den Biegedorn **4** gestützt ist. Eine entsprechende aktive Außenkühlung kann hinter die Biegeeinheit **2, 3** der Biegeanlagen für abgelängte Rohre nach [Fig. 9, Fig. 10](#) gesetzt werden.

[0072] [Fig. 3](#) zeigt eine Variante, in der die aktive Außenkühlung dieses Bereiches über ein Wirbelrohr **1** oder auch mehrere erfolgt. Dabei wird der kalte Abluftstrahl L_a von einer Düse **1**, wie dargestellt, oder von mehreren Düsen über Zuleitungen auf die erforderlichen Stellen aufgebracht.

[0073] Auf diese Weise lassen sich außer Druckluft natürlich auch andere Kühlmedien benutzen, was dann natürlich die Wirbelrohre erübrigen würde. Dafür sind dann eine Zuleitung und die Steuerung der Kühlmittelzufuhr erforderlich.

[0074] Ist die Umsetzung der direkten Anbringung der Abkühlvorrichtung an der Biegeeinheit nicht möglich, ist eine Montage der Abkühlvorrichtung an einem Roboter denkbar, der in der Lage ist, die Bewegungen der Biegeeinheit exakt nach zu verfolgen und die Abkühlvorrichtung entsprechend parallel zu der Biegeeinheit zu führen, so dass weder eine Kollision der beiden Einheiten miteinander noch des Roboters bzw. der von ihm geführten Abkühlvorrichtung mit dem Rohr stattfindet.

[0075] Die aktive Innenkühlung **5, 6** des FVK-Rohrs **20** erfolgt entweder über Miniaturwirbeldüsen oder über die Zuleitung von externen Kühlmedien und ist wie die Außenkühlung steuerbar. Auch die aktive Innenkühlung ist nicht nur für die kontinuierliche Biegevariante nach [Fig. 1, Fig. 2, Fig. 3, Fig. 6](#) sondern gleichermaßen auch für die in Zusammenhang mit [Fig. 9](#) und [Fig. 10](#) beschriebenen Biegesystemen für abgelängte Rohre (dort allerdings nicht dargestellt) einsetzbar.

[0076] Bei der Kühlung über ein Wirbelrohr **6** wird, wie in [Fig. 2, Fig. 3](#) oder [Fig. 6](#) ersichtlich, das Wirbelrohr **6** in das innenliegende Stützrohr **7** bzw. die Führungslanze **7** im Bereich hinter dem Gliederdorn **4** angebracht. Die Zuführung der Kühlluft L_i erfolgt dann über eine elastische Zuleitung **5** durch den Gliederdorn **4** hindurch. Am Ende des Dornes **4** mündet die Zuleitung **5** entweder frei über eine Öffnung oder über eine Düse in das Rohrinne und sorgt damit direkt

im Anschluss an die Biegung für eine Innenkühlung des Rohres.

[0077] Ein entsprechendes System, mit Entfall des Wirbelrohres, kann auch zum Transport alternativer Kühlmedien eingesetzt werden. Dabei werden diese vom hinteren Ende der Maschine durch das komplette Stützrohr 7 hindurch über Zuleitung 5 bis zur Biegestelle geführt.

[0078] Das dritte mögliche Kühlsystem zum passiven bzw. teilweise aktiven Abkühlen des umgeformten Rohrabschnitts ist von der Greifervorrichtung 14 eines Roboters umfasst, der den umgeformten Bereich stützt. Hierbei wird das Rohr 20 im Anschluss an die Umformung mittels einer Greifervorrichtung 14 gestützt, die wie in Fig. 4 dargestellt, temperierbar sein kann oder auch gänzlich untertemperiert sein kann. Zur Temperierung können beispielsweise Kühlmittelleitungen 16 in den Greifer 14 integriert sein, so dass der Greifer durch ein Kühlmedium temperiert wird, und damit der von dem Greifer 14 erfasste Rohrabschnitt gekühlt wird. Der Greifer 14 kann zur Aufnahme des Rohrs 20 mittels eines Scharniers 17 durch eine Aufklappbewegung (Pfeile o) geöffnet werden. Im Fall einer untertemperierten Greifervorrichtung erfolgt eine rein passive Abkühlung, bei der durch die Greifervorrichtung lediglich eine ungewollte Verformung des gebogenen Rohrabschnitts verhindert wird.

[0079] Diese Stützung durch die temperierte oder untertemperierte Greifervorrichtung 14 bleibt während des kompletten folgenden Biegeprozesses des Rohres erhalten. Somit muss der Roboter, an dem die Greifervorrichtung 14 vorliegt, alle weiteren Bewegungen des Rohres 20, die durch den Biegeprozess entstehen, mit einer Eigenbewegung ausgleichen (vgl. Fig. 9j) oder Fig. 10h). Damit soll vermieden werden, dass sich die noch warmen und formbaren Rohre aufgrund der auftretenden Kräfte nach dem Biegeprozess von selbst verformen. Ferner wird damit ebenfalls das Phänomen der Rückfederung unterbunden.

[0080] Mit jeder neu entstandenen Biegestelle ist eine erneute Stützung erforderlich, d. h. zum abstützenden Roboter der ersten Biegestelle kommt zusätzlich ein weiterer Roboter zum Einsatz, der die zweite Biegestelle stützt (vgl. Fig. 9k) und Fig. 10i). Kommen weitere Biegestellen hinzu, werden entsprechend weitere Roboter zur Stützung zum Einsatz kommen. Anschließend an den Biegeprozess werden diese Rohre, sofern noch nicht im Vorfeld geschehen, abgelängt, wobei die Stützung durch die Roboter beibehalten bleibt.

[0081] Durch den Einsatz von Robotern 21 kann, wie in Fig. 8 skizziert, der Biegeprozess auch für abgelängte Rohre 20 automatisiert werden, die von Robo-

tern 21 mit Greifern 14 in eine Biegeanlage 15 eingelegt werden, aus der sie unter Stützung der Biegestelle 20' durch die Roboter 21 mit Greifern 14 entnommen werden. Ein Schienensystem 22 gestattet die konzertierte Bewegung der Roboter 21 in zwei Richtungen x und y.

[0082] Im Anschluss an das Biegen bzw. Ablängen kann das Rohr direkt einem Weiterverarbeitungsprozess zugeführt werden, oder aber, wie in Fig. 8 zu sehen, zur vollständigen Auskühlung in eine Transportlehre 23 abgelegt werden. Dabei wird das gebogene Rohr von den Robotern 21 auf der Lehre 23 platziert und anschließend von Spannvorrichtungen 23' in der Lehre 23 fixiert. Damit wird eine mögliche Verformung des Rohrs während des Transportes (über Transportschienen 22) gänzlich unterbunden und es kann in der Lehre 23 vollständig auskühlen, um anschließend gelagert oder weiterverarbeitet zu werden.

[0083] Ferner ist mit einer erfindungsgemäßen Biegeanlage die Nachverformung, bzw. Onlineverformung der Rohrquerschnitte möglich.

[0084] Die Vorrichtung zur Nachverformung 2 kann sich an die Biegehülse 3 anschließen, wie in Fig. 2 und Fig. 3 dargestellt, oder in die Biegehülse 3 integriert sein, wie in Fig. 6 zu sehen. Mit der Querschnittsverformungsvorrichtung 2 lassen sich Nachverformungen wie z. B. Ovalisierungen oder Einbuchtungen bei konstanten Rohrumfängen realisieren.

[0085] Die Vorrichtung zur Nachverformung 2 ist in Fig. 5 in a) schematischer Draufsicht und b) Teilschnittansicht entlang Schnittlinie AA aus a) ersichtlich und wie folgt aufgebaut: Ein elastischer innen liegender Ring 10, bestehend aus einem nichthaftendem Material bzw. mit einer Antihafbeschichtung versehen, bildet das Herzstück der Verformungsvorrichtung. Dieser Ring 10 ist in starre halbrunde Klemmschuhe 11 eingeklemmt, welche wiederum an Linear-, Hydraulik- oder Pneumatikeinheiten 18 gekoppelt sind. Deren Steuereinheiten 12 (von denen in der Draufsicht nur eine dargestellt ist) sitzen auf einem festen Ring 13, über den die Verformungsvorrichtung 2 mit der eigentlichen Biegeeinheit 3 verbunden werden kann. Die Steuereinheiten 12 sind einzeln ansteuerbar und verschieben die Klemmschuhe 11 mittels der Linear-, Hydraulik- oder Pneumatikeinheiten 18 in radialer Richtung hin zum oder weg vom Rohrmittelpunkt. Durch diese Verschiebung wird der elastische Innenring 10 definiert verformt und gestützt, und stellt so eine Verformungsmatrize für den Querschnitt des Rohres bereit.

[0086] Ist eine derartige Nachverformungsvorrichtung 2 in die Biegeeinheit 3 integriert, wie in Fig. 6 dargestellt, so wird der Biegedorn 4 verkürzt werden (das gestrichelt dargestellte Glied entfällt bei die-

ser Variante), damit eine Verformung möglich ist und nicht durch den Biegedorn **4** behindert wird.

[0087] Bei einer erfindungsgemäß ausgeführten Biegeanlage ist es nicht zwingend erforderlich, dass die Biegeeinheit in Form einer Biegehülse in die Maschine integriert ist, sie kann auch über einen Roboter gesteuert werden. Dabei erfolgt die Biegung nach dem gleichen Prinzip wie bei der Standardbiegemaschine, der Unterschied besteht lediglich darin, dass der Biegekopf bzw. die Biegehülse über einen externen Roboter gesteuert wird.

[0088] Für ein optimales Biegeergebnis bei einem FVK-Rohr ist eine innere Stützung während des Umformprozesses erforderlich. Hierzu wird ein Biegedorn **4** verwendet, der in den [Fig. 2](#), [Fig. 3](#) und [Fig. 6](#) zu erkennen ist. Die gängigste Form verformbarer Dorne **4** bilden die Gliederdorne **4**, welche mit unterschiedlichen Gliederformen und mit weitem, engem und sehr engem Gliederabstand herstellbar sind. Darunter fallen auch die Schuppendorne, die eine Sonderform eines engen Gliederdorns darstellen. Bei einem Schuppendorne sind die Glieder schuppenartig teilweise überlappend angeordnet.

[0089] Herkömmliche Gliederdorne **4** sind allerdings nicht optimal, da hier Hinterschnitte bzw. Senken in dem gebogenen Rohrabschnitt durch das Eindringen des verformbaren Fasermatrixmaterials in die Aussparungen zwischen den Gliedern entstehen. Anders als beim Biegen von Metallrohren kann hier, da völlig andere Kräfte auftreten, auf metallische Dornsysteme verzichtet werden. In [Fig. 7](#) sind sieben verschiedene Dornvarianten a) bis g) aufgezeigt, die in einer erfindungsgemäßen Biegeanlage eingesetzt werden können und die die Bildung von Hinterschnitten bzw. Senken, wie sie durch die gängigen Gliederdorne entstehen, vermeiden. Dazu wird der Biegedorn **4** zumindest an seiner Oberfläche durch ein elastomeres Material gebildet. Das verwendete Elastomer muss dabei natürlich für den im Biegeprozess verwendeten Temperaturbereich geeignet sein.

