



Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein
Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

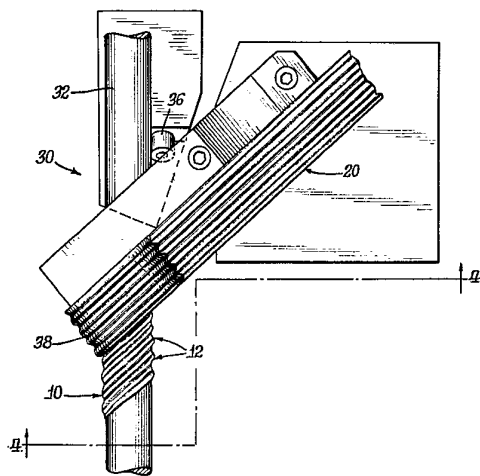
PATENTSCHRIFT A5

646 511

<p>① Gesuchsnummer: 1574/80</p> <p>② Anmeldungsdatum: 27.02.1980</p> <p>③ Priorität(en): 27.02.1979 US 015863</p> <p>④ Patent erteilt: 30.11.1984</p> <p>⑤ Patentschrift veröffentlicht: 30.11.1984</p>	<p>⑥ Inhaber: GA Technologies Inc., San Diego/CA (US)</p> <p>⑦ Erfinder: Yampolsky, Jack Seymour, San Diego/CA (US)</p> <p>⑧ Vertreter: E. Blum & Co., Zürich</p>
---	---

⑤4 Wärmeübertragungsrohr und Verfahren zu dessen Herstellung.

⑤7 Das Rohr (10) besitzt mehrere schraubenlinienförmig in seiner Längsrichtung verlaufende Rippen (12). Der Schraubenwinkel und das Verhältnis von Rippenhöhe zu Rohrdurchmesser sind so bestimmt, dass ein Verhältnis von Wärmediffusionsvermögen zu Impulsdiffusionsvermögen von mehr als 1 vorliegt. Das Rohr (10) wird aus einem flachen Streifen (20) eines Grundmaterials hergestellt, dessen gegenüberliegende Oberflächen, z.B. durch Walzen, so gestreckt werden, dass in Längsrichtung verlaufende Rippen einer bestimmten Form entstehen. Danach wird der Streifen schraubenlinienförmig um einen Dorn (32) gewickelt und die aneinanderstossenden Seitenkanten fluiddicht verbunden, z.B. mittels Schweißen. Derart bilden die Oberflächenerhebungen an Aussen- und Innenseite des Rohrs mit mehreren fortlaufenden, schraubenlinienförmig verlaufenden Rippen versehene Flächen. Das Rohr führt zu verbesserter Wärmeübertragungsleistung bei geringeren Herstellungskosten und ist geeignet für die Anwendung in Wärmetauschern, insbesondere solchen, bei denen Phasenübergänge stattfinden.



PATENTANSPRÜCHE

1. Wärmeübertragungsrohr zur Wärmeübertragung zwischen der Rohrwand und einem durch das Rohr fließenden Fluid, gekennzeichnet durch ein Metallrohr mit im wesentlichen geradliniger Achse und schraubenlinienförmig entlang der Rohrwand angeordneten Rippen, die zwischen 12 und 64 Gänge und im wesentlichen eine gleichmässig gekrümmte Anordnung längs der Rohrwand bilden, wobei jede Rippe einen Schraubenwinkel zwischen 30 und 60° bezüglich der Rohrachse bildet und eine Rippenhöhe aufweist, derart dass das Verhältnis von Rippenhöhe und Rohrdurchmesser grösser als 0.01 ist, und wobei die Anzahl der Rippen eine Funktion des reziproken Verhältnisses von Rippenhöhe und Rohrdurchmesser ist.

2. Wärmeübertragungsrohr nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass jede Rippe in einer die Rohrlängsachse enthaltenden Ebene ein Profil aufweist, das sich von einer Basis nach aussen verjüngt und im Scheitel der Rippe eine gekrümmte Spitze definiert, wobei die Basis eine Breite von 3 bis 6 Mal den Wert der Breite des gekrümmten Bereichs der Spitze aufweist.

3. Wärmeübertragungsrohr nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Rohr aus einem flachen Streifen aus metallischem Material hergestellt ist, der spiralgewickelt ist, so dass sich aneinanderstossende Seitenkanten ergeben, die fluiddicht miteinander verbunden sind, wobei der flache Streifen derart ausgebildet ist, dass er vor dem Wickeln mehrere parallele, in Längsrichtung verlaufende Rippen aufweist, von denen jede ein Querprofil besitzt, das durch einen Kreisbogen je an der Spitze und in der Senke definiert ist, welche mittels einer Tangente zu beiden Kreisbogen verbunden sind.

