



(10) **DE 11 2014 001 333 T5** 2015.11.26

(12)

## Veröffentlichung

der internationalen Anmeldung mit der  
(87) Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2014/164501**  
in deutscher Übersetzung (Art. III § 8 Abs. 2 IntPatÜG)  
(21) Deutsches Aktenzeichen: **11 2014 001 333.1**  
(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US2014/022615**  
(86) PCT-Anmeldetag: **10.03.2014**  
(87) PCT-Veröffentlichungstag: **09.10.2014**  
(43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung  
in deutscher Übersetzung: **26.11.2015**

(51) Int Cl.: **B23K 20/12 (2006.01)**  
**F28F 9/18 (2006.01)**

(30) Unionspriorität:

<b>61/777,438</b>	<b>12.03.2013</b>	<b>US</b>
<b>14/202,636</b>	<b>10.03.2014</b>	<b>US</b>

(71) Anmelder:

**Lockheed Martin Corporation, Bethesda, Md., US**

(74) Vertreter:

**Tergau & Walkenhorst Patentanwälte PartGmbB,  
60322 Frankfurt, DE**

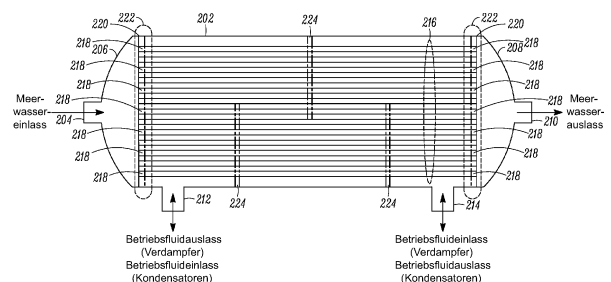
(72) Erfinder:

**Eller, Michael R., New Orleans, La., US; Maurer,  
Scott M., Haymarket, Va., US; Nagurny, Nicholas  
J., Manassas, Va., US; Beckner, Derek M.,  
Manassas Park, Va., US; Owen, Trevor J., Vienna,  
Va., US**

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

(54) Bezeichnung: **Rührreisschweißverfahren an Rohrendenfugen und ein dadurch gefertigtes Produkt**

(57) Zusammenfassung: Verfahren zur Fertigung von Röhren-Wärmetauschern, bei dem die Enden der Rohre an einer Rohrwand befestigt sind, während sie auf beim FSW-Verfahren aufgebrauchte Kräfte reagieren, ohne einen Riss oder eine örtliche Verformung in der Nähe der Enden der Rohre zu verursachen. Insbesondere wird eine Presspassung verwendet, um die Enden der Rohre in der Rohrwand zu blockieren, ohne die Rohrenden aufzudornen oder aufzuweiten. Dann wird ein FSW-Verfahren angewandt, um die Enden der Rohre an die Rohrwand zu schweißen.



**Beschreibung****Bereich**

**[0001]** Diese Offenlegung betrifft Rührreibschweißen an Wärmetauschern, wie zum Beispiel Röhren-Wärmetauschern.

**Hintergrund**

**[0002]** Rührreibgeschweißte (FSW) Röhren-Wärmetauscher wurden für maritime Anwendungen, wie zum Beispiel Meereswärmeenergieumwandlung, thermische Meerwasserentsalzung und andere Verfahren bei relativ niedrigen Temperaturen entwickelt. Außerdem wird das FSW-Verfahren bei anderen Wärmetauschern verwendet, die bei höheren Temperaturen und Drücken arbeiten. Bei dem für Röhren-Wärmetauscher angewandten FSW-Verfahren wird ein Festkörperschweißverfahren oder Rührverfahren eingesetzt, bei dem die Enden von Rohrwänden in das umgebende Rohrwandmaterial "eingerührt" werden, ohne unterschiedliche Metalle einzuführen und ohne nachteilige Auswirkungen auf die Kornstruktur des Metalls.

**[0003]** Im Wärmetauscher werden die Rohre in Rohrwände an beiden Enden des Rohrbündels eingeführt, ähnlich wie bei herkömmlichen Röhren-Wärmetauscher-Konstruktionen. Die Enden der Rohre werden normalerweise vor dem FSW-Verfahren aufgedornt. Diese Aufdornung oder Aufweitung des Rohrendes ermöglicht es, dass die Rohre an ihrem Platz bleiben, während sie auf die beim FSW-Verfahren aufgebrachten Kräfte reagieren.

**[0004]** Das FSW-Verfahren beseitigt Risse, die normalerweise zwischen mechanisch gewalzten Rohrenden und dem umgebenden Rohrwandmaterial vorhanden sind. Die Beseitigung von Rissen ist wünschenswert, um einen Wärmetauscher zu erhalten, der lange Zeit in einer korrosiven Meerwasserumgebung betrieben werden kann. Das Verfahren der Aufdornung oder Aufweitung der Enden der Rohre kann jedoch manchmal einen unerwünschten Riss oder einen örtlich verformten Bereich verursachen, der insbesondere in einer Meerwasserumgebung eine Stelle für bevorzugte Risskorrosion werden kann.

**Zusammenfassung**

**[0005]** Diese Beschreibung beschreibt eine Fertigungsmethode für Röhren-Wärmetauscher, bei der die Enden der Rohre an einer Rohrwand befestigt sind, während sie auf die aufgebrachten FSW-Kräfte reagieren, ohne einen Riss oder eine örtliche Verformung in der Nähe der Enden der Rohre zu verursachen. Insbesondere wird eine Presspassung verwendet, um die Enden der Rohre in der Rohrwand zu blockieren, ohne die Rohrenden aufzudornen oder auf-

zuweiten. Dann wird ein FSW-Verfahren angewandt, um die Enden der Rohre an die Rohrwand zu schweißen.

**[0006]** Die Rohre und die Rohrwände können aus jeglichen Metallen gefertigt sein, die üblicherweise in Röhren-Wärmetauscher-Baugruppen verwendet werden, einschließlich, ohne jedoch darauf beschränkt zu sein, Aluminium, Kohlenstoffstahl, Edelstahl, Titan, Kupfer oder anderer Metalle und ihrer Legierungen.

**[0007]** Die Presspassung kann auf jede geeignete Art und Weise, die ein Aufdornen oder Aufweiten der Rohrenden vermeidet, erzielt werden. In einer Ausführungsform kann eine örtliche Verformung der Oberflächen der Rohrenden oder der Rohrwand und ein Kaltverschweißen zwischen benachbarten Flächen ausreichenden Halt bieten, um zu verhindern, dass sich die montierten Rohrenden durch eine beim FSW-Verfahren auftretende große axial aufgebrachte Kraft verschieben.

**[0008]** Ein Beispiel für eine örtliche Verformung ist eine gerändelte Rohraußenfläche an den Rohrenden. Weitere Beispiele für die Erzielung einer Presspassung sind, ohne jedoch darauf beschränkt zu sein, die Verwendung von Rohren mit äußeren Merkmalen, wie zum Beispiel Riffelungen und Ausführungen mit niedrigen Rippen, oder Rohre mit erhabenen äußeren Merkmalen, die bei der Installation verformt werden, um die Rohrenden in einer Presspassung wirksam an ihrem Platz zu fixieren.

**[0009]** In einer Ausführungsform beinhaltet ein Verfahren zum Anschluss eines Rohres an eine Rohrwand das Einführen eines Endes des Rohres in ein Loch in der Rohrwand mit einer Presspassung zwischen Rohrende und Rohrwand, welche das Rohrende in der Rohrwand blockiert, ohne das der Rohrwand benachbarte Ende des Rohres aufzudornen oder aufzuweiten. Anschließend wird das Rohrende an die Rohrwand rührreibgeschweißt.

**[0010]** In einer weiteren Ausführungsform umfasst ein Wärmetauscher eine erste Rohrwand mit mehreren Löchern, einer Innenseite und einer Außenseite. Eine Mehrzahl von Rohren hat erste Enden, die mit einer Presspassung zwischen dem jeweiligen ersten Ende und der jeweiligen ersten Rohrwand in einem entsprechenden Loch der Löcher in der ersten Rohrwand angeordnet werden, und das erste Ende des jeweiligen Rohres ist nicht aufgedornt oder aufgeweitet. Das erste Ende des jeweiligen Rohres wird an der Außenseite der ersten Rohrwand an die erste Rohrwand rührreibgeschweißt.