[0090] Eine erste einfachste Variante, dargestellt in [Fig. 7a](#)) sieht vor, den Biegedorn **4** aus einem massiven Vollelastomerkörper **40** zu bilden. Ebenfalls aus Vollelastomer kann je nach möglichem Umformungsgrad der Biegedorn **4** auch als Hohlrohr **40'** ([Fig. 7b](#)) ausgeführt werden. In diesem Fall ist auf eine ausreichende Wandstärke zu achten, so dass eine Ovalisierung des Dornes **4** beim Umformen möglichst gering ausfällt. Um den Verschleiß des Dornes **4** an seiner Spitze zu vermindern, ist es möglich in diesem Bereich eine aus Kunststoff oder Keramik gefertigte oder eine metallische Nase **41** anzubringen. Hierfür können unterschiedliche Befestigungsvarianten vorgesehen sein, wie in den [Fig. 7a](#)) und b) beispielhaft dargestellt.

[0091] [Fig. 7c](#)) zeigt einen Biegedorn **4**, der einen Elastomerschlauchüberzug **42** über einem gängigen Gliederdorn **43** aufweist. Dabei wird das Problem der Hinterschnitte umgangen, indem über den Gliederdorn **43** ein dünner Elastomerschlauch **42** gezogen wird. Damit kann es zwar immer noch zu geringer Senkenbildung kommen, dieser Schlauch verhindert aber, dass sich das Faser-Matrix-System hinter die einzelnen Glieder schieben kann und beim Ausziehen des Domes **4** bzw. beim Weiterschieben des Rohres **20** beschädigt wird. Damit wird also eine Schädigung des Faser-Matrix-Systems verhindert und es kann gleichzeitig auf die bereits vorhandenen Gliederdorne **43** zurückgegriffen werden.

[0092] Der Elastomerschlauchüberzug **42** weist vorzugsweise eine derartige Wandstärke und eine Stabilität auf, dass er eine nur sehr geringe Abbildung der Glieder nach außen zulässt, während er gleichzeitig dünn genug ist, um einen möglichst weiten Verformungsbereich zuzulassen, ohne Falten oder Schädigungen zu verursachen.

[0093] Der Schlauch **42** kann dabei entsprechend einem Kondom, hinten offen und vorn geschlossen, über den gesamten Gliederdorn **43** geschoben werden, und kann dann am offenen Ende verspannt werden. Alternativ kann der Elastomerüberzug **42** als Schlauchabschnitt mit zwei offenen Enden im vorderen und hinteren Bereich verspannt werden. In den Elastomerüberzug **42** ist hier zur nachträglichen Verstreckung der Fasern ein Kammer-System integrierbar, das in Zusammenhang mit [Fig. 7f](#)) näher erläutert wird.

[0094] Ferner wurde entdeckt, dass ein als Biegedorn **4** verwendetes gedrehtes Seil **44** sich bei Biegung nicht verformt, sondern seinen Querschnitt beibehält. [Fig. 7d](#)) zeigt einen Abschnitt eines solchen Biegedorns, der aus einem Seilkern **44** besteht, der mit einer Elastomerhülle **42** versehen ist, da sonst die Oberfläche des Kernes **44** bei direktem Kontakt zu sehr belastet werden würde. Ein Biegedorn **4** auf Basis eines Seilkerns **44** kann in mehreren Varianten ausgeführt werden.

[0095] Wie bei den Biegedornen aus Vollelastomer können auch die Biegedorne **4**, die einen Seilkern **44** umfassen, in ihrem vorderen Ende zur Verschleißminderung eine angesetzte Nase aufweisen.

[0096] [Fig. 7e](#)) zeigt eine Variante, in der zur besseren Eigenstabilität und zum besseren Handling ein dünnes verstellbares Gliederelementsystem **45** in den Seilkern **44** eingebracht ist. Diese Gliederkette **45** dient der Erhöhung der Eigensteifigkeit des Seilkern-Biegedorns **4** und gewährleistet damit eine unkomplizierte Bestückung jeglicher Maschinen, egal ob von vorn oder hinten. Wie der Seilkern-Biegedorn

4 aus Fig. 7d) weist auch der in Fig. 7e) gezeigte Biegedorn 4 eine Elastomerhülle 42 auf.

[0097] Die in Fig. 7f) gezeigte Variante bezieht sich auf die Gestaltung der Elastomerhülle 42', die zumindest zweigeteilt ist und entweder aus Kammersystemen oder aus einer vollumfänglichen Teilung besteht. So weist die Elastomerhülle 42' zumindest eine Kammer 46 auf, die durch Einleitung eines Druckmediums aufgeweitet und damit der Umfang des Biegedorns 4 vergrößert werden kann. Dieser Effekt dient der Verspannung des Faserverbundes und beugt ungestreckten Fasern vor.

[0098] Dabei, kann wie schon erwähnt, eine vollumfänglich geteilte Hülle, also ein doppelwandiger Schlauch, dessen durch die Doppelwandigkeit entstandene Kammer einseitig geschlossen ist, verwendet werden, oder aber eine Elastomerhülle mit mehreren Kammern. Letzteres hat den Vorteil, dass man durch die Zuführung des Druckmediums nur in bestimmte Kammern gezielt Bereiche aufblasen kann und damit an definierten Stellen die Fasern in eine definierte Richtung verstrecken kann.

[0099] Eine derart gestaltete Elastomerhülle kann auch für die Biegedornvarianten mit Gliederdorn (Fig. 7c) und dem Seilkern mit eingedrehter Gliederkette (Fig. 7e) eingesetzt werden.

[0100] Die in Fig. 7g) gezeigte Variante eines erfindungsgemäßen Biegedorns 4 besteht aus einem Elastomerschlauch 42 mit integrierter Verstärkung durch eine Schraubenfeder 47, vorzugsweise aus Metall. Dabei dient die Schraubenfeder 47 dazu, ein Einfallen des Rohres 20 während des Biegens zu verhindern. Weiterhin ist es denkbar, über diese Metallfeder 47 eine Erwärmung vorzunehmen. Die Elastomerhülle 42 dient dabei zur Einbettung des Schraubenfederkerns 45 und zur Gewährleistung einer ausreichend glatten Oberfläche. Um dem Biegedorn 4 und damit dem Rohr 20 zusätzliche Stabilität zu verleihen, kann in das hohle Innere des Biegedorns 4 ebenfalls ein Druckmedium eingebracht werden. Auch bei dieser Dornvariante ist es sinnvoll, an der Dornspitze eine Verschleiß mindernde Nase anzubringen.

[0101] Eine weiterer verwendbarer Biegedorn 4 basiert umfasst einen Schuppentorn 43', der in Fig. 7h), wie er beispielsweise von der Fa. Ludwig Weber GmbH, Prisdorf, Deutschland, vertrieben wird, skizziert ist. Bei einem solchen Schuppentorn 43 wird das Einfließen des Materials zwischen die Glieder aufgrund der Gliederform und deren Anordnung unterbunden. Ein solcher Schuppentorn 43' kann jedoch auch, wie in Fig. 7h) dargestellt, mit einer Elastomerhülle 42 versehen werden.

[0102] Zusätzlich zu den neu mit Elastomer ausgeführten Biegedornen ist vorgesehen, das gesamte Dornsystem, umfassend Biegedorn und Führungslanze, temperierbar auszuführen. Die Temperierung kann dabei über Flüssigtemperierung oder über Heizpatronen stattfinden. Mit der Flüssigtemperierung ist neben der Erwärmung auch die Kühlung des Systems möglich. Ziel der Temperierung ist es, die Erwärmung des FVK Rohres zu beschleunigen und den Wärmeverlust über Wärmeleitung möglichst gering zu halten. Temperaturen im Bereich von 80–100°C werden als zu diesem Zweck ausreichend angesehen, da es nicht vorgesehen ist, die Rohre über die Temperierung des Dornsystems komplett durchzuwärmen; das temperierbare Dornsystem dient lediglich der Unterstützung der eigentlichen Erwärmung über die IR-Strahler der Heizvorrichtung(en).

[0103] Weiter ist erfindungsgemäß vorgesehen, die Reibung der Lanze 7 in dem FVK-Rohr zu verringern. Hierzu kann die Lanze 7 mit Gleitbeschichtungen wie bspw. Teflon versehen werden. Ferner können Maßnahmen zur Reibungsminderung vorgesehen sein, mit denen die Kontaktfläche der Lanze 7 zum Rohr verringert wird. Dies kann zum Beispiel über leichte Absätze 7.1 oder Ausnehmungen 7.2 durch besondere Querschnittsformen der Lanze 7 erfolgen, siehe Fig. 13a) bis c). Bei der Lanze 7 mit Absätzen 7.1 (Fig. 13a) wird die Kontaktfläche nur durch die Absätze 7.1 gebildet, während die Ausnehmungen 7.2 in Fig. 13b) und c) die Kontaktfläche verringern.

[0104] In einer Variante mit Absätzen 7.1, die in Fig. 14 dargestellt ist, können für einfachere Austauschbarkeit bei Verschleiß der Gleitbeschichtung anstatt der Beschichtung der kompletten Lanze 7 hier wechselbare Gleitelemente 7.1 eingesetzt werden. Diese Gleitelemente 7.1 werden über Nuten an der eigentlichen Lanze 7 befestigt und stellen dann einen minimal größeren Durchmesser als der Lanzenkörper 7' bereit, der beispielsweise aus Stahl gefertigt sein kann. So liegt das FVK-Rohr nur auf den Gleitelementen 7.1 auf, die damit ein Verkleben des Kunststoffes mit der Metalllanze 7 verhindern.

[0105] Für das Handling nach dem Biegeprozess ist es vorteilhaft, die gebogenen FVK-Rohre nach Verlassen der Biegeeinheit noch punktuell zu stützen, da die Rohre trotz des vorgesehenen Abkühlvorgangs noch keine Endfestigkeit erreicht haben und daher besonders bei großen Überhängen und Schwenkwegen und den dabei auftretenden Belastungen zu Verformungen neigen würden. Diese Stützung kann, wie bereits beschrieben, über Roboter mit geeigneten Greifern erfolgen.

[0106] Wird der Biegevorgang in einen endlosen Prozess im Anschluss an die Rohrherstellung eingebunden, ist nach der Biegestufe eine Vorrichtung zum Ablängen der Rohre vorzusehen. Der Ablängprozess

kann aufgrund des ständigen Vorschubes des endlosen Rohres ebenfalls von einer Robotereinheit ausgeführt werden, die der vorgesehenen Trennstelle an dem Rohr eine Trennvorrichtung entsprechend dem Vorschub nachführt.

[0107] Die Greifeinheiten der Roboter können sowohl für den Endlosprozess als auch für das Biegen abgelängter Rohre, wie oben beschrieben, mit Innenkühlungen (vgl. [Fig. 4](#)) versehen sein. Dadurch werden die gegriffenen Rohrabschnitte zusätzlich gekühlt, was insbesondere in diesen Bereichen zu einer Versteifung führt und damit die nötige Empfindlichkeit der Robotereinheiten etwas absenkt.

[0108] Erfindungsgemäß ist die Einbindung der Umformung eines thermoplastischen FVK-Rohrs durch Biegen und gegebenenfalls Nachverformen des Querschnitts in einen kontinuierlichen Prozess möglich. In einer entsprechenden Ausführung (vgl. [Fig. 9](#)) ist die Umformung in einen kontinuierlichen Prozess auch ohne axiales Verfahren der Biegeeinheiten möglich. Die Stützung der Innenkontur erfolgt durch Integration von neuartigen Dornsystemen, mit denen die Qualität des Faserverbundes besonders im Biegebereich verbessert werden kann. Durch die Verminderung der Reibung im Lanzenbereich können Laminatverzüge durch Anhaften der Matrix vermieden werden. Für eine Optimierung der Prozesszeiten sorgen die integrierte steuerbare Erwärmung und Kühlung. Durch Verwendung der Robotertechnik kann ein hoher Automatisierungsgrad erreicht werden. Ferner kann die Eigenverformungen der Rohre durch Stützung und Fixierung der Rohre unterbunden werden. Das Rohr muss nicht rotiert werden, da die Biegeeinheit frei verformbar ist. Durch die ermöglichte gezielte partielle Erwärmung ist eine Energieeinsparung möglich. Die gegebenenfalls integrierte Nachverformungsvorrichtung ermöglicht mit ihrer verstellbaren Matrize Onlineverformung der Rohrquerschnitte.