4. Wärmeübertragungsrohr nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Rohr aus einem flachen Streifen aus metallischem Material hergestellt ist, der schraubenlinienförmig gewickelt ist, so dass sich aneinanderstossende Seitenkanten ergeben, die fluiddicht miteinander verbunden sind, wobei der flache Streifen derart ausgebildet ist, dass er vor dem Wickeln mehrere parallele, in Längsrichtung verlaufende Rippen aufweist, deren Form im Querprofil durch eine transzendente Funktion beschrieben wird.

5. Verfahren zur Herstellung eines Wärmeübertragungsrohrs zur Wärmeübertragung zwischen der Rohrwand und einem durch das Rohr strömenden Fluid gemäss Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass in einen im wesentlichen flachen Streifen aus metallischem Material eine zwischen 12 und 64 Gänge bildende Anzahl gleicher Rippen eingeformt wird, so dass die Rippen die ganze Breite des Streifen bedecken und sich im wesentlichen parallel zur Streifenlängsachse erstrecken, dass der Streifen schraubenlinienartig um einen im wesentlichen zylindrischen Dorn geformt wird, so dass die Seitenkanten des geformten Streifens aneinanderliegen und dass die aneinander liegenden Seitenkanten fluiddicht verbunden werden, um ein Wärmeübertragungsrohr zu bilden, derart dass die schraubenlinienartig geformten Streifen einen Schraubenwinkel zwischen 30 und 60° bezüglich der Achse des geformten Rohrs aufweisen und die Rippen derart ausgebildet sind, dass sie ein Verhältnis zwischen Rippenhöhe und Rohrdurchmesser von mehr als 0.01 bilden, wobei die Anzahl der Rippen eine Funktion des reziproken Verhältnisses von Rippenhöhe und Rohrdurchmesser ist.

6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Rippen derart im Streifen ausgebildet werden, dass ein Rippenquerprofil entsteht, welches durch eine transzendente Funktion beschrieben wird.

7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass jede im Streifen eineformte Rippe ein Querprofil erhält, das durch eine Basis und eine gekrümmte Spitze am Rippen-scheitel definiert ist, wobei die Basis eine Breite aufweist, die

zwischen 3 bis 6 Mal grösser ist, als die Breite des gekrümmten Bereichs der entsprechenden Spitze.

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Wärmeübertragungsrohr zur Wärmeübertragung zwischen der Rohrwand und einem durch das Rohr fließende Fluid, sowie ein Verfahren zu dessen Herstellung.

Die Übertragung von Wärme in Wärmeaustauschern unter Verwendung von Wärmeübertragungs- oder -austauschrohren hat in allen Industriezweigen, insbesondere in der Verfahrens- und Energietechnik, weitverbreitete Anwendung gefunden. Da die Energie- und Kapitalkosten gestiegen sind, hat das Bedürfnis nach Verbesserung der Wirksamkeit von Wärmeübertragungsflächen und haben die Einrichtungen zur Herstellung von Wärmeübertragungsrohren an Bedeutung weiter zugenommen. Weil die Kosten von Wärmeaustauschern, bei denen Wärmeübertragungsrohre verwendet werden, von der Anzahl der Anzahl der Rohre und den Kosten der Rohranordnung abhängen, ist es in hohem Masse erwünscht, sowohl die Anzahl der erforderlichen Rohre herabzusetzen, als auch wirtschaftlichere Einrichtungen zur Rohrerstellung zu schaffen. Da ferner die Temperatur der Rohrwand bei gegebenen Strömungsbedingungen durch die Oberflächenwärmeübergangszahlen an der Innen- und Aussenfläche bestimmt ist, führt eine vorzugsweise Beeinflussung einer oder beider dieser Zahlen zu einem gewissen Mass an Beeinflussung der Rohrwandtemperatur. Diese Beeinflussung kann dazu verwendet werden, die Temperatur einer oder beider Prozessströmungen, d. h., entweder der inneren Strömung durch die Rohre oder der äusseren Strömung über die Rohraussenflächen, für eine vorgegebene Rohrwandtemperatur zu erhöhen oder zu senken, oder aber die Rohrwandtemperatur für vorgegebene Prozessströmungstemperaturen herabzusetzen. Wärmeaustauscher ziehen oft Phasenänderungen nach sich, indem z. B. Wasser genügend erwärmt wird, um in Dampf überzugehen und Dampf genügend abgekühlt wird, um zu Wasser zu werden. Bei solchen Anwendungen ist oft eine erhöhte Wärmeübertragung erwünscht, bei Dampfkondensatoren z. B. kann der innere Wärmewiderstand des Einphasenkühlmittels dreimal so hoch sein, wie der äussere Widerstand. Ein ähnliches Bedürfnis nach erhöhter Wärmeübertragung besteht in Kesseln von Abdampfverwertungskreisläufen; bei solchen Einheiten wird die Wärme von Abgasen eines Dieselmotors oder einer Gasturbine geliefert, bringt eine niedrige Heizrate mit sich und erfordert daher eine grosse Wärmeübertragungsfläche, falls die Wärmeübertragung nicht erhöht werden kann. Sowohl bei Aufheizanordnungen als auch bei Kondensieranordnungen ist die Wärmeübertragung allgemein durch die Übertragungscharakteristiken des Einphasenfluids begrenzt. Falls diese Begrenzung durch geeignete Steigerung beseitigt wird, ist die Leistung eines Wärmeaustauschers oder Kondensators durch die Zweiphasenwärmeübertragungscharakteristiken bestimmt.

