

(12)

PATENTCHRIFT

(21) Anmeldenummer: 760/88

(51) Int.Cl.⁵ : B21B 19/04

(22) Anmeldetag: 22. 3.1988

(42) Beginn der Patentdauer: 15. 5.1991

(45) Ausgabetag: 25.11.1991

(30) Priorität:

27. 3.1987 JP 62-75226 beansprucht.

(56) Entgegenhaltungen:

DE-AS1602039 DE-OS3220921 GB-PS2067112

(73) Patentinhaber:

SUMITOMO METAL INDUSTRIES LTD.
OSAKA-SHI (JP).

(54) VERFAHREN ZUM HERSTELLEN NAHTLOSER ROHRE DURCH LOCHEN

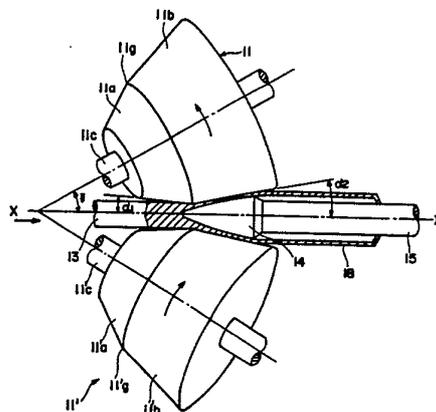
(57) Bei dem Verfahren zum Herstellen nahtloser Rohre durch Lochen läßt sich das Lochen eines massiven Knüppels durch ein Lochwalzwerk in einem Durchlauf ausführen. Dabei liegt das Lochverhältnis über 4,0 oder das Aufweitungsverhältnis über 1,5 oder das Verhältnis von Stärke zu Außendurchmesser der Wand unter 6,5%. Das kegelförmige Walzen aufweisende Lochwalzwerk wird so verwendet, daß sein Vorschubwinkel Beta und sein Schrägwinkel Gamma die folgenden Beziehungen erfüllen:

8° kleiner gleich Beta kleiner gleich 20°

5° kleiner gleich Gamma kleiner gleich 35°

15° kleiner gleich Beta+Gamma kleiner gleich 50° ,
wobei der Durchmesser d_0 des massiven Knüppels,

der Außendurchmesser d und die Wandstärke t der hohlen Rohrluppe nach dem Lochen eine vorbestimmte Bedingung für die Herstellung erfüllen. Dadurch läßt sich die gesamte Herstellungsvorrichtung wesentlich vereinfachen.



Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Herstellen nahtloser Rohre, bei dem kegelförmige Walzen mit einem Vorschubwinkel β und einem Schrägwinkel γ an beiden Enden gelagert und einander gegenüber angeordnet sind, wobei eine Walzgutachse zwischen den Walzen verläuft.

5 Derartige Verfahren sind z. B. aus der DE-AS 1 602 039, der DE-OS 32 20 921 und der GB-PS 2 067 112 bekannt.

Bislang werden als Verfahren zum Herstellen nahtloser Rohre überwiegend die Mannesmann-Stopfenwalzwerkverarbeitung oder die Mannesmann-Dornwalzwerkverarbeitung verwendet. Bei diesen Vorgängen wird der durch einen Vorwärmofen auf die vorgeschriebene Temperatur erhitzte massive Knüppel mittels eines Lochwalzwerks zu einem stangenähnlichen Hohlkörper gelocht, der durch ein Streckwerk, z. B. ein Stopfenwalzwerk oder ein Dornwalzwerk, zu einer hohlen Rohrluppe gewalzt wird, indem hauptsächlich seine Wandstärke reduziert wird; dann wird der Außendurchmesser durch ein Reduzierwerk, etwa einen Kalibrierer oder ein Streck-Reduzierwerk, reduziert, um fertige nahtlose Rohre mit den vorgesehenen Abmessungen zu erhalten.