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- DE 102005013700 B3 [[0003](#)]
- DE 20301138 U1 [[0004](#), [0048](#)]
- DE 10106741 C2 [[0005](#), [0048](#)]
- DE 102005013750 B3 [[0041](#)]

Patentansprüche

1. Verfahren zum Biegen eines thermoplastischen Faserverbundrohrs (20), umfassend die Schritte:

- lokal begrenzt Erwärmen des thermoplastischen Faserverbundrohrs (20) mit zumindest einer Heizvorrichtung (9) an zumindest einem zu biegenden Rohrabschnitt (20') bis zur Verformbarkeit,
- Entfernen der Heizvorrichtung (9) von dem zu biegenden Rohrabschnitt (20') und
- Biegen des Rohrs (20) an dem lokal erwärmten Rohrabschnitt (20') mittels einer Biegeeinheit (3), dabei innenseitig Stützen des Rohrabschnitts (20') mit einem Biegedorn (4),
- Kühlen und mechanisch Stützen des gebogenen Rohrabschnitts (20') bis zum Aushärten des Rohrabschnitts (20').

2. Verfahren nach Anspruch 1, umfassend den Schritt:

- Verformen einer Querschnittsform des Rohres (20) zumindest in dem erwärmten Abschnitt (20') während des Biegens oder nach dem Biegen mit einer Querschnittsverformungsvorrichtung (2).

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei das innenseitige Stützen mittels einer Roboter (21) geführten Greifervorrichtung (14) erfolgt und wobei bevorzugt beim Biegen des Rohrs (20) an einem zweiten Abschnitt (20') eine Ausgleichsbewegung des mechanisch gestützten gebogenen Rohrabschnitts (20') erfolgt.

4. Verfahren nach zumindest einem der Ansprüche 1 bis 3,

wobei das Biegen als Freiformbiegen oder Rotationszugbiegen oder Kompressionsbiegen erfolgt, und wobei das thermoplastische Faserverbundrohr (20)

- ein kontinuierlich hergestellter Rohrstrang (20) ist, der während des Ausführens des Verfahrens mit einer bestimmten Vorschubgeschwindigkeit (V_a) bewegt wird,

wobei das Erwärmen, Biegen, Kühlen und Stützen an dem sich mit der Vorschubgeschwindigkeit (V_a) bewegenden Abschnitt (20') erfolgt,

oder

- an einem ein abgelängtes Rohr (20) ist.

5. Biegeanlage (15) zur Ausführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 4 für ein thermoplastisches Faserverbundrohr (20),

umfassend eine Biegeeinheit (3) und eine Spanneinheit (24, 50), die relativ zueinander bewegbar sind, dadurch gekennzeichnet, dass die Biegeanlage (15)

- zumindest eine zu einem zu biegenden Abschnitt (20') des thermoplastischen Faserverbundrohrs (20) verfahrbare Heizvorrichtung (9, 9.1, 9.2, 9.3, 9.4),

- einen Biegedorn (4) zur innenseitigen Stützung des Abschnitts (20'),

– zumindest eine Kühlvorrichtung (1, 5, 6, 16) zur Kühlung des gebogenen Abschnitts (20'),

- zumindest eine der Biegeeinheit (3) nachgeordnete Stützvorrichtung (14, 21) zur Stützung des gebogenen Abschnitts (20') umfasst.

6. Biegeanlage (15) nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Biegeanlage (15) eine Verformungsvorrichtung (2) zur Änderung der Querschnittsform des Rohres (20) zumindest in dem gebogenen Abschnitt (20') umfasst, die der Biegeeinheit (3) nachgeordnet oder die in die Biegeeinheit (3) integriert ist.

7. Biegeanlage (15) nach Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, dass

der Biegedorn (4) zumindest an seiner Oberfläche aus einem elastomeren Material besteht und bevorzugt an seiner Spitze eine Nase (41), die aus einem Kunststoff, einer Keramik oder einem Metallmaterial besteht, aufweist,

wobei bevorzugt der Biegedorn (4)

- ein massiver Vollelastomer-Biegedorn (40) oder ein Biegedorn (4) aus einem Vollelastomer-Hohlrohr (40') ist, oder

– einen Gliederdorn (43) oder einen Schuppendorn (43') mit einer Elastomerhülle (42) umfasst, oder

– einen Seilkern (44) mit einer Elastomerhülle (42) umfasst, oder

– einen Seilkern (44) oder einen Gliederdorn (43) oder einen Schuppendorn (43') mit einer Elastomerhülle (42) umfasst, die zumindest eine aufweitbare Kammer (46) aufweist, oder

– eine in einen Seilkern (44) eingedrehte Gliederkette (45) und eine Elastomerhülle (42) umfasst, oder

– eine in einem Elastomerschlauch (42) eingebettete Schraubenfeder (47), die bevorzugt aus Metall ist, umfasst.

8. Biegeanlage (15) nach zumindest einem der Ansprüche 5 bis 7,

dadurch gekennzeichnet, dass

die zumindest eine Kühlvorrichtung (1, 5, 6, 16)

– eine Vorrichtung zur aktiven Außenkühlung, bevorzugt ein Kühlring (1) oder eine Wirbeldüse (1) ist, die der Biegeeinheit (3) bzw. der Verformungseinheit (2) nachgeordnet ist,

– eine Vorrichtung zur aktiven Innenkühlung, bevorzugt ein in dem FVK-Rohr (20) angeordnetes Wirbelrohr (6), von dem sich eine Zuleitung (5) durch den Biegedorn (4) erstreckt, die in den Abschnitt (20') mündet, und/oder

– eine Vorrichtung zur passiven oder teilweise aktiven Abkühlung, die bevorzugt durch eine in einer Greifervorrichtung (14) integrierte Kühlungseinrichtung, umfassend bevorzugt Kühlleitungen (16), gebildet wird, wobei die Greifervorrichtung (14) bevorzugt von ei-

nem Roboter (21) geführt wird und besonders bevorzugt die der Biegeeinheit (3) nachgeordnete Stützvorrichtung (14, 21) bereitstellt.

9. Biegeanlage (15) nach zumindest einem der Ansprüche 5 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Heizvorrichtung (9, 9.1, 9.2, 9.3, 9.4) eine Vielzahl von IR-Strahlern (29) umfasst, die in einem Gehäuse um das Rohr (20) angeordnet sind, und wobei die Heizvorrichtung (9, 9.1, 9.2, 9.3, 9.4) in einer Längsrichtung (V_a, v_2, v_b) entlang dem Rohr (20) und/oder in einer Richtung (s) senkrecht dazu verfahrbar ist, wobei eine senkrecht zu dem Rohr (20) verfahrbare Heizvorrichtung (9, 9.1, 9.2, 9.3, 9.4) ein offenes Gehäuse umfasst.

10. Fertigungsanlage für gebogene, thermoplastische Faserverbundrohre (20), umfassend eine Biegeanlage (15) nach zumindest einem der Ansprüche 5 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Biegeanlage (15) einer Herstellungsanlage (50) für die thermoplastischen, kontinuierlichen Faserverbundrohre (20) nachgeordnet ist, wobei die Herstellungsanlage (50) bevorzugt eine Pultrusionsanlage (50) oder eine Tape-Legeeinrichtung ist, und wobei die Spanneinheit durch die Herstellungsanlage (50) gebildet wird, und die Biegeanlage (15) in Bezug zu der Herstellungsanlage (50) längs der durch den Herstellungsprozess bedingten Vorschubgeschwindigkeit (V_a) des Rohres (20) verfahrbar ist.