Die Verwendung von Verwirbelung, um die Wärmeübertragung zu verbessern, ist bekannt und kann in vielerlei Arten erfolgen. Es wurden z. B. Einsätze aus verdrehten Bändern benutzt, die ein Mittel zur Erhöhung der Wärmeübertragung im Rohrrinnern ergeben. Auch tangentielle Injektion des Fluids am Rohreingang wurde bereits verwendet, um eine anfängliche Drehbewegung zu erzeugen, die in Strömungsrichtung abklingt, jedoch während ihres Bestehens eine erhöhte Wärmeübertragung liefert. Die vorliegende Erfindung befasst sich damit, eine bessere Wärmeübertragung zu Stande zu bringen, durch Bereitstellung eines neuen schraubenlinienförmig gerillten Wärmeübertragungsrohrs sowie eines Verfahrens zu dessen Herstellung.

Demzufolge ist es eine der Hauptaufgabe der vorliegenden Erfindung, ein verbessertes Wärmeübertragungsrohr und ein Verfahren zu dessen Herstellung zu schaffen, das bei Verwendung in einem Wärmeaustauscher zu verbesserten Wärmeübertragungseigenschaften führt.

Eine spezielle Aufgabe der vorliegenden Erfindung liegt darin, ein Wärmeübertragungsrohr zu schaffen, das mehrere nebeneinanderlaufende schraubenlinienförmige Rippen in der Rohrwand aufweist, die in bestimmter Weise so angeordnet sind, dass sie fortlaufend sowohl aussen als im Innern des Wärmeübertragungsrohrs eine Rotation der Strömung bewirken, wobei die Wölbung der Rippen derart ausgebildet ist, dass der turbulente Wärmeaustausch zwischen dem Rohr und dem darin fliessenden Fluid verbessert wird.

Diese Aufgabe wird durch die in Patentanspruch 1 definierten Merkmale gelöst.

Es kann durch mathematische Analyse nachgewiesen werden, dass das Mass für die Wärmeübertragung pro Einheit Pumpenleistung bei einem Rohr mit schraubenlinienförmig gerippter Wand, (welches deshalb als verbessert und «erweitert» den Index e trägt), bezüglich eines glatten, runden Rohres (Index s) gegeben ist durch: Bei fester Wärmeübertragung:

$$\frac{\left(\frac{Q}{W}\right)_e}{\left(\frac{Q}{W}\right)_s} = \frac{(PL)^2}{(\pi dL)^2_s} \frac{\left(\frac{Ns^3}{\lambda}\right)_e}{\left(\frac{Ns^3}{\lambda}\right)_s}$$

wobei

Q die Grösse des Wärmestroms

P den Umfang des verbesserten und erweiterten Rohrs,

N_s die Stanton-Zahl $\frac{h}{C_p \cdot \vartheta u}$

W die Pumpleistung

λ den Reibungskoeffizienten

C_p die spezifische Wärme bei konstantem Druck

u die mittlere Geschwindigkeit

h die Wärmeübergangszahl, und

ϑ die Dichte des Fluids bezeichnen.

Bei fester Kühlmittelflussrate:

$$\frac{\left(\frac{Q}{W}\right)_e}{\left(\frac{Q}{W}\right)_s} = \frac{\left(\frac{Ns}{\lambda}\right)_e}{\left(\frac{Ns}{\lambda}\right)_s}$$

Es kann ferner auch gezeigt werden, dass das Verhältnis der Stanton-Zahl und des Reibungskoeffizienten dem Verhältnis der Turbulenzaustauschgrössen E der Wärmeleitung (h) und des Impulses (m) entspricht, da

$$\frac{E_h}{E_m} = \frac{Ns}{\lambda}$$

Daraus folgt, dass die Zunahme des Verhältnisses von Stanton-Zahl zu Reibungskoeffizient, oder anders, das Verhältnis der Austauschgrössen der Wärmeleitung und des Impulses über den Wert eines runden glatten Rohres hinaus, (welcher 1 ist), sehr erwünscht ist, insbesondere wenn zugleich die Wärmeübertragungsfläche vergrössert wird. Es kann jedoch von Vorteil sein, wenn die Reibungszunahme grösser ist als die Zunahme der Stanton-Zahl, falls die Reibungszunahme kleiner ist, als das Produkt der dritten Potenz des Zuwach-

ses der Stanton-Zahl und der Zunahme der Wärmeübertragungsfläche für den Fall einer festen Wärmeübertragungsrate.