Die GB-PS 2 067 112 zeigt ein Verfahren zur Herstellung eines Rohres mit vorbestimmtem Außendurchmesser, mit nur einem Rotations-Lochwalzwerk und zumindest einem Streck-Glättwalzwerk. Das Rotations-Lochwalzwerk ist nur ein übliches Rotations-Lochwalzwerk, wie auch das Streck-Glättwalzwerk nur ein übliches Streck-Glättwalzwerk ist. Dieses Verfahren zielt darauf ab, einen Arbeitsprozeß nach Verwendung eines Stopfenwalzwerks wegzulassen, u. zw. durch das Vorsehen eines modifizierten Rotationsstreckwerks bei einem Verfahren zum Herstellen nahtloser Rohre mit mittlerem Durchmesser, wobei ein Rotations-Lochwalzwerk, ein Rotationsstreckwerk, ein Stopfenwalzwerk, ein Glättwalzwerk und ein Kalibrierer, u. zw. in dieser Reihenfolge, verwendet werden.

Das in den Figuren 1 und 2 der GB-PS 2 067 112 gezeigte Lochwalzwerk hat einen Schrägwinkel γ von 0° .

Die DE-OS 32 20 921 bezieht sich auf Anordnungen zum Anschließen eines Reduzierwerks, wie eines Reduzierers oder eines Kalibrierers an ein Planeten-Schrägwalzwerk, das als Planeten-Streckwerk verwendet wird, dessen Gehäuse sich dreht, wogegen das Rohrmaterial nicht rotiert. Das Lochwalzwerk wird als Streckwerk verwendet, dessen Ziel die Reduzierung der Wanddicke des Rohres ist, das mittels des Lochwalzwerks gelocht wird, wobei ein Dorn in das hohle Werkstück eingeführt wird. Dabei ist ein automatischer Vorschub von einem Planeten-Streckwerk zu einem gewöhnlichem Reduzierwerk, wie einem Reduzierer oder einem Kalibrierer, vorgesehen.

Die DE-AS 1 602 039 ist auf eine Anordnung zum Reduzieren der Rohrenden eines dickwandigen Rohres gerichtet, das von einem Lochwalzwerk mittels eines ersten Reduzierwalzwerks zugeführt wird, wie deutlich den Ansprüchen und auch den Zeichnungen entnehmbar ist. Diese Druckschrift zeigt die Kombination eines Lochwalzwerks und eines ersten Reduzierwalzwerks unter Verwendung von geteilten Gesenken, wodurch das Ziel des Vorhaltes, d. h. die Erhöhung der Streckgeschwindigkeit erreicht wird.

Bei dem in der DE-AS 1 602 039 gezeigten Lochwalzwerk beträgt der Schrägwinkel γ 0° .

Im folgenden wird die DE-OS 3 112 742 der Pateninhaberin beschrieben, die insbesondere ein Lochverfahren bei einem derartigen Herstellungsvorgang für nahtlose Rohre offenbart.

Bei diesem Verfahren werden ein Vorschubwinkel β (ein Winkel, den die Walzenachse mit der vertikalen Ebene der Walzgutachse bildet) und ein Schrägwinkel γ (Winkel, den die Walzenachse mit der horizontalen Ebene der Walzgutachse bildet) kegelförmiger Hauptwalzen, welche an beiden Enden gelagert sind und in horizontal oder vertikal entgegengesetztem Verhältnis zu der zwischen ihnen befindlichen Knüppel-/Hohlkörper-Walzgutachse angeordnet sind, in den folgenden Bereichen gehalten:

$$\begin{aligned}
 45 \quad & 3^\circ < \beta < 25^\circ \\
 & 3^\circ < \gamma < 25^\circ \\
 & 15^\circ < \beta + \gamma < 45^\circ,
 \end{aligned}$$

und Scheibenwalzen, welche in vertikal oder horizontal entgegengesetztem Verhältnis zwischen den Hauptwalzen mit der zwischen diesen befindlichen Walzgutachse angeordnet sind, werden während der Lochoperation gegen den Knüppel und den Hohlkörper gepreßt.