## Zeichnungen

**[0011]** Fig. 1 ist eine schematische Darstellung der Anordnung eines herkömmlichen OTEC-Energieerzeugungssystems, in dem eine Ausführungsform des beschriebenen Wärmetauschers eingesetzt werden kann.

**[0012]** Fig. 2 ist eine Querschnittsansicht eines Röhren-Wärmetauschers gemäß einer hier beschriebenen Ausführungsform.

**[0013]** Fig. 3A ist eine stirnseitige Ansicht einer der Rohrwände des Wärmetauschers von Fig. 2.

**[0014]** Fig. 3B ist eine Nahansicht des Bereichs A-A von Fig. 3A.

**[0015]** Fig. 4 zeigt eines der Rohre gemäß eines Ausführungsbeispiels.

**[0016]** Fig. 5 zeigt das Ende eines Rohres, das ein Ausführungsbeispiel für die Herstellung einer Presspassung darstellt.

**[0017]** Fig. 6 zeigt das Ende eines Rohres, das ein weiteres Ausführungsbeispiel für die Herstellung einer Presspassung darstellt.

**[0018]** Fig. 7 zeigt in einer Querschnittsansicht Details der Fuge zwischen einem der Rohre und der Rohrwand vor dem FSW-Verfahren.

**[0019]** Fig. 8 zeigt ein weiteres Ausführungsbeispiel für die Herstellung einer Presspassung.

**[0020]** Fig. 9A und Fig. 9B zeigen die Ausführungsform von Fig. 8 in Verwendung mit den in Fig. 5 bzw. Fig. 6 gezeigten Rohren.

**[0021]** Fig. 10 ist eine Querschnittsansicht durch eines der Löcher in einer Rohrwand, die die Ausführungsform von Fig. 8 im Loch der Rohrwand montiert darstellt.

## Ausführliche Beschreibung

**[0022]** Diese Beschreibung beschreibt eine Fertigungsmethode für Röhren-Wärmetauscher, bei der vor dem Rührreißschweißen der Rohre an die Rohrwand eine Presspassung angewandt wird, um die Enden der Rohre ohne Aufdornen oder Aufweiten der Rohrenden in der Rohrwand zu blockieren. Anschließend wird ein FSW-Verfahren eingesetzt, um die Enden der Rohre an die Rohrwand zu schweißen.

**[0023]** Der so entstehende Röhren-Wärmetauscher kann für jegliche Wärmetauschanwendung, sei es an Land oder auf dem oder im Wasser, verwendet werden. Der beschriebene Röhren-Wärmetauscher bie-

tet jedoch besondere Vorteile in einer Salzwasserumgebung, da der Röhren-Wärmetauscher Risse oder örtliche Verformungen in der Nähe der Enden der Rohre, die Stellen für bevorzugte Risskorrosion bilden können, vermeidet.

**[0024]** Zur besseren Erklärung des erfinderischen Konzepts wird im Folgenden eine spezielle Anwendung des Röhren-Wärmetauschers in einem OTEC-System beschrieben. Es versteht sich jedoch, dass der Röhren-Wärmetauscher nicht auf die Verwendung in einem OTEC-System beschränkt ist, sondern vielmehr für jedwede Wärmetauschanwendung eingesetzt werden kann.

**[0025]** Außerdem sind die erfinderischen Konzepte nicht auf die Verwendung in einem Röhren-Wärmetauscher beschränkt, sondern können vielmehr für jegliche Wärmetauschanwendung eingesetzt werden, bei der es wünschenswert ist, ein Rohr unter Verwendung von FSW an eine Tragstruktur anzuschließen, einschließlich, ohne jedoch darauf beschränkt zu sein, in einer Art und Weise, die Risse oder örtliche Verformungen in der Nähe der Enden der Rohre, die Stellen für bevorzugte Risskorrosion bilden können, vermeidet. Deshalb umfasst der Begriff "Rohrwand", wie er hier und in den Ansprüchen verwendet wird, im weiten Sinne jegliche Tragstruktur, an der ein Rohr befestigt werden soll, sofern nichts Gegenteiliges angegeben ist.

**[0026]** Fig. 1 ist eine schematische Darstellung der Anordnung eines herkömmlichen OTEC-Energieerzeugungssystems **100**. Die gesamte Konstruktion und der Betrieb eines OTEC-Systems sind dem Durchschnittsfachmann wohlbekannt. Das OTEC-System **100** kann in jeglicher geeigneten Wassermasse, wie zum Beispiel einem Ozean, Meer, Salz- oder Süßwassersee usw., eingesetzt werden.

**[0027]** In dieser Ausführungsform umfasst das System **100** eine Offshore-Plattform **102**, einen Turbogenerator **104**, eine Leitung **106** mit geschlossenem Kreislauf, einen Verdampfer **110-1**, einen Kondensator **110-2**, einen Tragkörper **112**, eine Mehrzahl von Pumpen **114**, **116** und **124**, sowie die Fluidleitungen **120**, **122**, **128**, und **130**. Die Leitung **106** mit geschlossenem Kreislauf ist eine Leitung zur Förderung von Betriebsfluid **108** durch den Verdampfer **110-1**, den Kondensator **110-2** und den Turbogenerator **104**.

**[0028]** Die Verdampfer **110-1** kann ein Röhren-Wärmetauscher sein, der so konfiguriert ist, dass er Wärme von warmem Meerwasser im Oberflächenbereich an das Betriebsfluid **108** überträgt und dadurch bewirkt, dass das Betriebsfluid verdampft.

**[0029]** Die Kondensator **110-2** kann ebenfalls ein Röhren-Wärmetauscher sein, der so konfiguriert ist, dass er Wärme vom verdampften Betriebsfluid **108**

an kaltes Meerwasser aus dem Tiefwasserbereich überträgt und dadurch bewirkt, dass das verdampfte Betriebsfluid **108** wieder in die flüssige Form kondensiert.

**[0030]** Fig. 2 zeigt einen Röhren-Wärmetauscher **110**, der für den Verdampfer **110-1** und/oder den Kondensator **110-2** verwendet werden kann. In diesem Beispiel umfasst der Wärmetauscher **110** eine Ummantelung **202**, einen ersten Fluideinlass **204**, einen Einlassverteiler **206**, einen Auslassverteiler **208**, einen ersten Fluidauslass **210**, eine sekundäre Fluidöffnung **212**, eine sekundäre Fluidöffnung **214**, Rohre **216**, die ein Rohrbündel bilden, eine erste und eine zweite Rohrwand **220** und Ablenkscheiben **224**. Der Durchschnittsfachmann versteht, dass der Wärmetauscher **110** einen Wärmeaustausch zwischen einem durch die Rohre **216** fließenden ersten Fluid und einem durch die Ummantelung **202** über die Außenfläche eines jeden Rohres **216** fließenden sekundären Fluids bewirkt. In einer Ausführungsform sind der erste Fluideinlass **204** und der erste Fluidauslass **210** für Meerwasser, das durch die Rohre **216** fließt, bestimmt. Im Falle von Verdampfern kann die Fluidöffnung **212** eine Auslassöffnung für Betriebsfluid sein, während die Fluidöffnung **214** eine Einlassöffnung für das Betriebsfluid sein kann. Im Falle von Kondensatoren kann die Fluidöffnung **212** eine Einlassöffnung für Betriebsfluid sein, während die Fluidöffnung **214** eine Auslassöffnung für das Betriebsfluid sein kann.

**[0031]** Weitere Daten zur Konstruktion des Wärmetauschers **110** sind im US-Patent 8,439,250 offengelegt, das durch diese Erwähnung vollständig hierin aufgenommen wird.

**[0032]** Mit Bezug auf Fig. 3A und Fig. 3B ist jede der Rohrwände **220** eine mechanisch starre Platte, die eine Mehrzahl von Löchern **218** aufweist, welche sich von einer der inneren Kammer des Wärmetauschers **110** zugewandten inneren Seitenfläche **222** (Fig. 7) bis zu einer dem jeweiligen Verteiler **206**, **208** zugewandten äußeren Seitenfläche **223** (Fig. 7) durch die Rohrwand **220** hindurch erstrecken. Jedes Loch **218** ist als kreisförmiges Loch mit einem Durchmesser D1 dargestellt. Ebenso sind die Rohrwände **220** kreisförmig dargestellt, sie können jedoch jegliche für die Verwendung in einem Wärmetauscher geeignete Form haben.