Es ist allgemein anerkannt, dass in Wärmeübertragungsrohren der grösste Teil des Wärmeübergangswiderstands und der Wandreibung mit dem an der Rohrwand anliegenden Fluid zusammenhängt, der sogenannten laminaren Unterschicht, wo der Wärme- und Impulstransport vom molekularen Transport, der Wärmeleitfähigkeit und der Viskosität abhängen. Die Erhöhung des Wärmetransports kann in einem geraden, glatten Rohr nur durch Vergrösserung der Scherkraft mittels Erhöhen der Fluidgeschwindigkeit im Rohr oder durch Vergrösserung des Turbulenzgrades mittels Aufrauhens der Oberfläche des runden Rohrs erfolgen. Beide diese Ver-

fahren sind in ihrer Wirkung durch den Wert $\frac{E_h}{E_m} = 1$ be-

grenzt. Die Schaffung einer Instabilität nahe der laminaren Unterschicht der Grenzschicht jedoch kann zu einer Erhöhung des Wärme-Diffusionsvermögens bezüglich der Zunahme des Impulsdiffusionsvermögens führen.

In einem schraubenlinienförmig gerippten Rohr veranlassen die Rippen eine Rotation der Strömung zwischen den Rippen und in der Hauptkernströmung als Folge ihrer Krümmung und den radialen Dichtegradienten. Die Umfangsgeschwindigkeitskomponente führt zu einer Zentrifugalkraft, die sich mit dem radialen Dichtegradienten verbindet und eine un stabile Dichteverteilung erzeugt, wenn die Richtung des Wärmeflusses radial nach innen verläuft.

Das beanspruchte Wärmeübertragungsrohr bewirkt vor teilhafterweise, dass das Verhältnis des thermischen Diffusionsvermögens zum Impulsdiffusionsvermögen $\left(\frac{E_h}{E_m}\right)$ grösser als 1 werden kann.

Schliesslich liegt eine weitere Aufgabe der Erfindung darin, ein Verfahren zur Herstellung von schraubenlinienförmig gerippten Wärmeübertragungsrohren zu schaffen, das es erlaubt, die Rohre so auszubilden, dass die Turbulenzerscheinung optimal ausgenützt werden und eine optimale Wärmeübertragung sowie Reibungsleistung erzeugt wird, wobei das Verfahren im Vergleich mit bekannten Verfahren zur Herstellung schraubenlinienförmig gerippter Wärmeübertragungsrohren sehr ökonomisch sein soll.

Diese Aufgabe wird durch die in Patentanspruch 5 definierten Merkmale gelöst.

Beim dargestellten Ausführungsbeispiel ist das Rohr aus einem Streifen metallischen Materials hergestellt, dessen gegenüberliegende Flächen, z.B. durch Walzen, erweitert sind, so dass in Längsrichtung verlaufende Rippen entstehen, deren Querschnittsform oder Profil sich einer mathematisch glatten Kurve annähert. Nachdem die in Längsrichtung verlaufenden Rippen an den gegenüberliegenden Flächen des Streifens eingeformt sind, wird der Streifen zu einem Rohr um eine Achse gebogen, z.B. durch spiralisches Walzen, so dass die Seitenkanten des Streifens aneinander anliegen und fortlaufende, schraubenlinienförmige Rippen längs des Rohrs entstehen, wobei die aneinandergrenzenden Seitenkanten des schraubenlinienförmig gewickelten Streifens fluiddicht verbunden werden, z.B. durch Schweiessen.

Nachfolgend werden anhand der beiliegenden Zeichnungen 60 Ausführungsbeispiele der Erfindung näher erläutert. Es zeigen darin:

Fig. 1 eine Aufsicht eines Teils des erfindungsgemässen Rohres,

Fig. 2 eine perspektivische Ansicht eines Streifenteils aus metallischem Material mit mehreren, in Längsrichtung verlaufenden Rippen, das zu einem Wärmeübertragungsrohr nach Fig. 1 gebogen werden kann,

Fig. 2a eine Schnittansicht längs der Linie 2a-2a in Fig. 2,

Fig. 2b eine Schnittansicht entsprechend Fig. 2a, wobei jedoch ein anderes Rippenprofil gezeigt ist,

Fig. 3 eine Aufsicht auf einen Teil einer schematisch dargestellten Vorrichtung für die Formung des gerippten Streifens von Fig. 2 zu einem schraubenlinienförmig gewickelten Rohr, das das Wärmeübertragungsrohr nach Fig. 1 bildet, und

Fig. 4 eine Stirnansicht der schematisch dargestellten Rohrherstellungsvorrichtung nach Fig. 3.