Die frühere Erfindung nach der DE-OS 3 112 742 ist grundlegend anders als das Lochprinzip der Mannesmann-Verarbeitung, bei der das Lochen unter einem sogenannten Walzverformungseffekt (Mannesmann-Effekt) durchgeführt wird, wogegen bei der früheren Erfindung (1) das Auftreten des Walzverformungseffektes (Mannesmann-Effekt) so weit wie möglich verringert wird und (2) die während des Lochvorgangs erzeugte Umfangsscherdeformation $\Upsilon_{\gamma\theta}$ oder Oberflächentorsionsscherdeformation $\Upsilon_{\theta\gamma}$ so weit wie möglich verringert wird, um den Metallfluß zu bewirken, der dem Strangpreßvorgang gleichwertig oder proportional ist, obwohl es sich um ein Schrägwalzen handelt.

Zu diesem Zweck ist das Lochwalzwerk so aufgebaut, daß es das Lochen mit großem Schrägwinkel und

großem Vorschubwinkel gestattet; die Hauptwalzen sind konisch ausgebildet, und anstelle von Gleitschuhen werden Scheibenwalzen verwendet. Da man dadurch den Walzverformungseffekt (Mannesmann-Effekt) beseitigt, um die Entstehung von Innenflächendefekten zu verringern, und insbesondere ein Scherkraftfeld von der Umfangsscherdeformation γ_{θ} befreit, um die Ausbreitung von Innenflächendefekten zu verhindern, wird die

5 Rohrherstellung aus sogenannten schwerverarbeitbaren Materialien wie hochlegierte und superlegierte Materialien u. d., beispielsweise Inconel, Hastelloy etc., insbesondere aus Automatenstahl und rostfreiem Stahl möglich, für den man bisher auf den Ugine-Sejournet-Strangpreßvorgang zurückgreifen mußte.

Zudem können bei einem stranggegossenen Gußkörper mit Mitteldurchlässigkeit Rohre hergestellt werden, ohne Innenbohrungsdefekte zu erzeugen, wodurch die Vorteile der Rationalisierung, wie etwa bei den
10 Herstellungskosten u. d., beträchtlich erhöht werden.

Generell lassen sich Längs-, Quer- und Umfangsverzerrungen ψ_l , ψ_{γ} und ψ_{θ} beim Lochen durch die folgenden Gleichungen darstellen, wobei der Außendurchmesser und die Länge des massiven Knüppels vor dem Lochen mit d_0 , l_0 und diese Abmessungen und die Stärke eines Hohlkörpers nach dem Lochen als d , l und t bezeichnet werden:

15

$$\psi_l = \ln \frac{l}{l_0} = \ln \frac{d_0^2}{4(d-t)t}$$

20

$$\psi_{\gamma} = \ln \frac{2t}{d_0}$$

25

$$\psi_{\theta} = \ln \frac{2(d-t)}{d_0}$$

30

In diesem Fall gilt $\psi_l + \psi_{\gamma} + \psi_{\theta} = 0$.

Obwohl in der Praxis die Werte des Lochverhältnisses und des Rohraufweitungsverhältnisses verwendet werden, repräsentieren diese den Deformationsbetrag nicht präzise, sondern definiert als

35

$$\text{Lochverhältnis} \frac{l}{l_0} = \frac{d_0^2}{4t(d-t)}$$

40

Rohraufweitungsverhältnis d / d_0 ,

die lediglich Kriterien für den Deformationsgrad sind.

Da die Auswirkungen dieser Beträge jedoch klar sind, werden sie oft als Beträge für die Deformation verwendet und auch in der folgenden Beschreibung derart benutzt.