**[0033]** Fig. 4 zeigt ein Beispiel für eines der Rohre **216**. Jedes Rohr **216** hat ein erstes Ende **230** und ein zweites Ende **232**, einen mittigen Fluiddurchgang **234** und eine Länge L zwischen dem ersten Ende und dem zweiten Ende. Im dargestellten Beispiel haben die Rohre **216** eine zylindrische Form und einen Innendurchmesser ID1 und einen Außendurchmesser OD1. Die Rohre **216** und die Löcher **218** in den Rohrwänden **220** können jedoch jegliche komplementäre

Formen, wie zum Beispiel rechteckig oder dreieckig, haben.

**[0034]** Die Rohre **216** und die Rohrwände **222** können aus jeglichen Metallen gefertigt sein, die üblicherweise in Röhren-Wärmetauscher-Baugruppen verwendet werden, einschließlich, ohne jedoch darauf beschränkt zu sein, Aluminium, Kohlenstoffstahl, Edelstahl, Titan, Kupfer oder anderer Metalle und ihrer Legierungen.

**[0035]** Die Enden **230**, **232** der Rohre **216** werden unter Anwendung eines FSW-Verfahrens an den Löchern **218** an die Rohrwände **220** gefügt. FSW ist ein allgemein bekanntes Verfahren zum Fügen zweier Elemente aus dem selben Material oder unterschiedlichen Materialien. FSW setzt eine rotierende Sonde ein, die in die Schnittstelle zwischen den beiden Elementen gezwungen wird. Die enorme Reibung zwischen Sonde und Material führt dazu, dass sich das Material in unmittelbarer Nähe der Sonde auf Temperaturen unterhalb seines Schmelzpunktes erwärmt. Dadurch werden die benachbarten Bereiche erweicht, weil jedoch das Material im festen Zustand verbleibt, bleiben seine ursprünglichen Materialeigenschaften erhalten. Die Bewegung der Sonde entlang der Schweißlinie zwingt das erweichte Material von den beiden Teilen in Richtung der hinteren Kante, was bewirkt, dass die benachbarten Bereiche schmelzen und dadurch eine Schweißnaht bilden.

**[0036]** Wie weiter oben beschrieben, wird eine Presspassung verwendet, um die Enden **230**, **232** der Rohre **216** ohne Aufdornen oder Aufweiten der Rohrenden in den Löchern der Rohrwände **220** zu blockieren. Anschließend wird das FSW-Verfahren eingesetzt, um die Enden der Rohre an die Rohrwand zu schweißen.

**[0037]** Es gibt zahlreiche Möglichkeiten, eine geeignete Reibpassung herzustellen, und es kann jede Technik angewandt werden, die ohne Aufdornen oder Aufweiten der Rohrenden eine Reibpassung herstellt. Die Außenfläche des Rohres kann modifiziert werden, die Innenfläche der Löcher **218** kann modifiziert werden, oder es kann eine Kombination aus Modifikation der Rohraußenfläche und der Lochinnenfläche verwendet werden.

**[0038]** Fig. 5 zeigt ein Ende eines verwendbaren Rohres **250**, bei dem die Außenfläche des Rohres **250** in der Nähe eines jeden Endes gerändelt **252** ist und das einen nicht gerändelten, glatten Abschnitt **254** zwischen dem gerändelten Abschnitt und dem Abschlussende des Rohres hat. Ein geeignetes Rohr mit einer gerändelten Außenfläche ist bei Energy Transfer, Inc. of Minerva, Ohio, erhältlich.

**[0039]** In diesem Beispiel von Fig. 5 ist der Außendurchmesser OD1 des Rohres **250** mit der gerändel-

ten Außenseite im Wesentlichen gleich oder nur geringfügig kleiner als der Durchmesser D1 der Löcher **218**, so dass das Ende des Rohres **250** mit Presspassung in das Loch **218** eingeführt werden kann. Die Presspassung sollte ausreichend fest sein, um gegen die während des FSW-Verfahren aufgebrachten Kräfte zu reagieren, dadurch das Ende des Rohres an seinem Platz zu fixieren und eine axiale und drehende Bewegung des Rohres während des FSW-Verfahrens zu verhindern.

**[0040]** Außerdem ist in dem Beispiel von **Fig. 5** der Innendurchmesser ID1 des Rohres **250** sowohl vor als auch nach dem FSW-Verfahren von einem Ende zum anderen konstant. Der Außendurchmesser OD1 ist ferner sowohl vor als auch nach dem FSW-Verfahren im Wesentlichen zwischen den Enden des Rohres konstant.

**[0041]** In einer Ausführungsform befindet sich, wenn das Rohrende in das Loch **218** eingeführt ist, ein Teil des glatten Abschnitts **254** zusammen mit einem Teil des gerändelten Abschnitts **252** im Loch.

**[0042]** **Fig. 6** zeigt eine weitere Ausführungsform eines Rohres **260**, das auf der Außenfläche Rippen oder Riffelungen **262** (die Gewinden ähnlich sind) zur Herstellung der Presspassung aufweist. Ein geeignetes Rohr mit dieser Bauweise ist bei Energy Transfer, Inc. of Minerva, Ohio, erhältlich. Es kann auch ein optionaler Presspass-Kragen **264** mit durch Spalte getrennten abbiegbaren Laschen **266** um die Rippen **262** herum angeordnet sein, um die Presspassung zu verstärken. Die Laschen **266** biegen sich nach innen, so dass sie sich auf den Rippen **262** blockieren. Alternativ kann der Kragen **264** im Inneren des Lochs **218** der Rohrwand **220** angeordnet sein, wobei das Rohr in einer Richtung in das Loch hinein gleitet, aber nicht herausgezogen werden kann, weil die Laschen in die Rippen eingreifen. In einer weiteren, in **Fig. 7** dargestellten alternativen Ausführungsform kann der Kragen **264** in ein Loch in der Ablenkscheibe **224** eingepasst werden oder sonstwie zur Abstützung der Last in die Ablenkscheibe **224** eingreifen.

**[0043]** **Fig. 8** zeigt ein Beispiel eines Presspass-Kragens **270**, der um ein Rohr herum angeordnet sein kann. Der Kragen **270** kann abbiegbare Laschen **272** haben, die den Laschen **266** von **Fig. 6** ähnlich sind. Die Laschen **272** sind so gestaltet, dass sie sich radial nach innen biegen, um eine Presspassung mit der weiterentwickelten Außenfläche (zum Beispiel den Rändelungen **252** von **Fig. 5**, den Rippen **262** von **Fig. 6** oder Ähnlichem) des Rohres herzustellen. Der Kragen **270** kann auch an einem Abschnitt des Kragens ohne die abbiegbaren Laschen **272** ein Außengewinde **274** haben. Das Außengewinde **274** ist dafür bestimmt, sich in ein entsprechendes Gewinde **276** (siehe **Fig. 10**) einzuschrauben, das in ein Aufnahmeloch **278** in der Seitenfläche **222** der Rohrwand

**220** oder auf einer der beiden Seiten eines in die Ablenkscheibe **224** eingeformten Lochs eingeformt ist.

**[0044]** Wie in **Fig. 10** zu erkennen ist, hat das Aufnahmeloch **278** einen größeren Durchmesser als der Rest des Lochs **218**, mit dem das Rohr **250**, **260** eine Reibpassung bildet. Die Innenfläche des Lochs **278** ist mit dem Gewinde **276** versehen, das in das Gewinde **274** an der Außenseite des Kragens **270** eingreift.

**[0045]** **Fig. 9A** zeigt ein Beispiel für die aus dem Rohr **250** und dem Kragen **270** bestehende Baugruppe, die im Inneren eines Lochs in der Rohrwand **220** befestigt ist (die Rohrwand **220** ist nur teilweise mit einem Loch dargestellt). **Fig. 9B** zeigt ein Beispiel für die aus dem Rohr **260** und dem Kragen **270** bestehende Baugruppe, die im Inneren eines Lochs in der Rohrwand **220** befestigt ist (die Rohrwand **220** ist nur teilweise mit einem Loch dargestellt). In einer Ausführungsform wird der Kragen **270** zu Beginn entweder auf das gerändelte Rohr **250** oder das Rohr **270** mit den Rippen mit Presspassung aufgebracht. Anschließend wird die aus Rohr und Kragen bestehende Baugruppe in das Gewindeloch **278** der Rohrwand oder der Ablenkscheibe eingeschraubt.