In den Figuren und insbesondere in Fig. 1 ist das Wärmeübertragungsrohr gemäss der vorliegenden Erfindung allgemein mit 10 bezeichnet. Das Wärmeübertragungsrohr 10 hat eine Umfangswand, die eine Mehrzahl von schraubenlinienförmigen Rippen 12 bildet, so dass abwechselnd Berge und Täler entstehen, wie an den Stellen 14a bzw. 16a, wenn das Rohr 10 von aussen betrachtet wird und an den Stellen 14b bzw. 16b, wenn das Rohr 10 von innen betrachtet wird. Um die maximale mittlere Wandstärke der Rohrwand aufrechtzuerhalten, liegen die Täler der einen Oberfläche, z.B. der Aussenfläche, vorzugsweise gegenüber den Bergen der anderen Oberfläche, d.h., der Innenfläche, und umgekehrt.

In Fig. 2 ist das gezeigte Wärmeübertragungsrohr 10 aus einem anfänglich flachen Streifen oder einer Platte 20 aus geeignetem metallischem Wärmeübertragungsmaterial, wie z.B. Stahl, Aluminium oder ähnlichem, hergestellt, wobei der Streifen bzw. die Platte 20 eine im wesentlichen gleichmässige Dicke und eine wesentlich grössere Länge als Breite aufweist. Der flache Metallstreifen 20 kann beispielsweise von einer Walze abgezogen und durch herkömmliche Richtwalzen geführt werden, wonach die gegenüberliegenden Flächen des Streifens mittels bekannten Einrichtungen, wie z.B. gegenüberliegenden Konturwalzen (nicht dargestellt), zwischen welchen der Streifen hindurchgeführt wird, verformt werden, so dass mehrere in Längsrichtung verlaufende, parallele Rippen 12 an den gegenüberliegenden Oberflächen entstehen. Es können zur Herstellung der Rippen 12 auch andere Verfahren, wie z.B. die Verwendung von Extrudiereinrichtungen, vorgesehen sein. Die Rippen 12 erstrecken sich über die ganze Querausdehnung des Streifens und bilden danach die schraubenlinienförmigen Rippen 12 auf dem Wärmeübertragungsrohr 10.

Die Rippenform oder das Querschnittsprofil, wie in den Fig. 2, 2a und 2b dargestellt, ist vor dem Wickeln einer mathematisch glatten Kurve angenähert, wie z.B. eine Fläche, die durch eine transzendente Funktion beschrieben werden kann. Die gegenüberliegenden Flächen des in Fig. 2a gezeigten Metallstreifenteils sind so erweitert, dass sie ein Sinuskurvenprofil bilden. Die in Fig. 2b gezeigten Rippenformen sind so ausgebildet, dass sie an der Erhöhung jeder Rippe einen kreisförmigen Bogen bilden, wie an den Stellen 14a bzw. 14b für die gerippte Innen- bzw. Aussenfläche gezeigt, sowie auch in jedem Tal einen kreisförmigen Bogen bilden, wie an den Stellen 16a bzw. 16b für die Innen- bzw. Aussenfläche dargestellt. Die kreisförmigen Bogen, welche die Berge und die Täler bilden, sind tangential zu beiden entsprechenden Kreisbogen geradlinig verbunden. Eine andere Möglichkeit besteht darin, dass die Kreisbogen, welche die Berge und Täler bilden, ineinander übergehen, so dass sie mittels einer transzendenten Funktion beschrieben werden müssen. Die Rippenform verjüngt sich zu einer gekrümmten Spitze, wobei der gekrümmte Bereich eine Breite hat, die um einen Faktor zwischen 3 und 6 mal schmaler als die Basis der Rippe ist, wie sie durch den Abstand zwischen Parallelebenen senkrecht zur Rohrachse sowie durch die Krümmungsmittelpunkte der Basis- oder Talbogen bestimmt ist. Anders gesagt sollte die Basis jeder Rippe, betrachtet im Längsschnitt durch das Rohr, um einen Faktor zwischen etwa 3 und 6 grösser sein, als die Breite des entsprechenden Bergs. Mit «Innen»- und «Aussen»-Flächen werden

die Innen- und Aussenflächen eines resultierenden Wärmeübertragungsrohrs gemeint, das aus einer Platte mit eingeformten Längsrippen der in den Fig. 2, 2a oder 2b gezeigten Querschnittsformen hergestellt ist.