Es folgen 17 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

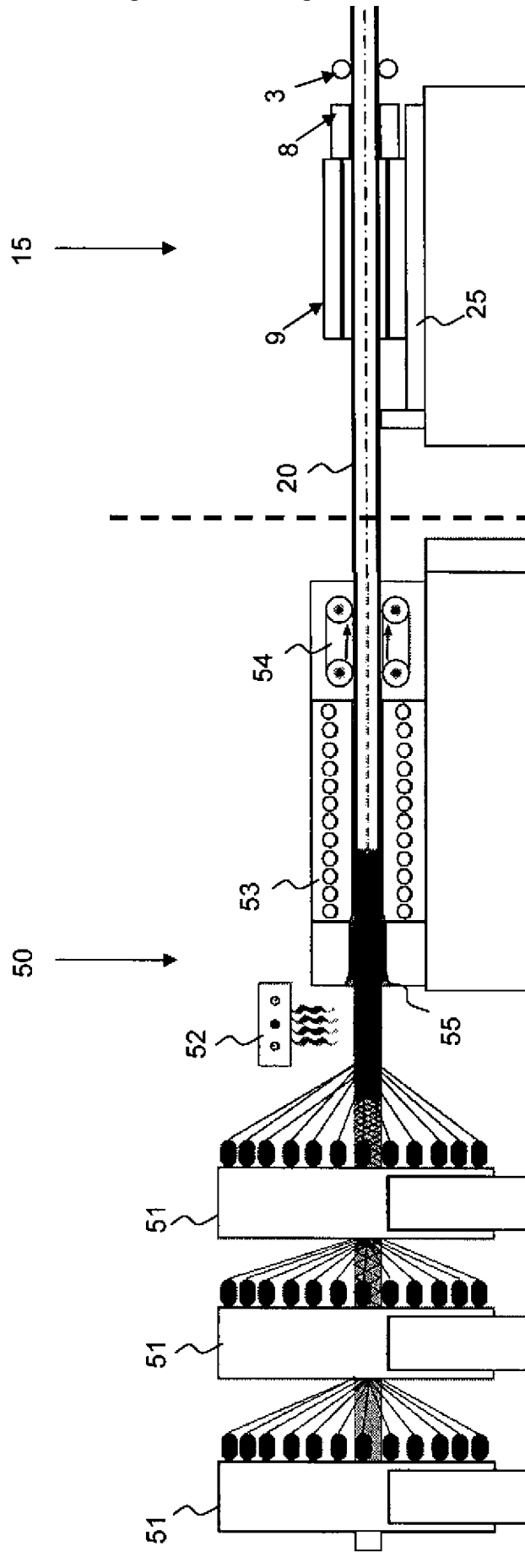


Fig. 1

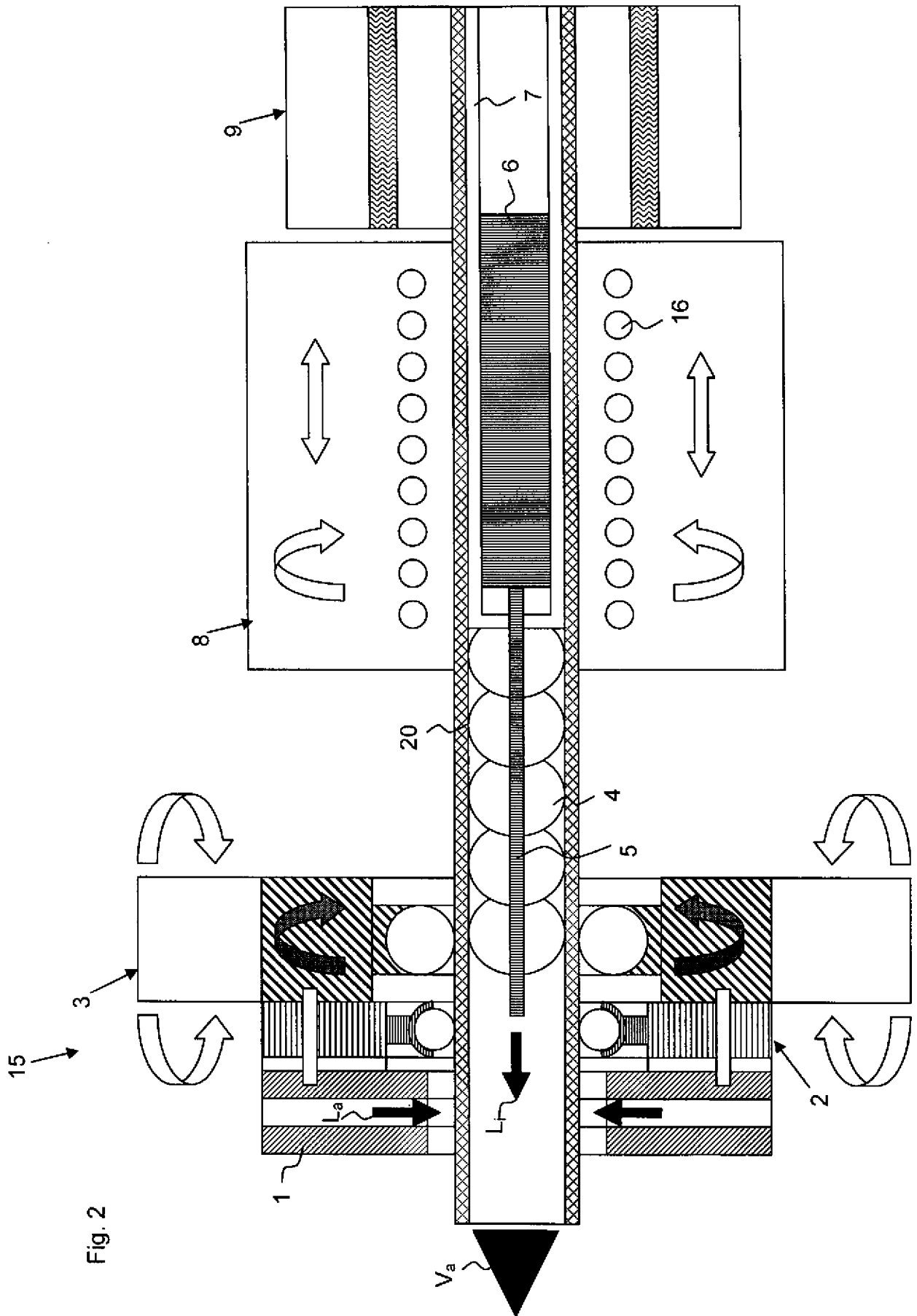


Fig. 2

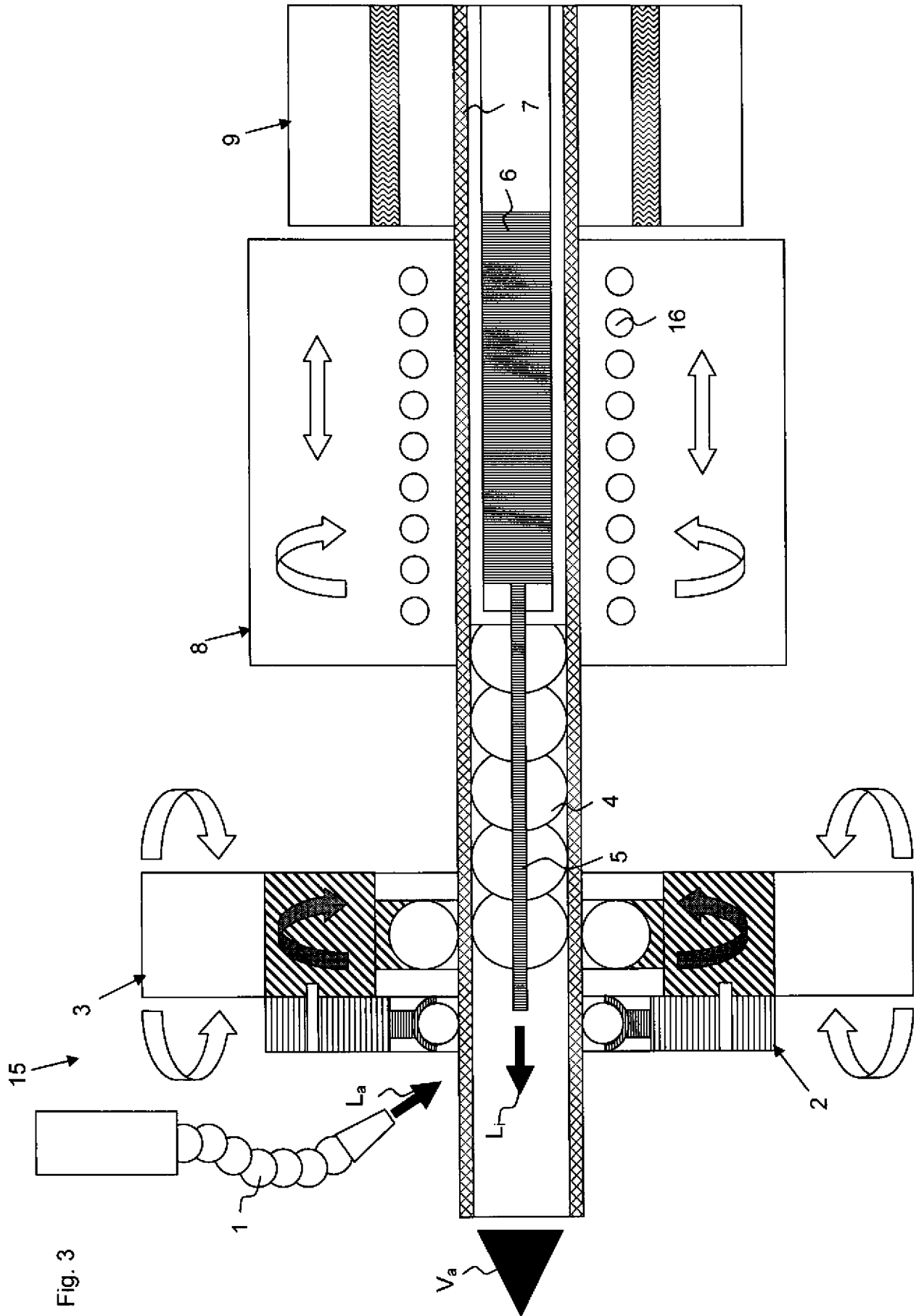


Fig. 3

Fig. 4

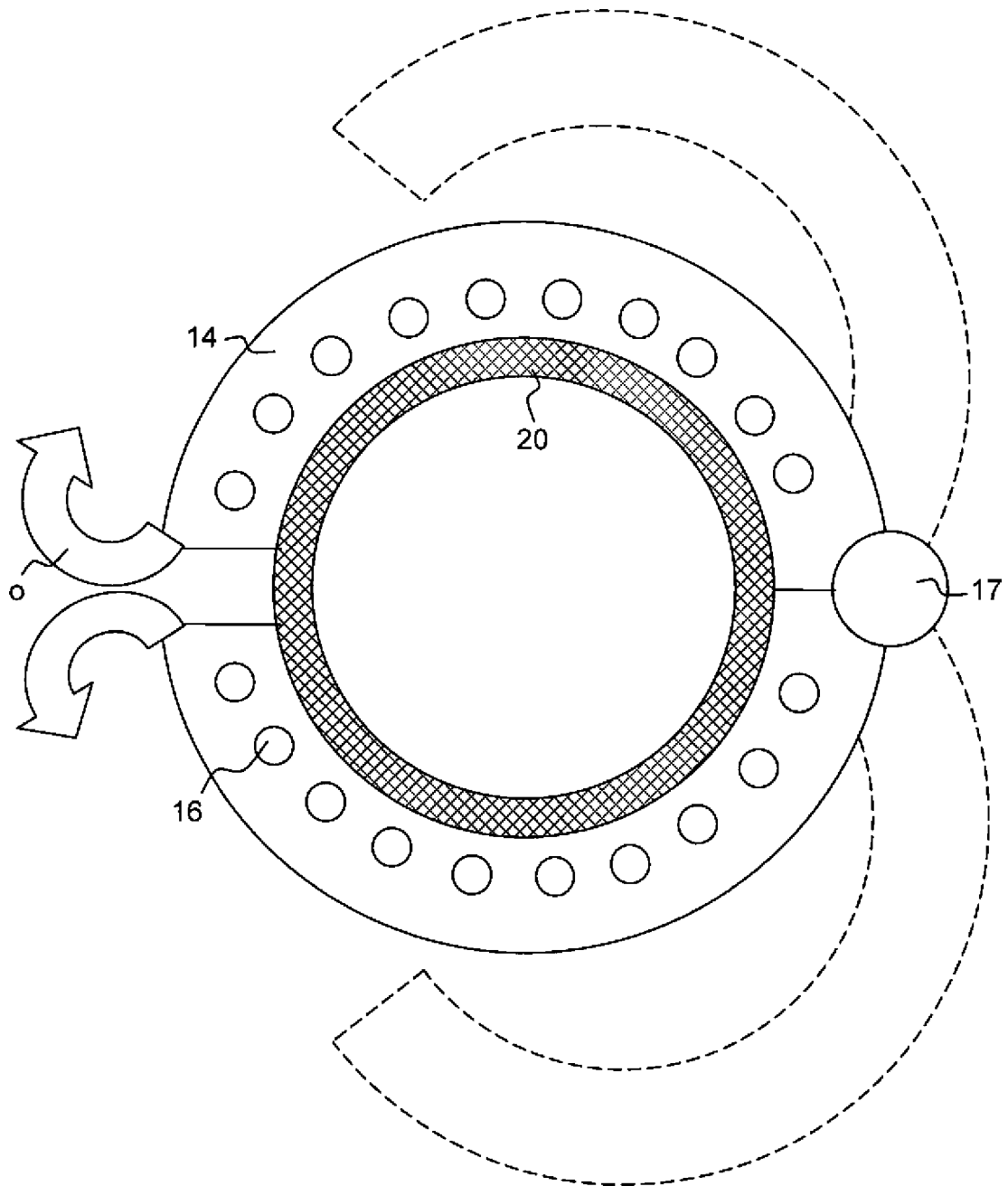