**[0046]** Um das Einschrauben des Kragens **270** in das Aufnahmeloch **278** der Rohrwand **220** zu erleichtern, kann der Kragen **270** auch ein über den Gewindeabschnitt hinaus ragendes erweitertes zylindrisches Merkmal **280** haben, das Ausschnitte **282**, Abflachungen oder eine andere Struktur für den Eingriff eines Schraubenschlüssels oder Werkzeugs aufweist, so dass ein Spannschlüssel oder ein anderes Werkzeug verwendet werden kann, um den Kragen **270** zu drehen und die aus dem Kragen **270** und dem Rohr bestehende Baugruppe in das Gewindeloch **278** einzuschrauben und/oder den Kragen aus dem Loch herauszuschrauben.

**[0047]** Dank der Gewindemerkmale am Kragen **270** und am Aufnahmeloch **278** können die Monteure die Kragen-und-Rohr-Baugruppe präzise in die Rohrwand **220** einschrauben und darin befestigen, so dass das Rohrende mit der Außenfläche **223** der Rohrwand bündig abschließt. Dieses Merkmal des präzisen Einschraubens löst das Problem der Fertigungstoleranzen, die bei Einsatz anderer Presspass-Verfahren zu Passungsabweichungen führen.

**[0048]** Ein weiteres Beispiel für die Herstellung einer Presspassung könnte in der Art von Schloss und Schlüssel sein, bei der, ähnlich **Fig. 6**, eine gestanzte Art von Schlüssel auf das Rohr gepresst wird, welches Nuten haben könnte, um mit der Unterseite der Rohrwand **220** oder der Rohr-Ablenkscheibe **224** in Eingriff zu kommen. In einer weiteren Ausführungsform könnte statt eines Schlüssels eine konische Rippe oder Keil einstückig an dem Rohr angeformt sein,

die sich gegen die Innenfläche des Rohrwandlochs blockiert, um die Presspassung herzustellen.

**[0049]** In einer weiteren Ausführungsform könnte die Rückseite der Rohrwand **220** mit einem Gewindemuster versehen sein, das den äußeren Rippen oder dem Gewinde **262** auf dem Rohr **260** in **Fig. 6** angepasst ist. Das Rohr **260** könnte dann in die Rückseite der Rohrwand **220** eingeschraubt werden und den nötigen Widerstand für das Rührreibschweißen bieten.

**[0050]** Nachdem die Rohrenden in die Löcher der Rohrwand eingeführt worden sind, kann das FSW-Verfahren angewandt werden, um die Rohrenden an die Rohrwand zu schweißen.

**[0051]** Was die zweiten Enden der Rohre und die zweite Rohrwand betrifft, so können die zweiten Enden an der zweiten Rohrwand befestigt werden unter Einsatz eines herkömmlichen FSW-Verfahrens, wie es im US-Patent 8,439,250 beschrieben ist, bei dem die zweiten Enden der Rohre durch Aufweiten der zweiten Enden der Rohre gegenüber der zweiten Rohrwand blockiert werden, gefolgt von FSW, um die zweiten Enden der Rohre an die Rohrwand zu schweißen.

#### Verfahrensbeispiel

**[0052]** Im Folgenden wird ein Verfahrensbeispiel beschrieben, das zur Befestigung von Aluminiumrohren an einer Aluminiumrohrwand angewandt wird. Dieses Verfahrensbeispiel ist für nur eine Seite (d.h. eine der Rohrwände) des Wärmetauschers und nicht für beide Rohrwände anwendbar, da die zweite Rohrwand nicht in derselben Weise wie die erste Rohrwand zugänglich ist.

**[0053]** In diesem Beispiel waren die Rohre grob gerändelte 1-Inch-Rohre NPS Schedule 40 mit 3 Inch glattem Rohr am Ende (ähnlich der Ausführungsform von **Fig. 5**) von 12 Inch Länge. Die Rohrwand war eine 2 Inch dicke Aluminiumrohrwand mit Löchern für 7 Rohre. In diesem Verfahrensbeispiel wird kein Stützamboss/Stützkraft verwendet, um die Rohre zu stützen; nur die Rohrwand wird gestützt.

1. Die Rohrwand wurde über den FSW-Amboss gestützt, indem Aluminiumblöcke unter einander gegenüberliegende Seiten der Rohrwand gelegt wurden, ohne die Rohrlöcher zu blockieren. Die Höhe der Blöcke bestimmte, wie weit das Rohr durch die Rohrwandloch passieren kann, bevor es am Amboss gestoppt wird.
2. Die Rohre wurden außen und die Rohrwandlöcher innen mit Isopropylalkohol, Azeton oder einem anderen Reinigungsmittel gereinigt.
3. Dann wurden die Rohre in die Rohrwandlöcher eingeführt. Dann wurde mit einem Gummihammer auf die gegenüberliegenden Rohrenden ge-

schlagen, um die Rohre durch die Rohrwand zu treiben, bis die Rohre den Amboss unterhalb der Rohrwand berührten. Ungefähr 0,5 Inch des glatten Rohrabchnitts **254** verblieb zum eigentlichen Schweißen im Rohrwandloch, wobei der Rest des Rohres im Loch der gerändelte Abschnitt **252** war.

4. Jetzt sollten sich die Rohre festgefressen haben und nicht in der Rohrwand bewegen. Auf der Schweißseite (d.h. der Außenseite der Rohrwand) wurden die Rohre so abgeschnitten, dass die Rohrenden mit der Außenfläche der Rohrwand bündig abschlossen.

5. Dann wurden die Schweißfläche und die Innenseite der Rohre gereinigt.

6. Anschließend wurden die Rohre entgratet, und dann wurden die Rohre und die Rohrwand rührreibgeschweißt. Es sollte im Laufe des Schweißens keine axiale Bewegung oder Drehung bei den Rohren zu beobachten sein.

**[0054]** **Fig. 7** zeigt ein Beispiel des in eines der Löcher der Rohrwand **220** eingeführten Rohres **216**, wobei das Rohr so abgeschnitten wurde, dass es mit der Außenfläche **223** bündig abschließt und für FSW vorbereitet ist. Wie man in **Fig. 7** erkennt, wird das Rohrende vor dem FSW nicht aufgedornt oder aufgeweitet. Vielmehr bleiben Innen- und Außendurchmesser des Rohres konstant. Deshalb führt das beschriebene Verfahren nicht zu irgendwelchen Rissen oder anderen örtlichen Verformungen in der Nähe des Rohrendes, die eine bevorzugte Stelle für Korrosion bilden könnten.

**[0055]** Die in dieser Anmeldung offengelegten Beispiele sind in jeder Hinsicht als veranschaulichend und nicht als einschränkend zu betrachten. Der Umfang der Erfindung wird durch die beigefügten Ansprüche und nicht durch die vorstehende Beschreibung angegeben; und alle Änderungen, die unter die Bedeutung und in den Gleichwertigkeitsbereich der Ansprüche fallen, sollen darin enthalten sein.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zum Anschluss eines Rohres an eine Rohrwand, umfassend:  
Einführen eines Endes des Rohres in ein Loch in der Rohrwand mit einer Presspassung zwischen Rohrende und Rohrwand, welche das Rohrende in der Rohrwand blockiert, ohne das der Rohrwand benachbarte Ende des Rohres aufzudornen oder aufzuweiten; und Rührreibschweißen des Rohres an die Rohrwand.
2. Verfahren gemäß Anspruch 1, bei dem die Presspassung hergestellt wird durch Modifizierung einer Außenfläche des Rohres, Modifizierung einer Innenfläche der Rohrwandloch oder Modifizierung sowohl der Außenfläche des Rohres als auch der Innenfläche des Rohrwandlochs.

3. Verfahren gemäß Anspruch 1, bei dem die Presspassung hergestellt wird durch Modifizierung einer Außenfläche des Rohres, so dass sie Rändelungen oder Rippen aufweist.

4. Verfahren gemäß Anspruch 1, ferner umfassend die Anbringung eines Kragens um das Rohr herum und das zumindest teilweise Einpassen des Kragens in das Rohrwandloch oder in ein Loch in einer von der Rohrwand getrennten Ablenkscheibe.

5. Verfahren gemäß Anspruch 4, bei dem der Kragen eine Mehrzahl von abbiegbaren Laschen aufweist, die sich radial nach innen biegen können, so dass sie mit einer Außenfläche des Rohres in Eingriff kommen.