Bei den Ausführungsbeispielen in den Fig. 2a und 2b sind die innersten Flächenelemente, welche die Täler der gegenüberliegenden gerippten Flächen im Streifen 20 bilden, wie z.B. die Stellen 14a und 14b, durch eine bestimmte Dicke des Basismaterials getrennt, welche in Fig. 2a mit «b» bezeichnet ist. Die Dicke des Basismaterials bleibt über den Umfang des geformten Rohrs 10 gleich. Indem die die Täler 14a und 14b an den gegenüberliegenden Flächen des Streifens 20 durch eine gewisse Basismaterialdicke getrennt sind, behält das Rohr aus den gerippten Streifen die Fähigkeit, sowohl inneren als auch äusseren Drücken zu widerstehen, ohne dass grosse Biegebeanspruchungen an den die Rippen bildenden Rohrwände, z.B. an den Stellen 14c und 14d in Fig. 2a, entstehen, die die Tendenz hätten, die Rohrwand zu deformieren. Das Beispiel einer Biegebeanspruchung an einem Wandteil 14c ist in Fig. 2a durch den Kraftvektor 18 angedeutet.

Die Ebenen, welche die innersten Wandelemente der Täler 14a und 14b an den gegenüberliegenden Flächen des gerippten Streifens 20 enthalten, sind vorzugsweise wie in Fig. 2a gezeigt beabstandet, ausreichende Leistungsfähigkeit kann jedoch, je nach der bestimmten Anwendung, erzielt werden, wenn diese Ebenen im wesentlichen koplanar liegen, wie in Fig. 2b. Wie aus dieser Fig. ersichtlich, kann die Grösse b für niedrige oder mässige Drücke negativ sein; d.h., das Tal 14b der Rippen an der Rohrinneenseite kann auf einem Durchmesser liegen, der grösser ist als der Durchmesser, auf welchem die Täler 14a der Aussenfläche liegen.

Das Wärmeübertragungsrohr 10 kann aus irgendeinem geeigneten metallischen Wärmeübertragungsmaterial hergestellt werden; als Beispiele seien 12% Chrom-Legierungsstahl, wie z.B. die rostfreien Stähle der Typen 420 oder 422 genannt, oder rostfreier Stahl der Typenreihe 300, Titan sowie Aluminium. Der Metallstreifen 20 kann eine Dicke von etwa 0,038 bis 0,3 cm haben zur nachfolgenden Verformung in ein Rohr mit einem Durchmesser von etwa 1,9 bis 2,54 cm.

Beim Verformen des gerippten Metallstreifens 20 zu einem Wärmeübertragungsrohr 10, wird dem Streifen durch schraubenlinienförmiges Umwickeln einer Achse eine schraubenlinienförmig gewickelte Rohrkonfiguration erteilt, wobei die Seitenkanten des Streifens, wie bei 22 und 24 in Fig. 2 angedeutet aneinanderliegen, wonach die aneinanderliegenden Seitenkanten fluiddicht befestigt werden.

Die Fig. 3 und 4 zeigen schematisch eine Apparatur, die allgemein mit 30 bezeichnet ist und dazu dient, den in Längsrichtung gerippten, metallischen Streifen schraubenförmig oder spiralförmig um eine Achse zu wickeln, um so das Wärmeübertragungsrohr 10 zu bilden. Die Apparatur 30 besitzt einen zylindrischen Dorn 32, um den herum drei drehbare Rollen angeordnet sind. Die Rollen umfassen eine erste Rolle 34, die eine untere Halterolle ist, sowie eine zweite, seitliche Halterolle 36, die einen kleineren Durchmesser hat, und eine dritte Formungsrolle 38, welche einen grösseren Durchmesser als die Rollen 34 und 36 hat und so angeordnet ist, dass sie auf der der unteren Halterolle 34 entgegengesetzten Seite über dem Dorn liegt. Die untere Halterolle 34 und die seitliche Halterolle 36 haben allgemein zylindrische Umfangsoberflächen und dienen dazu, mit der Umfangsoberfläche des Dorns 32 in Eingriff zu treten und sie bzw. ihn gegen die Formungsrolle 38 abzustützen. Die Formungsrolle 38 hat eine Umfangsoberfläche mit einem Oberflächenprofil, das der Oberflächenkonfiguration der Rippen 12 des metallischen Streifens 20 entspricht, so dass sie der Oberfläche des gerippten, metallischen Streifens angepasst ist, während der Streifen spiralförmig zu dem Wärmeübertragungsrohr 10 geformt wird.

Beispielsweise kann der Dorn 32 mit einer spiralförmigen Sinuswellen-Oberflächenkonfiguration versehen sein, damit er der gegenüberliegenden Oberfläche des gerippten Streifens 20 angepasst ist, wenn der Streifen zu dem Rohr 10 geformt wird. Die Halterollen 34 und 36 sowie die Formungsrolle 38 sind so gelagert, dass sie sich um Achsen drehen, die winklig relativ zur Achse des zylindrischen Dorns 32 vorgesehen sind, wie an sich bekannt ist.