Obwohl beim gewöhnlichen Lochen das Lochverhältnis nur etwa 3,0 ~ 3,3 und das Rohraufweitungsverhältnis etwa 1,05 ~ 1,08 beträgt, basierte die frühere Erfindung des Anmelders auf derartigen üblichen Be-
45 reichen.

Wenn dementsprechend das Lochverhältnis oder Rohraufweitungsverhältnis weit über diese Beträge ansteigt, wird der Walzverformungseffekt stark vergrößert, so daß beim Lochen ein beträchtliches Umfangsscherkraftfeld verursacht wird, welches unausweichlich zur Bildung eines Innenflächendefektes führt, wodurch ein doppeltes
50 Lochsystem unter Benutzung zweier Lochwalzwerkanlagen verwendet werden mußte.

Dies bedeutet, daß der Knüppel mittels des ersten Lochwalzwerks mit einer Bohrung versehen werden mußte und mittels des zweiten Lochwalzwerks durch weitere Streckung (in diesem Fall wird das zweite Lochwalzwerk als Rotationsstreckwerk bezeichnet) oder durch Rohraufweitung um 30 bis 50 % (in diesem Fall wird das zweite Lochwalzwerk als Rotationsaufweiter - rotary expander - bezeichnet) verkleinert wurde.

55 Ziel der Erfindung ist die Schaffung eines Verfahrens zum Herstellen nahtloser Rohre, bei dem es möglich ist, das Lochen mit einem Lochwalzwerk anstatt der bislang verwendeten zwei Lochwalzwerke durchzuführen.

Dieses Ziel wird mit einem Verfahren der eingangs angegebenen Art dadurch erreicht, daß erfindungsgemäß die Winkel in den folgenden Bereichen gehalten werden:

$$\begin{aligned} 8^\circ &\leq \beta \leq 20^\circ \\ 5^\circ &\leq \gamma \leq 35^\circ \\ 15^\circ &\leq \beta + \gamma \leq 50^\circ \end{aligned}$$

und gleichzeitig der Durchmesser d_0 des massiven Knüppels, der Außendurchmesser d und die Wandstärke t einer hohlen Rohrluppe nach dem Lochen durch die folgende Gleichung festgelegt sind:

$$1,5 \leq -\psi_\gamma / \psi_\theta = 4,5$$

wobei

$$\psi_\gamma = \ln \frac{2t}{d_0} \text{ und}$$

$$\psi_\theta = \ln \frac{2(d-t)}{d_0} \text{ ist,}$$

und das Lochverhältnis über 4,0, das Rohraufweitungsverhältnis über 1,15 und das Wandstärke-/Außendurchmesser-Verhältnis unter 6,5 % gehalten wird.

Dadurch läßt sich das Dünnwandlochen bei hoher Verarbeitungseffizienz durch einen einzigen Prozeß für fast alle Vorgänge bei der Herstellung nahtloser Rohre durchführen.

Es ist ein Vorteil der Erfindung, daß sie ein Verfahren zum Herstellen nahtloser Rohre schafft, bei dem 90 bis 95 % der gesamten Verarbeitung mit dem Lochwalzwerk durchgeführt werden können. Dies bedeutet, daß die Erfindung die mit einem Lochwalzwerk erfolgende Herstellung einer hohlen Rohrluppe betrifft, welche dem Endprodukt nahekommt.

Ein weiterer Vorteil der Erfindung besteht darin, daß sie ein Lochverfahren schafft, bei dem die Entstehung und Ausbreitung von Innenflächendefekten verringert wird.

In vorteilhafter Weiterbildung der Erfindung kann beim Herstellen nahtloser Rohre mit mittlerem Durchmesser eine nach dem erfindungsgemäßen Verfahren hergestellte hohle Rohrluppe in an sich bekannter Weise mit einem Stopfenwalzwerk gestreckt und mit einem Kalibrierer kalibriert werden, nachdem das Glätten erfolgt ist.