6. Verfahren gemäß Anspruch 5, bei dem der Kragen ferner ein Außengewinde aufweist, das Rohrwandloch oder das Ablenkscheibenloch auf einer seiner Innenflächen ein Innengewinde aufweist und der Kragen in das Rohrwandloch oder in das Ablenkscheibenloch eingeschraubt wird, so dass das Außengewinde auf dem Kragen mit dem Innengewinde in Eingriff kommt.

7. Verfahren gemäß Anspruch 6, bei dem der Kragen ferner eine Struktur für den Eingriff eines Werkzeugs aufweist, welche es ermöglicht, den Kragen relativ zum Rohrwandloch oder Ablenkscheibenloch zu drehen, um den Kragen in das Loch hinein oder aus dem Loch heraus zu schrauben, und das Einschrauben des Kragens in das Rohrwandloch oder in das Ablenkscheibenloch unter Verwendung eines Werkzeugs, das mit der Werkzeugeingriffstruktur in Eingriff kommt, umfasst.

8. Verfahren gemäß Anspruch 7, umfassend das Einschrauben des Kragens in das Rohrwandloch oder Ablenkscheibenloch, bis das Ende des Rohres mit einer Fläche der Rohrwand bündig abschließt.

9. Verfahren gemäß Anspruch 1, bei dem das Rohr und die Rohrwand Teile eines Wärmetauschers sind.

10. Wärmetauscher, umfassend:  
eine erste Rohrwand mit mehreren Löchern, einer Innenseite und einer Außenseite;  
eine Mehrzahl von Rohren mit ersten und zweiten Enden, wobei das erste Ende des jeweiligen Rohres mit einer Presspassung zwischen dem jeweiligen ersten Ende und der jeweiligen ersten Rohrwand in einem entsprechenden Loch der Löcher in der ersten Rohrwand angeordnet ist;  
das erste Ende des jeweiligen Rohres wird an der Außenseite der ersten Rohrwand an die erste Rohrwand rührreibgeschweißt; und  
das erste Ende des jeweiligen Rohres ist nicht aufgedornt oder aufgeweitet.

11. Wärmetauscher gemäß Anspruch 10, ferner umfassend eine zweite Rohrwand mit mehreren Löchern, einer Innenseite und einer Außenseite;  
das zweite Ende des jeweiligen Rohres ist in einem entsprechenden Loch der Löcher in der zweiten Rohrwand angeordnet;  
das zweite Ende des jeweiligen Rohres wird an der Außenseite der zweiten Rohrwand an die zweite Rohrwand rührreibgeschweißt.

12. Wärmetauscher gemäß Anspruch 11, bei dem die Rohre zylindrisch sind und vom ersten bis zum zweiten Ende einen konstanten Durchmesser haben.

13. Wärmetauscher gemäß Anspruch 10, bei dem das erste Ende des jeweiligen Rohres eine Außenfläche hat, die mit einer reibungsverstärkenden Textur versehen ist, eine Innenfläche des jeweiligen Rohrwandlochs mit einer reibungsverstärkenden Textur versehen ist oder sowohl die Außenfläche des jeweiligen ersten Endes als auch die Innenfläche des jeweiligen Rohrwandlochs mit einer reibungsverstärkenden Textur versehen ist.

14. Wärmetauscher gemäß Anspruch 11, bei dem das erste Ende des jeweiligen Rohres eine Außenfläche hat, die mit Rändelungen oder Rippen versehen ist.

15. Wärmetauscher gemäß Anspruch 11, ferner umfassend einen um das jeweilige Rohr herum angeordneten Kragen, wobei der Kragen zumindest teilweise in das entsprechende Rohrwandloch oder in ein entsprechendes Loch in einer von der Rohrwand getrennten Ablenkscheibe eingepasst wird.

16. Wärmetauscher gemäß Anspruch 15, bei dem der jeweilige Kragen mehrere abbiegbare Laschen aufweist, die radial nach innen gebogen werden und mit einer Außenfläche des entsprechenden Rohres in Eingriff kommen.

17. Wärmetauscher gemäß Anspruch 16, bei dem der jeweilige Kragen ferner ein Außengewinde aufweist, das jeweilige Rohrwandloch oder Ablenkscheibenloch auf einer seiner Innenflächen ein Innengewinde aufweist und das Außengewinde auf dem jeweiligen Kragen mit dem Innengewinde in Eingriff kommt.

18. Wärmetauscher gemäß Anspruch 17, bei dem der jeweilige Kragen ferner an einem seiner Enden eine Struktur für den Eingriff eines Werkzeugs aufweist, die es ermöglicht, den Kragen relativ zum Rohrwandloch oder Ablenkscheibenloch zu drehen.