Im Betrieb wird ein Streifen einer geeigneten Metallplatte oder eines Bandes mittels Konturwalzen so geformt, dass in Längsrichtung verlaufende Rippen gebildet werden, so dass ein gerippter Streifen entsteht, wie in Fig. 2 gezeigt. Der gerippte Streifen oder die Platte wird zwischen die Formungsrolle 38 und den Dorn 32 tangential zur Umfangsfläche des Dorns 32 und der Formungsrolle 38 in einer Richtung, die senkrecht zu einer die Rotationsachse der Formungsrolle 38 enthaltenden Vertikalebene verläuft, eingegeben.

Die Formungsapparatur 30 arbeitet so, dass sie den Streifen 20 zu einer schraubenförmig gewickelten, rohrförmigen Konfiguration formt, bei der sich die Seitenkanten 22 und 24 in gegenseitiger Anlage befinden. Danach werden die Seitenkanten des schraubenförmig gewickelten Streifens 20 mittels irgendeiner bekannten Schweisstechnik einschliesslich Elektronenstrahl- oder Laserstrahlschweissung, fluiddicht aneinander befestigt. Die Oberflächenerweiterungen oder Rippen 12, die vor der Spiralförmung ursprünglich in Längsrichtung des Streifens 20 verliefen, bilden nun eine kontinuierliche, spiralförmige oder schraubenförmige, gerippte Oberfläche sowohl auf der Innen- als auch auf der Aussenseite des Rohrs 10.

Beim Formen des Wärmeübertragungsrohrs 10 wird der metallische Streifen 20 so geformt, dass er einen Steigungswinkel zwischen etwa 30 und 60° bildet, wobei dieser Steigungswinkel der Winkel ist, der von der Achse des Rohrs und einer Ebene eingeschlossen wird, welche die Achse des Rohrs schneidet und tangential zu einer Stelle auf der Linie von aneinander anliegenden Seitenkanten des gewickelten Streifens ist. In Fig. 1 ist der Steigungswinkel durch den griechischen Buchstaben phi angedeutet.

Ein Vergleich der Leistungsfähigkeit der erfindungsgemäss hergestellten schraubenlinienförmig gerippten Wärmeübertragungsrohre mit derjenigen von bekannten handelsüblichen, schraubenlinienförmig gerippten und geraden Rohren kann dadurch angestellt werden, indem für jedes Rohr ein Rohrleistungsfaktor definiert wird, der das Verhältnis der Stantonzahl zum Reibungsfaktor multipliziert mit der Prandtl-Zahl zur 2/3-Leistung umfasst. Der Leistungsfaktor kann dann als Ordinate gegen die Reynolds-Zahl als Abszisse aufgetragen werden. Die Prandtl-Zahl ist notwendig, um den unterschiedlichen Eigenschaften des Kühlmittels Rechnung zu tragen, das bei der oben erwähnten mathematischen Ableitung als unverändert angenommen wurde. Bei einer Reynolds-Zahl von weniger als 60 000 und für konstanten Massenfluss, führte ein erfindungsgemäss ausgestaltetes schraubenlinienförmig geripptes Rohr zu einem Leistungsfaktor wesentlich grösser als 1. Bei einer Reynolds-Zahl von 30 000 wurde für ein erfindungsgemäss ausgebildetes, schraubenlinienförmig geripptes Rohr mit einem Rippensteigungswinkel von etwa 30° ein Leistungsfaktor von 2 erzielt, während sich bei 45° ein Leistungsfaktor von 1,37 ergibt.

Bei einer Bewertung von Wärmeübertragungsrohren, basierend auf konstantem Wärmetransfer, wurde überdies fest-

gestellt, dass schraubenlinienförmig gerippte Rohre gemäss der vorliegenden Erfindung zu einem Leistungsfaktor führen, der etwa um den Faktor 2 grösser ist, als derjenige bekannter, handelsüblicher Rohre.

Zusätzlich zur besseren Wärmeübertragungsleistung sind schraubenlinienförmig gerippte Rohre gemäss der vorliegenden Erfindung wegen ihrem Herstellungsverfahren flexibler betreffend Rippenprofil und Geometrie, so dass der beste Nutzen aus der Turbulenzphysik gezogen werden kann, um bessere Wärmeübertragung und Reibungsleistung zu erzeugen. Ferner gibt das erfindungsgemässe Rohrherstellungsverfahren Einsparungen der Herstellungskosten mit der wesentlichen Möglichkeit, die Kosten für die Rohranordnungen in Wärmeaustauschern zu senken.