Fig. 5a

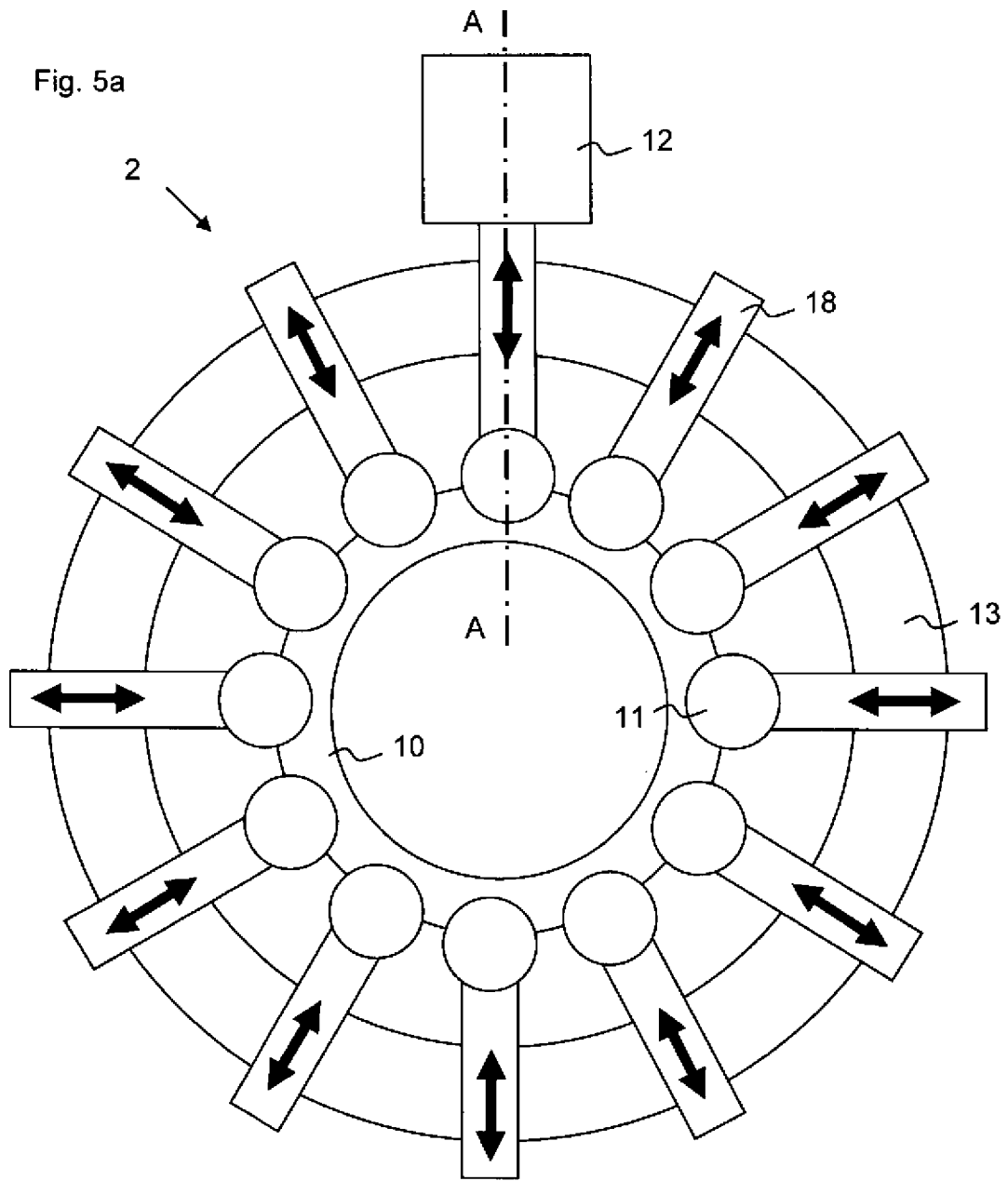
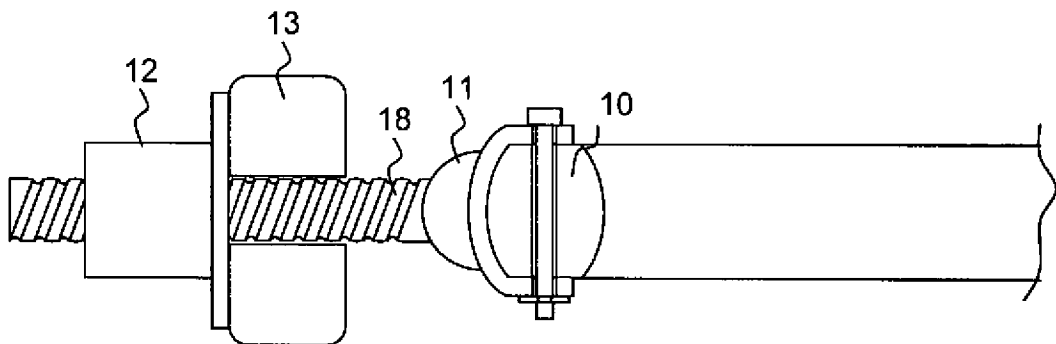


Fig. 5b



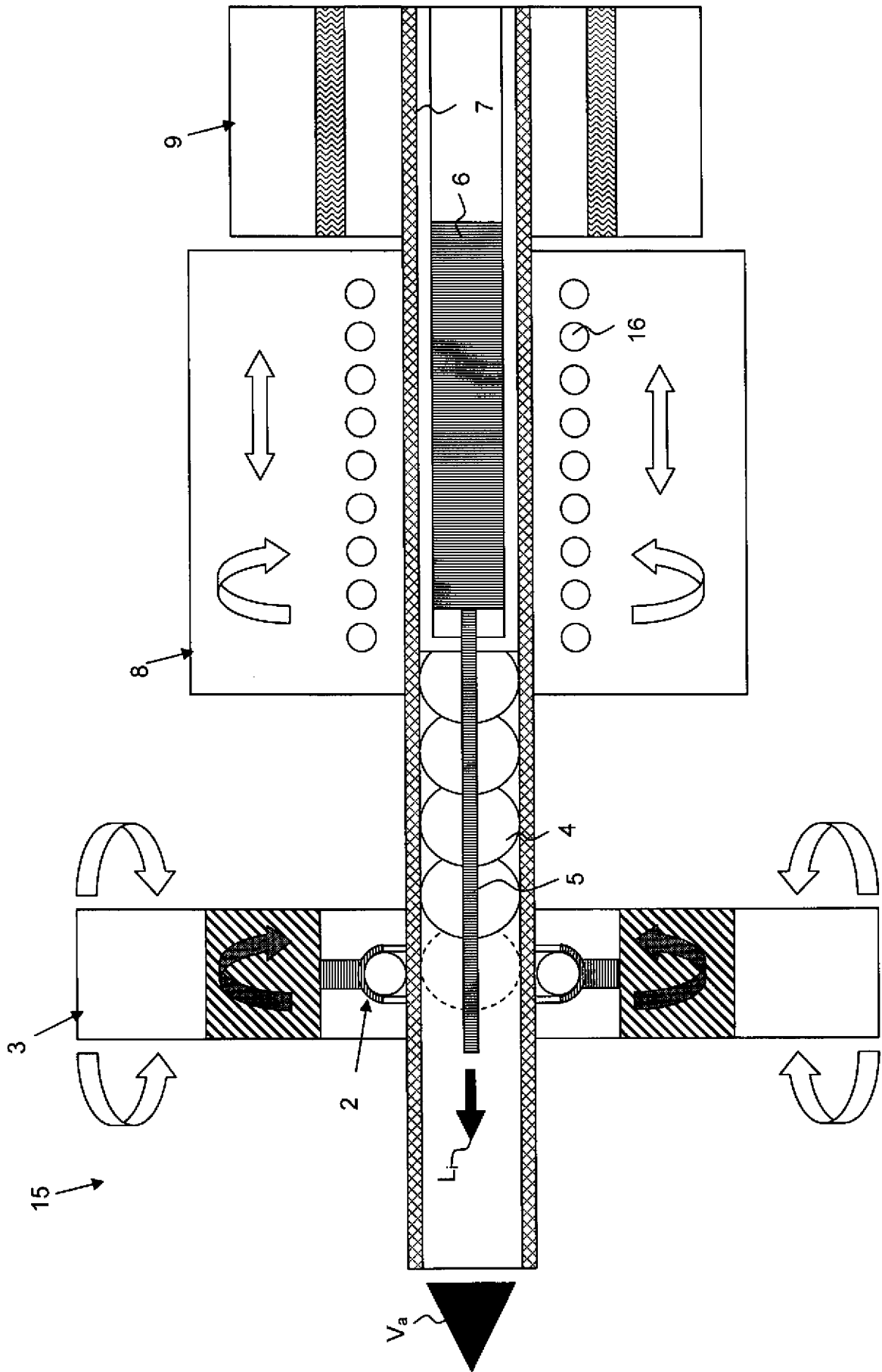
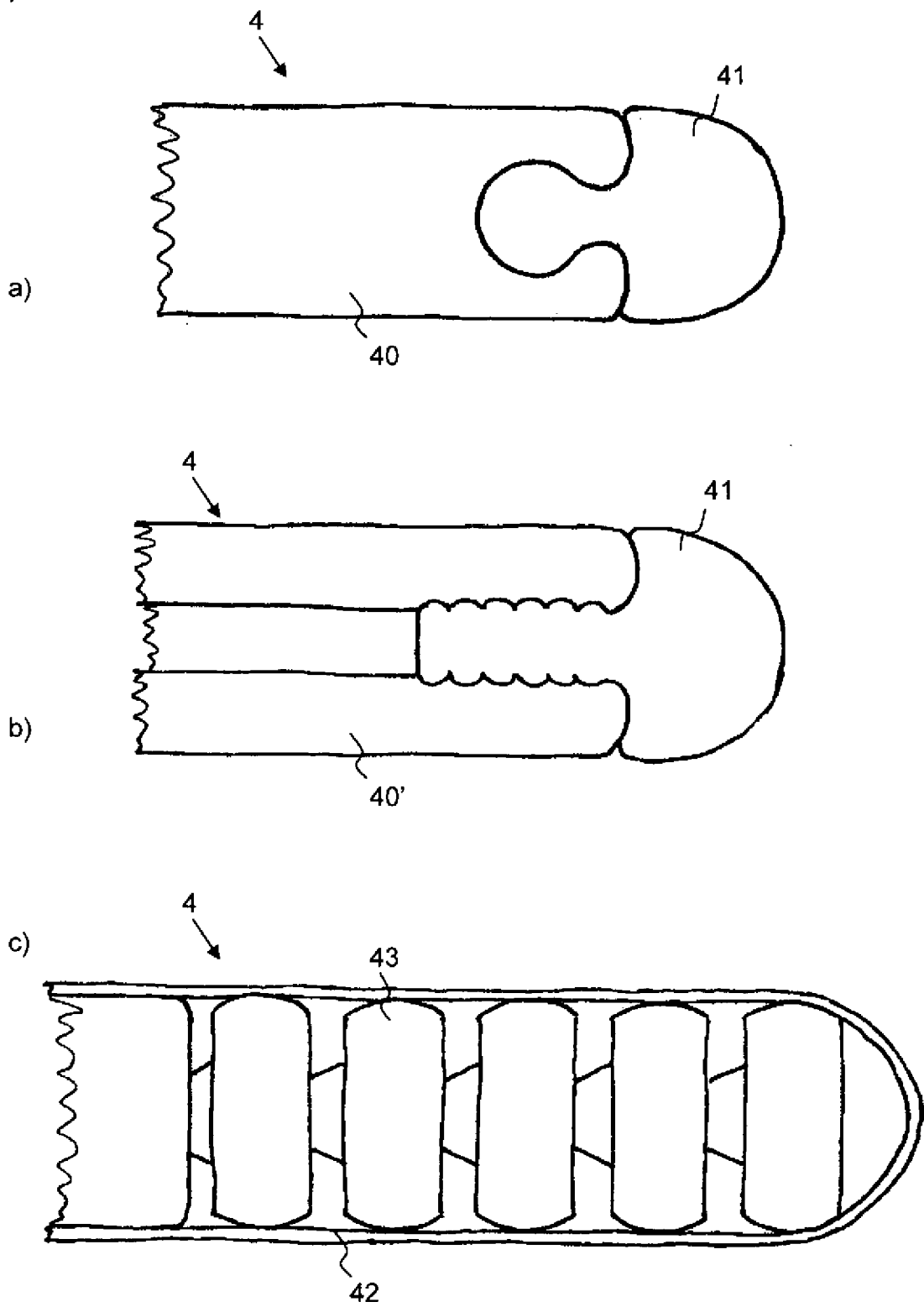
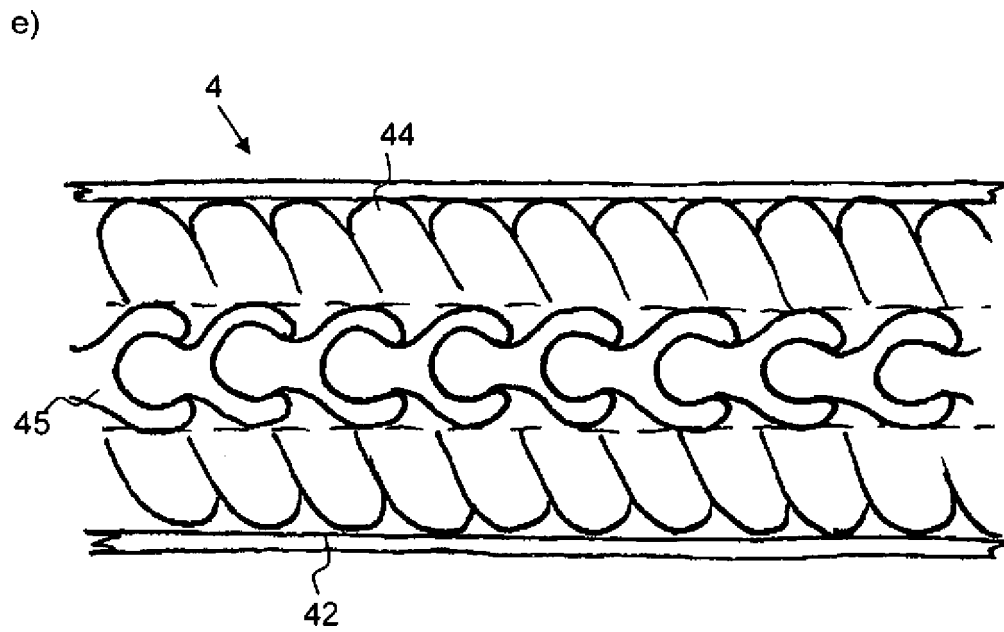
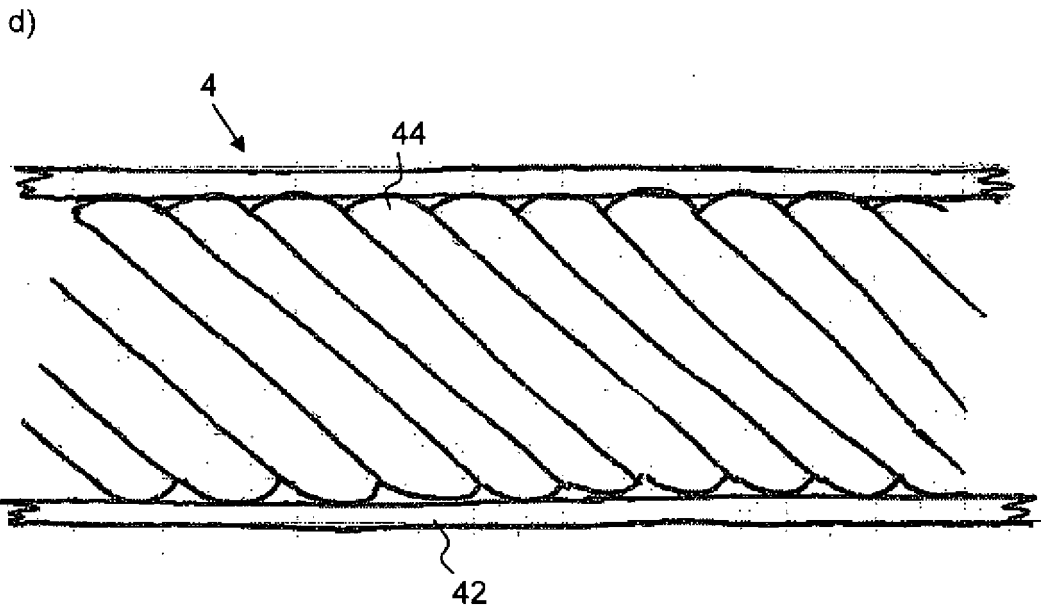