Es folgen 10 Seiten Zeichnungen

## Anhängende Zeichnungen

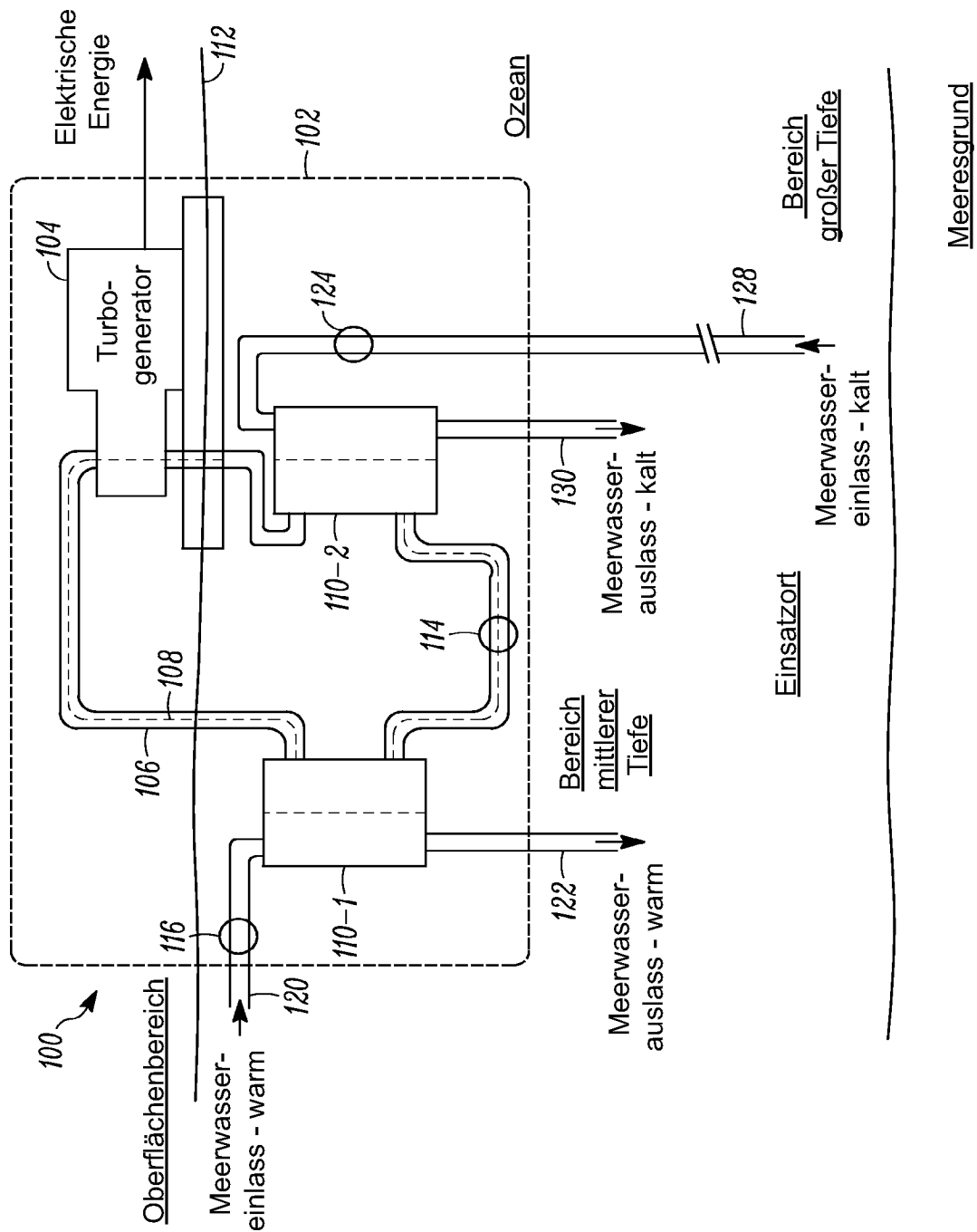


FIG. 1



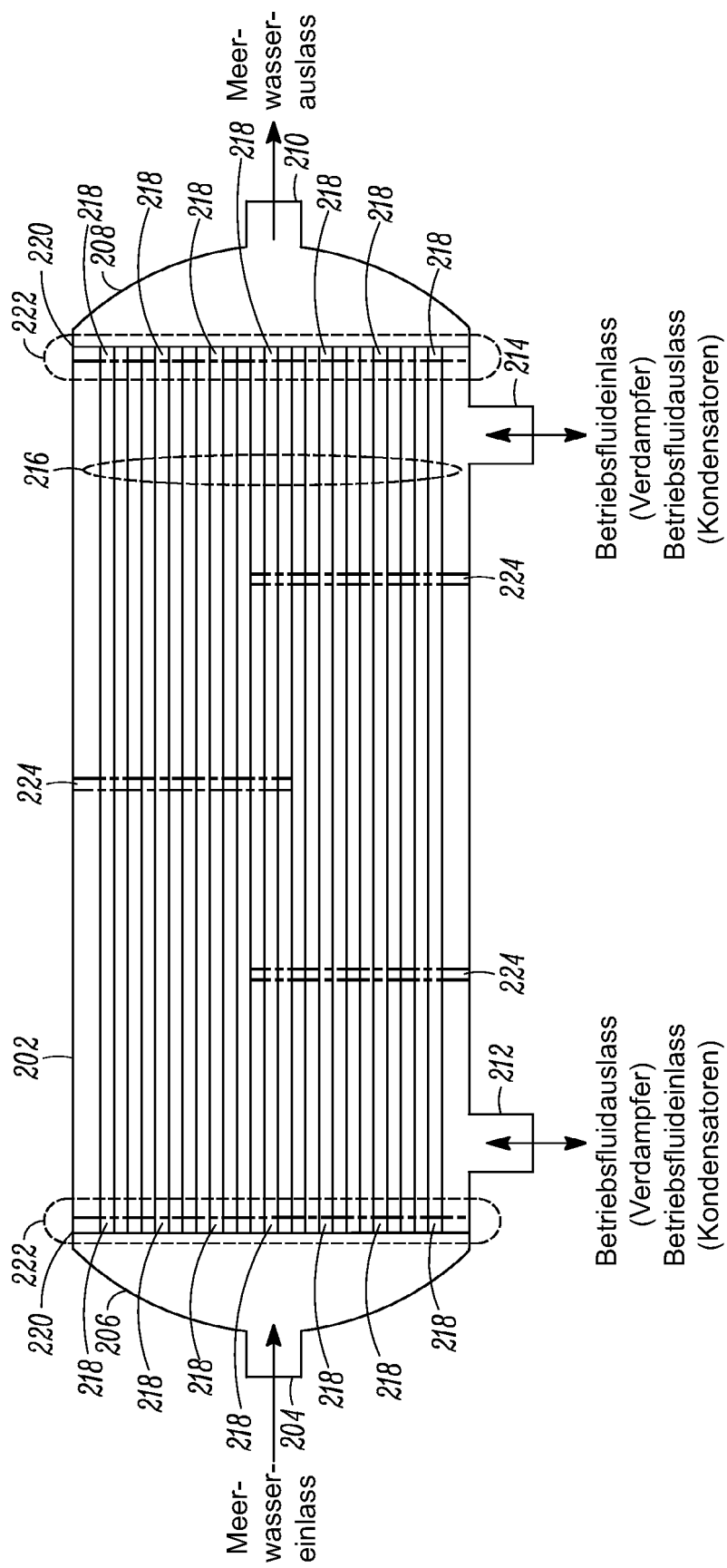


FIG. 2

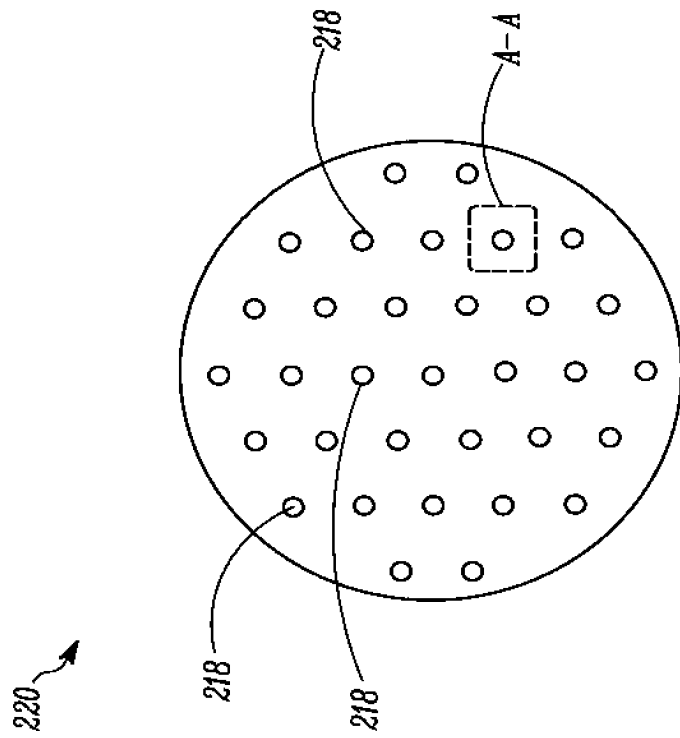


FIG. 3A