Wie vorstehend ausgeführt, ist es allgemein anerkannt, dass der Hauptteil des Wärmeübergangswiderstands und der Hauptteil des Oberflächenwiderstands in einem Wärmeübertragungsrohr mit dem Fluid zusammenhängt, das an der Rohrwand anliegt, der sogenannten laminaren Unterschicht, wo der Wärme- und Impulstransport vom molekularen Transport, der thermischen Leitfähigkeit und der Viskosität abhängen. Für ein gerades oder flaches, rundes Rohr kann eine Erhöhung des Wärmetransports nur erreicht werden, indem die Scherkräfte durch Vergrössern der Fluidgeschwindigkeit im Rohr erhöht werden, oder indem der Turbulenzgrad durch Aufrauen der Rohroberfläche vergrössert wird.

Beide diese Verfahren sind in ihrer Leistungsfähigkeit durch den Wert $\frac{E_n}{E_m} = 1$ begrenzt.

Gemäss einem wichtigen Merkmal des Wärmeübertragungsrohrs 10 gemäss der vorliegenden Erfindung, wird durch die schraubenlinienförmigen Rippen in der Nähe der laminaren Unterschicht eine Instabilität erzeugt, die zu einer Erhöhung des Wärmediffusionsvermögens bezüglich der Zunahme des Impulsdiffusionsvermögens führt. Wie bemerkt, sollten die Steigungswinkel der Rippen im Bereich von 30 bis 60° gegen die Axialrichtung liegen. Der genaue Winkelwert hängt vom Wert des Wärmeflusses ab. Die Höhe der Rippen bezüglich dem Rohrdurchmesser sollte grösser sein, als die relative Dicke der laminaren Unterschicht bei einer Reynolds-Zahl von 30 000. Das Verhältnis der Rippenhöhe zum Rohrdurchmesser sollte grösser als 0,01 und vorzugsweise im Bereich von etwa 0,05 bis 0,25, wobei der Rohrdurchmesser sich auf den mittleren Rippendurchmesser am Umfangskreis um die Rohrmittelachse bezieht. Die physikalischen Parameter, die den exakten Wert der Rippenhöhe zum Rohrdurchmesser bestimmen, sind der Wärmefluss und der Steigungswinkel der Schraubenlinie, welche beide mit dem Verhältnis von Rippenhöhe zu Rohrdurchmesser zunehmen.

Die Anzahl Rippen für ein bestimmtes Rohr ist eine Funktion des reziproken Verhältnisses der Rippenhöhe und des Durchmessers und sollte zwischen 12 und 64 liegen. Die genaue Anzahl hängt vom Verhältnis der Rippenhöhe und des Durchmessers ab, was, wie ausgeführt, eine Funktion des Wärmeflusses und des Steigungswinkels ist. Wie ebenfalls schon früher erwähnt, sollten die Rippenformen vor dem schraubenlinienförmigen Wickeln einer mathematisch glatten Kurve nahekommen, wie sie aus Kreisbogenförmigen Erhebungen und Tälern, verbunden mit einer Tangente zu beiden Kreisbogen oder andererseits aus einer Fläche, deren Schnitt mittels einer transzendenten Funktion, wie einer Sinuskurve, beschrieben werden kann, ergibt.

Fig. 1.

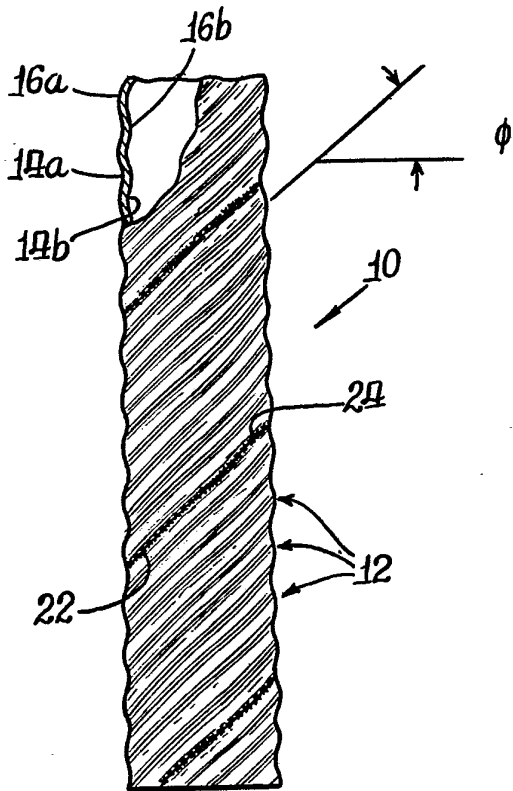


Fig. 2a.

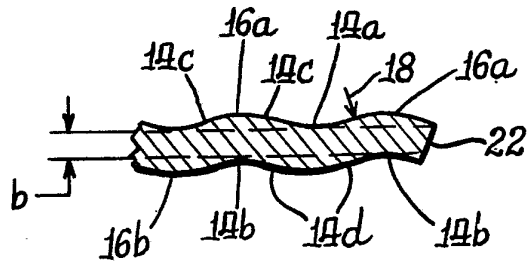


Fig. 2.