Fig. 6

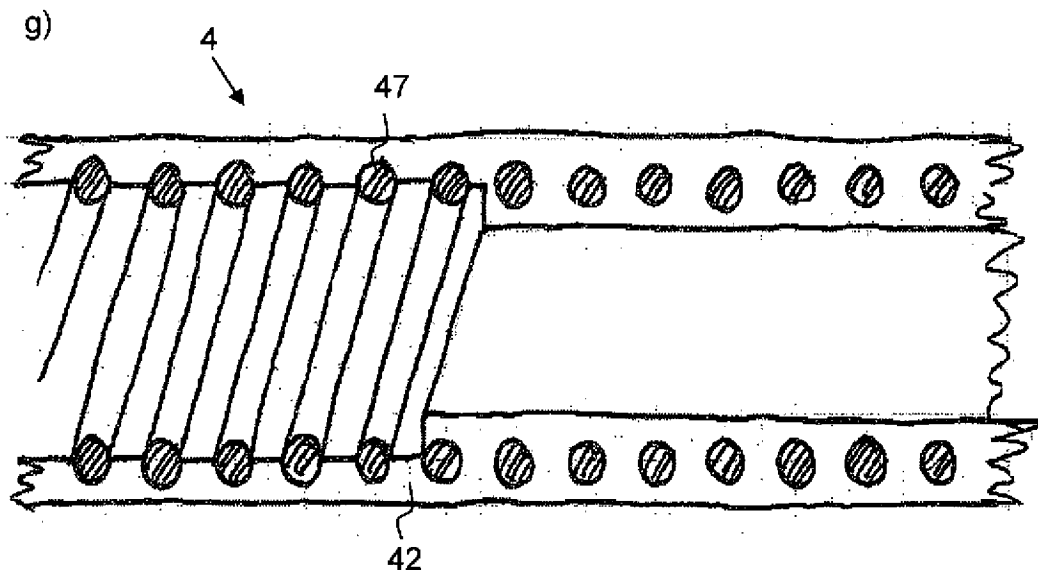
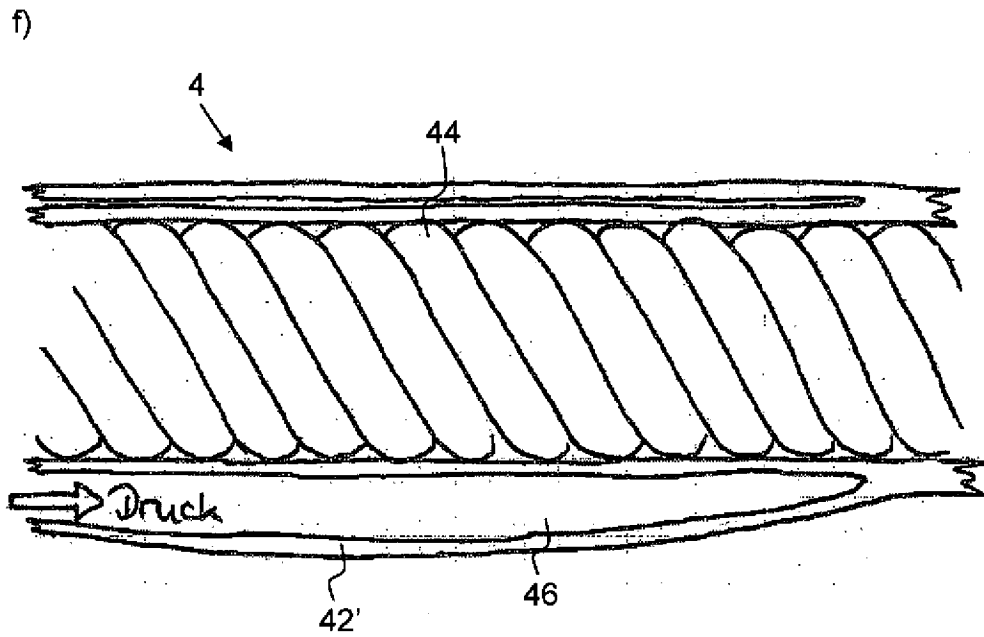
Fig. 7