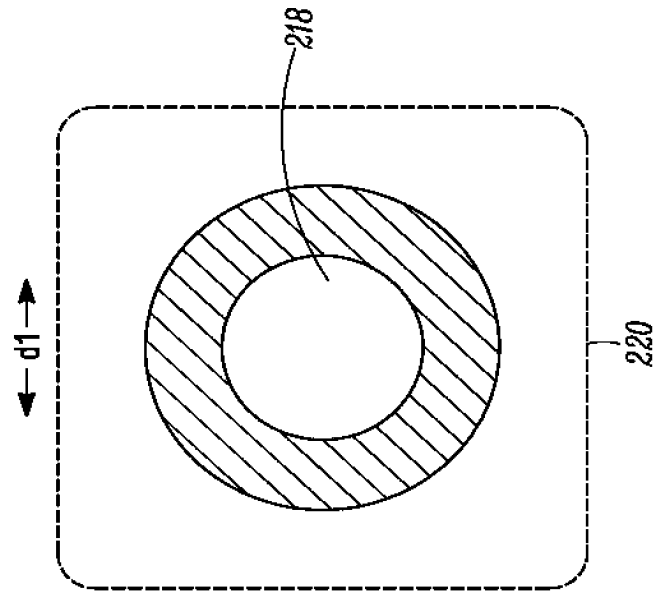


FIG. 3B

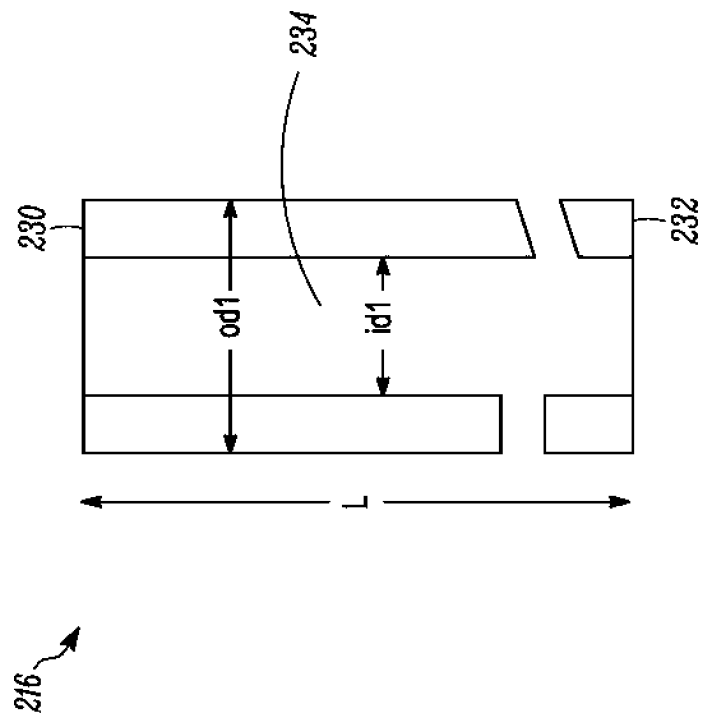


FIG. 4

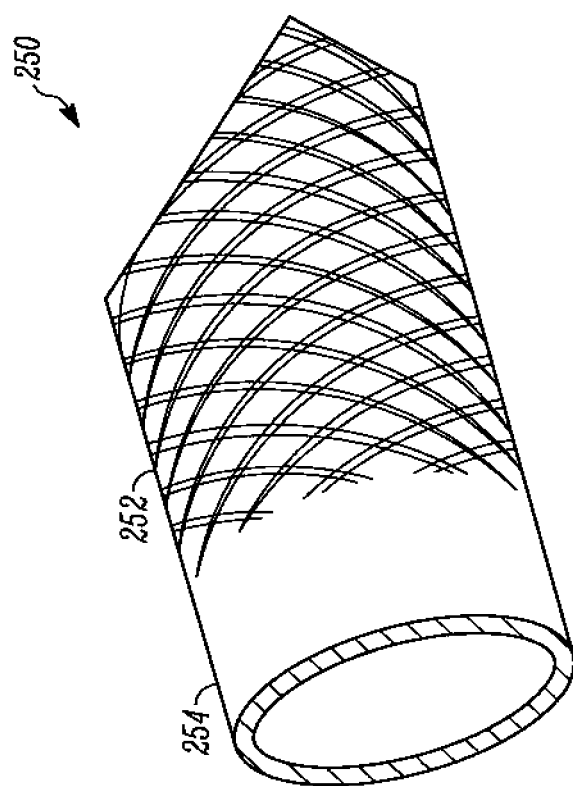


FIG. 5

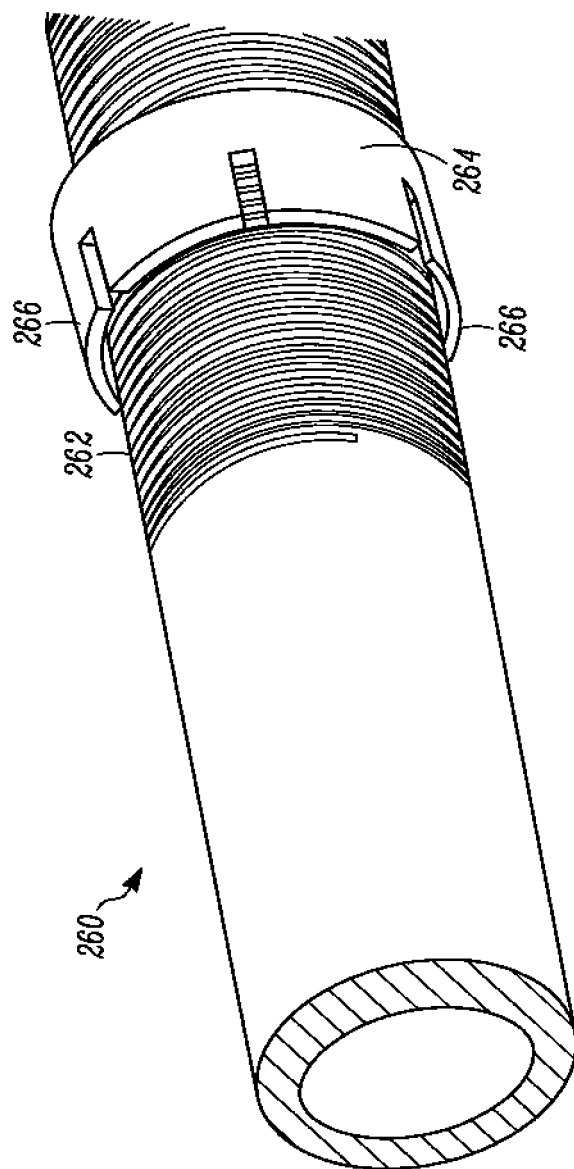


FIG. 6