Noch Fig. 7



Noch Fig. 7



Noch Fig. 7

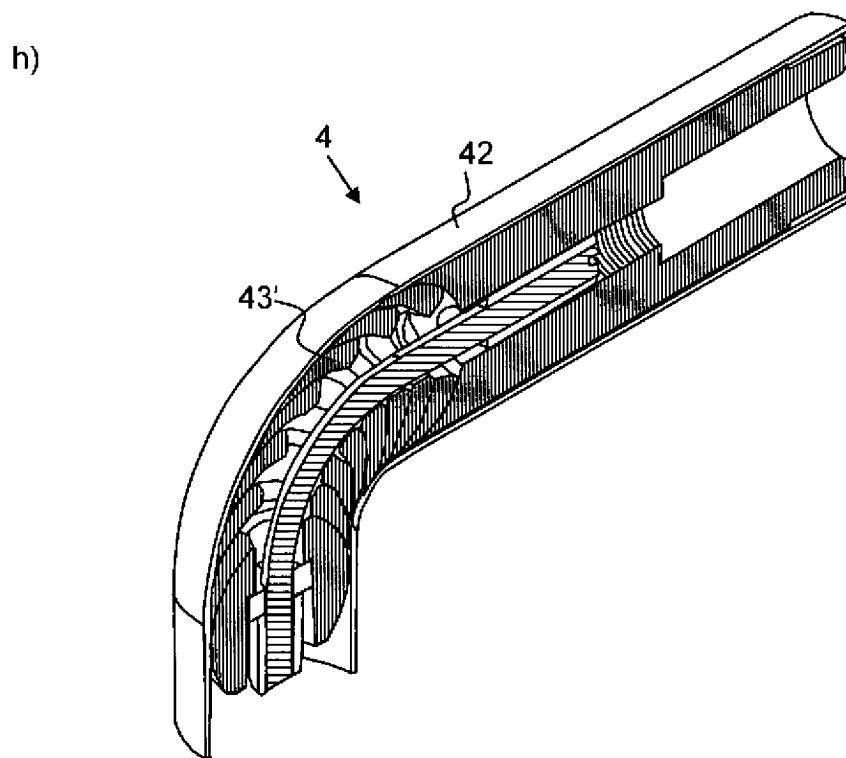
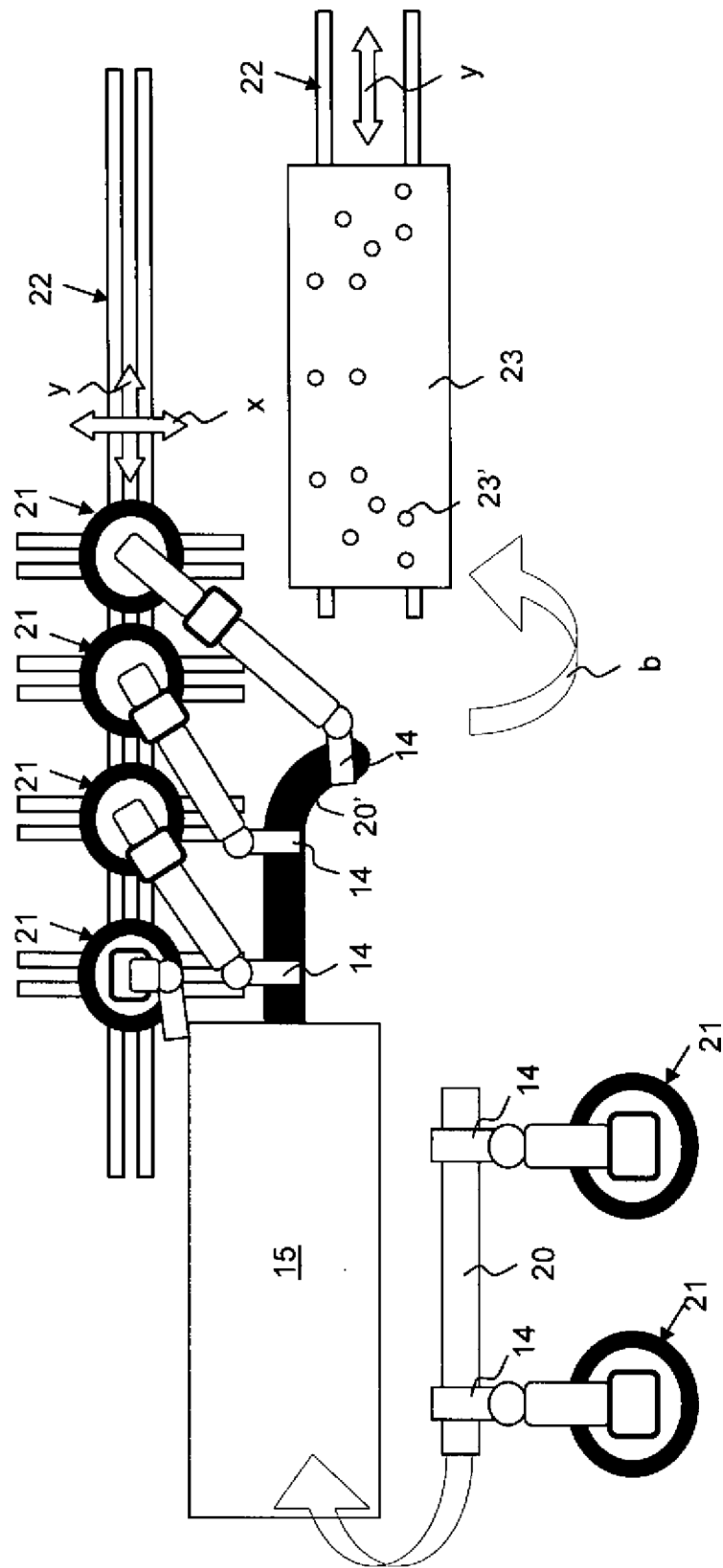
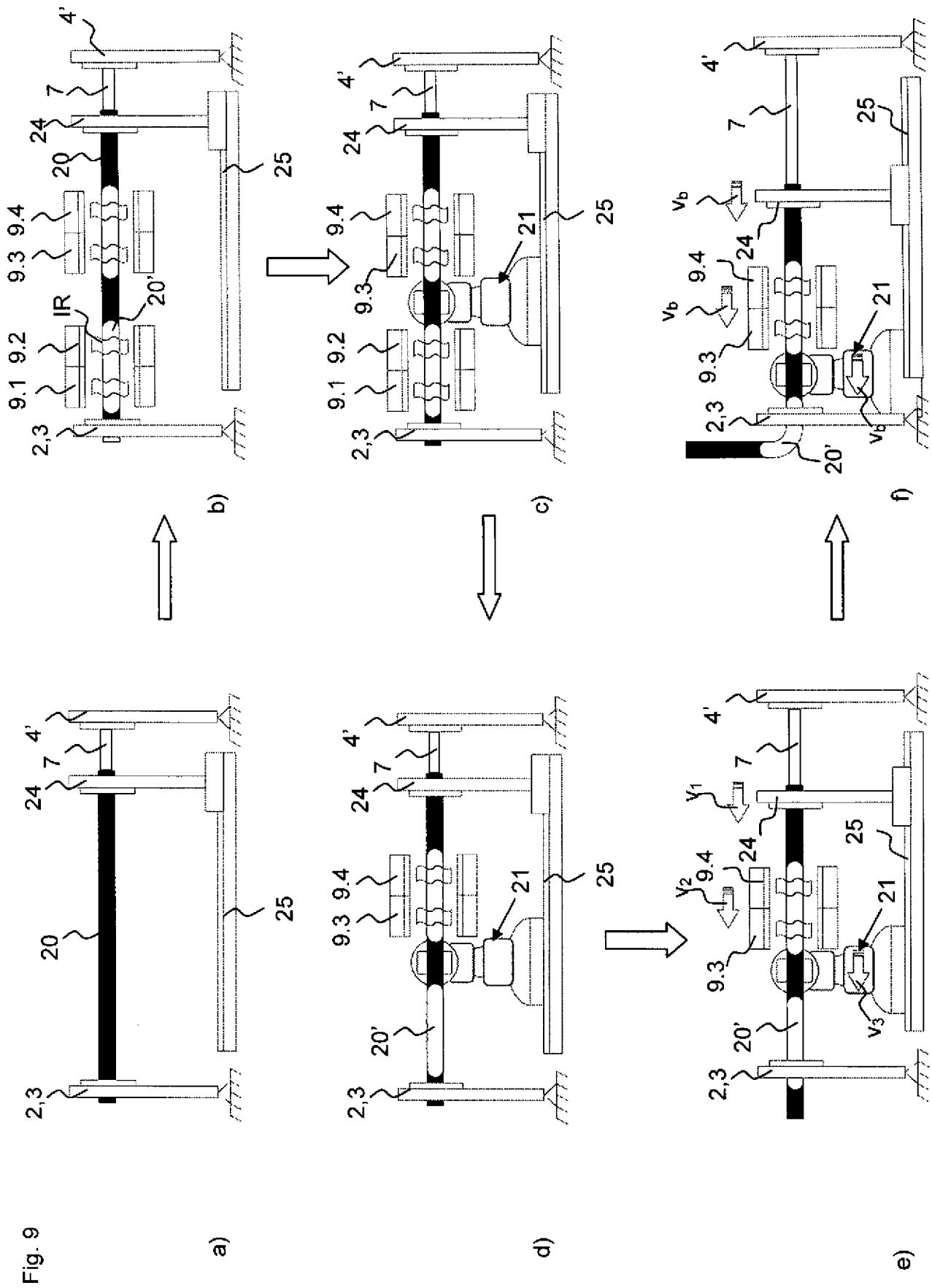


Fig. 8





Noch Fig. 9

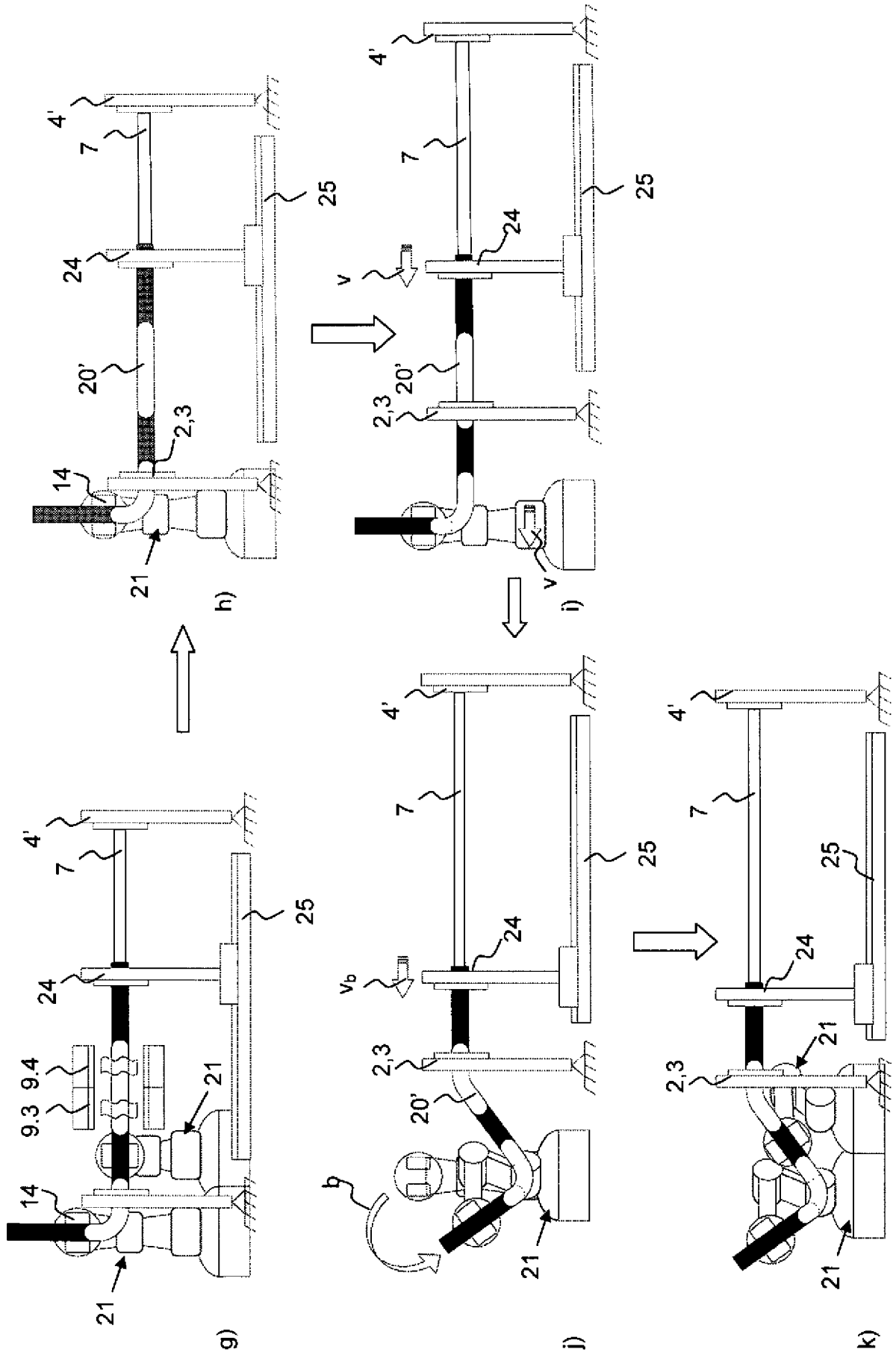
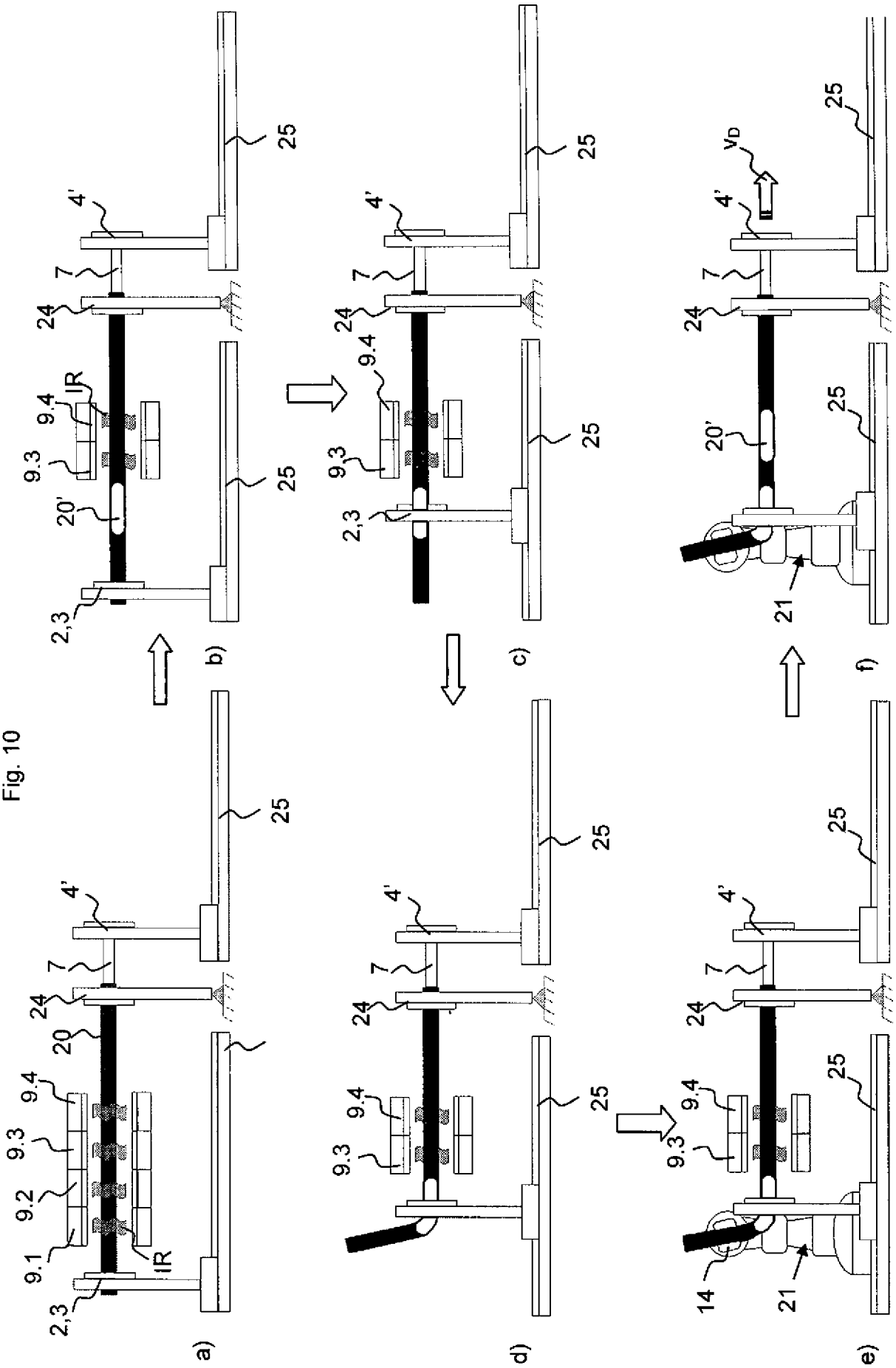