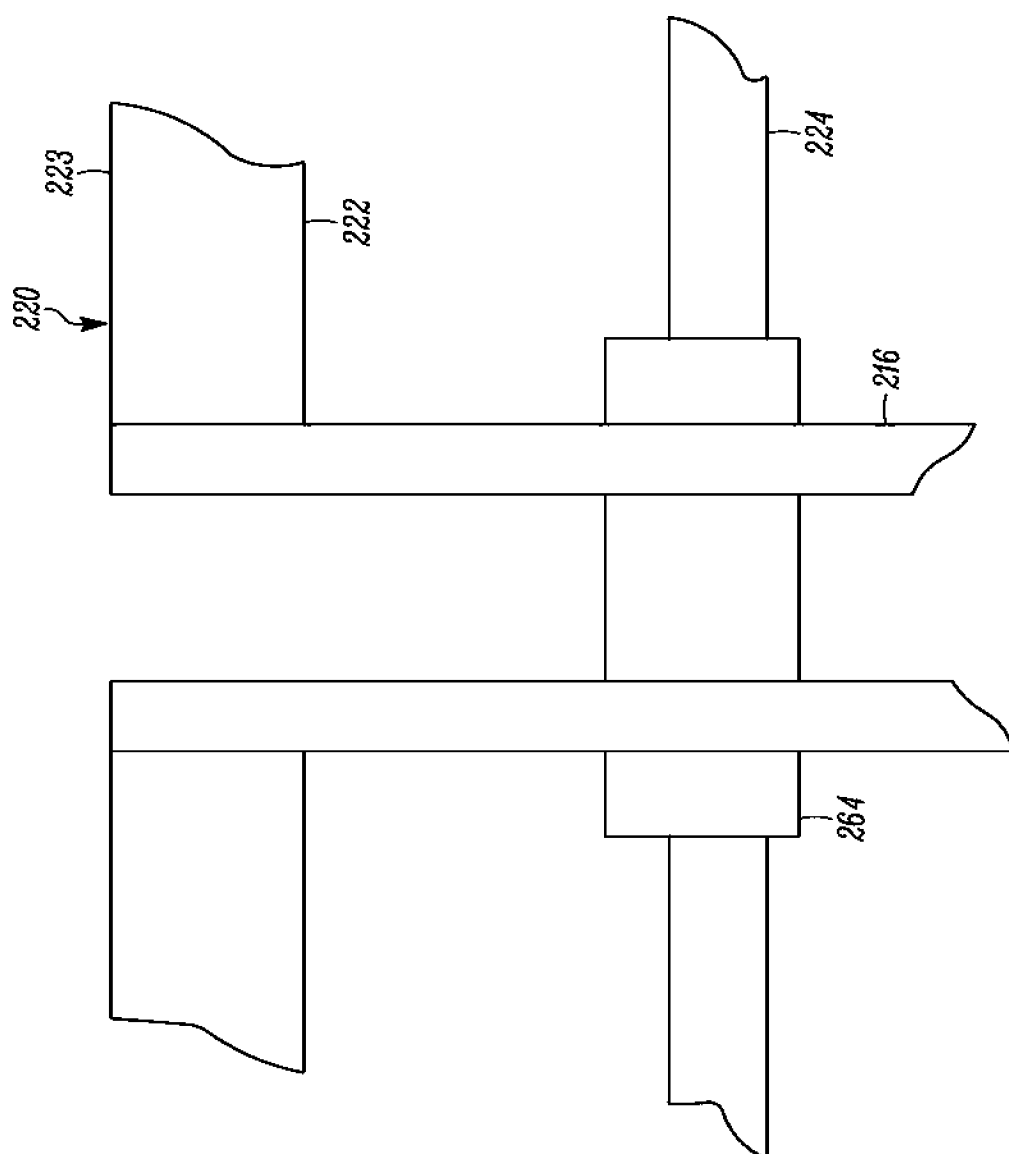


FIG. 7

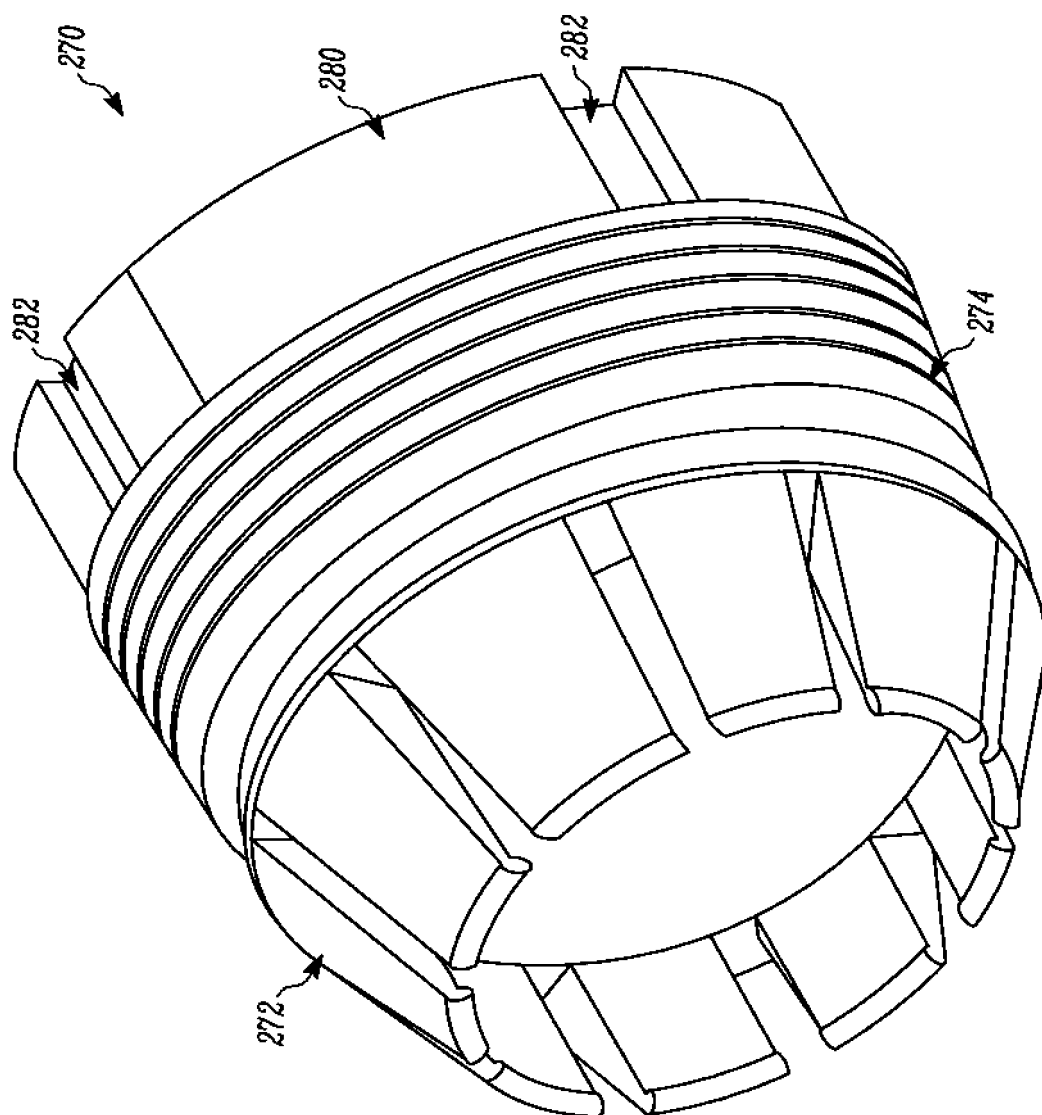
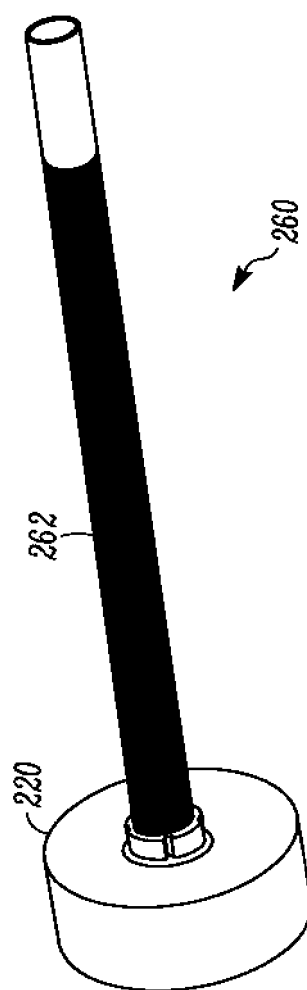
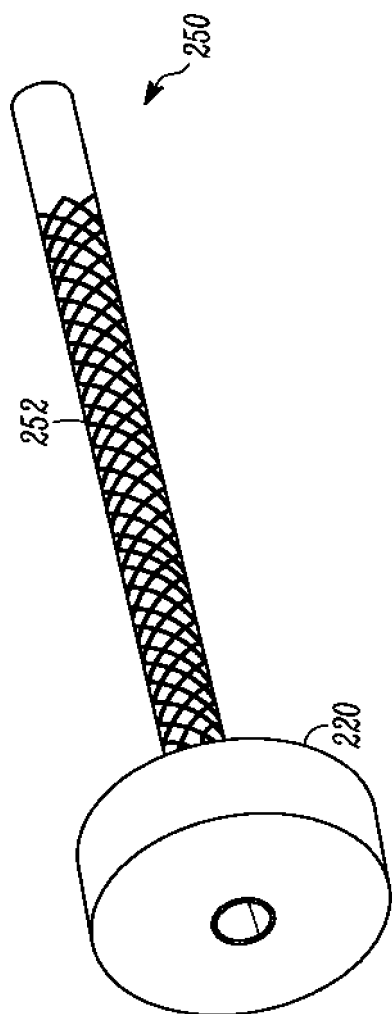


FIG. 8





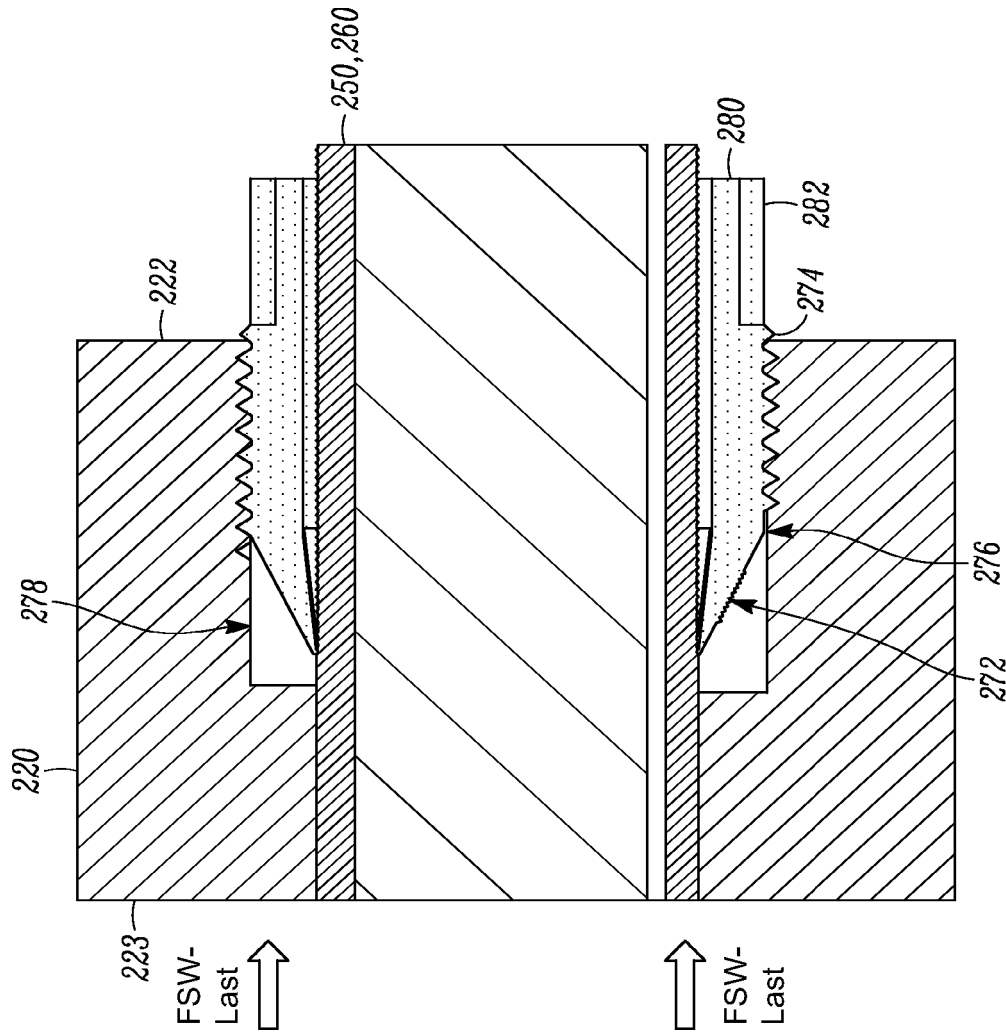


FIG. 10