Fig. 10



Noch Fig. 10

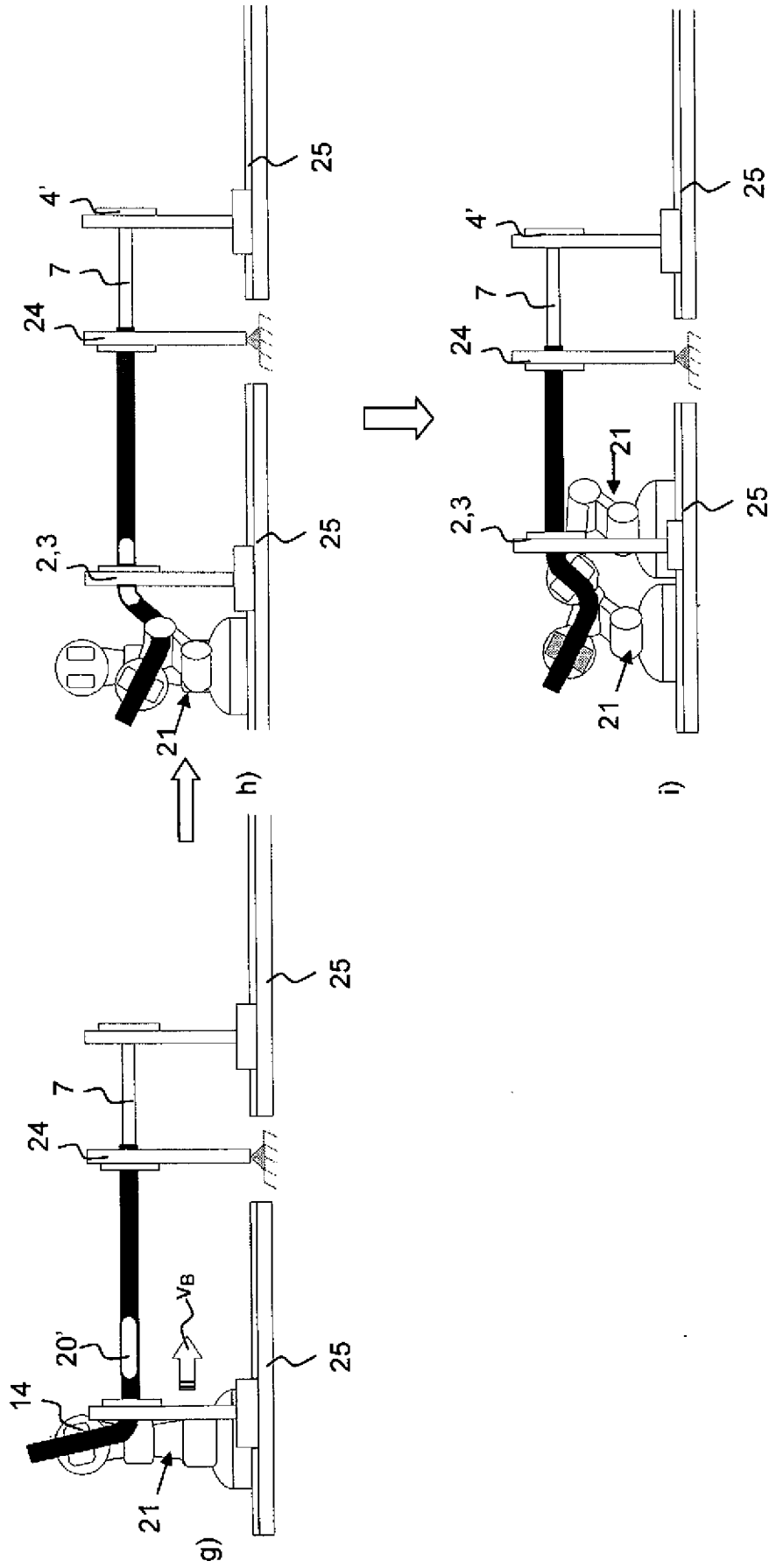


Fig. 11

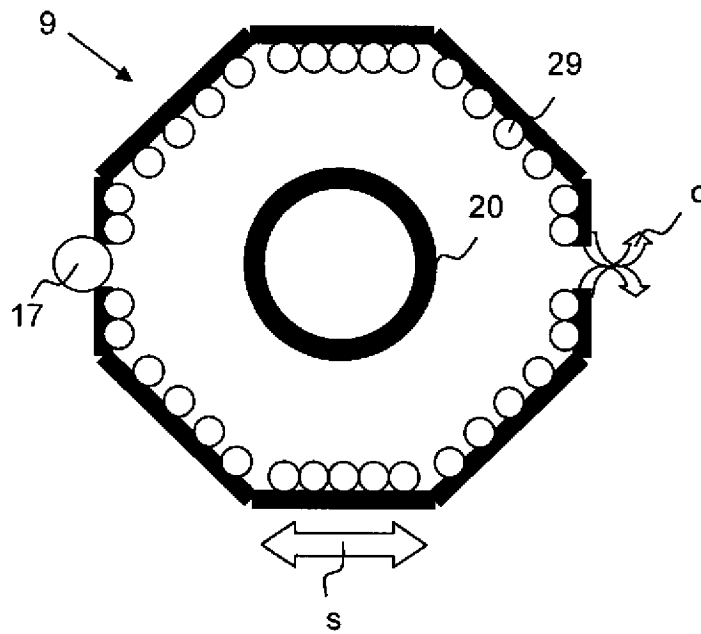


Fig. 12

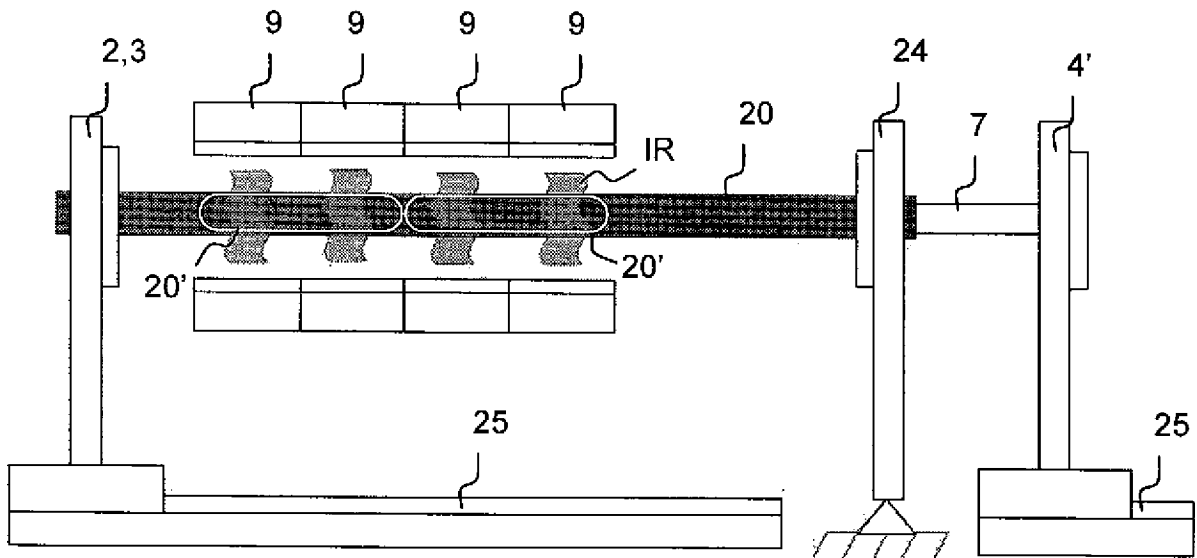


Fig. 13

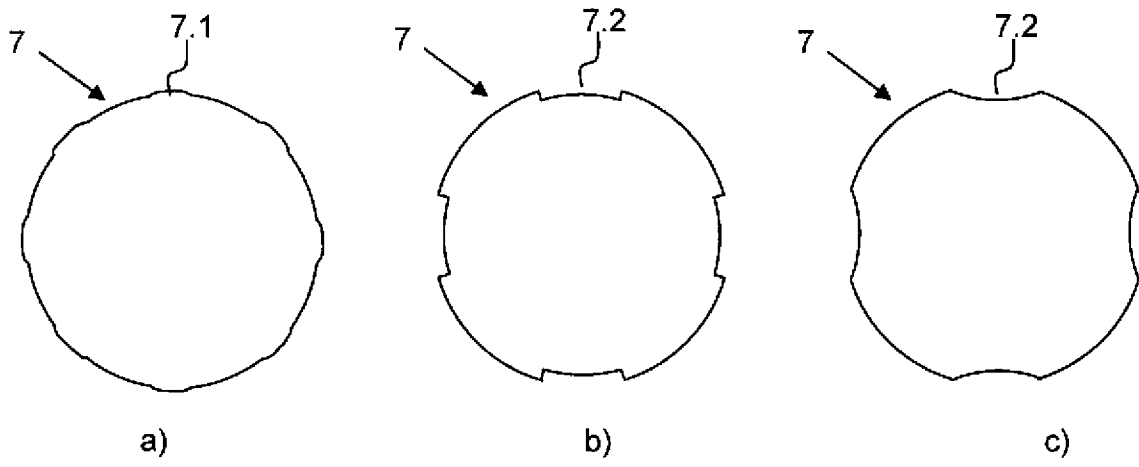


Fig. 14