Es wird also vorteilhaft das Weglassen des Rotationsstreckwerks durch das Lochen mit hoher Verarbeitungseffizienz gemäß dem erfindungsgemäßen Verfahren erreicht.

Weiters kann beim Herstellen nahtloser Rohre mit mittlerem Durchmesser der Durchmesser einer nach dem erfindungsgemäßen Verfahren hergestellten hohlen Rohrluppe direkt in an sich bekannter Weise mit einem Kalibrierer kalibriert werden.

Dadurch ist ein Herstellungs-Verfahren mittels eines Kalibrierers mit hoher Verarbeitungseffizienz gemäß dem erfindungsgemäßen Verfahren erreicht, wobei ein Rotationsstreckwerk, ein Stopfenwalzwerk und ein Glättwalzwerk entbehrlich sind.

Beim Herstellen nahtloser Rohre mit kleinem Durchmesser ist vorteilhaft, wenn eine nach dem erfindungsgemäßen Verfahren hergestellte hohle Rohrluppe mittels eines Dornwalzwerks, welches weniger als vier Ständer aufweist, mit einem Streckverhältnis von weniger als 2,5 gestreckt wird und anschließend der Außendurchmesser der hohlen Rohrluppe mittels eines Streck-Reduzierwerks oder eines Kalibrierers zum Kalibrieren reduziert wird.

Beim Herstellen nahtloser Rohre mit kleinem Durchmesser kann der Außendurchmesser einer nach dem erfindungsgemäßen Verfahren hergestellten hohlen Rohrluppe direkt in an sich bekannter Weise mittels eines Streck-Reduzierwerks oder eines Kalibrierers zum Kalibrieren reduziert werden. Wegen des Lochens mit hoher Verarbeitungseffizienz, die sich aus den angegebenen Merkmalen beim Herstellen der hohlen Rohrluppe nach dem erfindungsgemäßen Verfahren ergibt, können also nahtlose Rohre mit kleinem Durchmesser vorteilhaft ohne ein Streckwerk, wie einem Dornwalzwerk erzeugt werden. Der Außendurchmesser des hohlen Werkstückes

wird direkt mittels des Streck-Reduzierwerks reduziert, wodurch der vorbestimmte Durchmesser und die Dicke erzielt werden.

Weiters kann beim Herstellen nahtloser Rohre das an sich bekannte Kalibrieren gleichzeitig mit dem erfindungsgemäßen Lochprozeß durchgeführt werden.

5 Das Verfahren zum Herstellen nahtloser Rohre ist also auf die Verwendung nur eines Lochwalzwerks mit hoher Verarbeitungseffizienz gerichtet. Dadurch wird ein beträchtlicher Teil einer herkömmlichen Vorrichtung weggelassen, und folglich lassen sich Energieverbrauch, Raumbedarf und Herstellungskosten verringern.

10 Im folgenden wird die Erfindung im Zusammenhang mit den Zeichnungen genauer erläutert und auf der Basis der Ergebnisse der vom Erfinder durchgeführten Experimente genauer beschrieben; es zeigen Fig. 1 eine schematische Draufsicht der Vorrichtung zum Durchführen des erfindungsgemäßen Verfahrens, Fig. 2 eine schematische Seitenansicht der Vorrichtung zum Durchführen des erfindungsgemäßen Verfahrens, Fig. 3 eine schematische Vorderansicht der Vorrichtung zum Durchführen des erfindungsgemäßen Verfahrens, Fig. 4 eine teilweise geschnittene Ansicht einer Lagervorrichtung des Hauptwalzenachsendes eines schräggeneigten Lochwalzwerks, das bei dem erfindungsgemäßen Verfahren verwendet wird, und Fig. 5 eine teilweise geschnittene Ansicht einer
 15 Lagervorrichtung des Hauptwalzenachsendes eines herkömmlichen schräggeneigten Lochwalzwerks.

Lochbedingungen

20 Beim Beanspruchen eines Lochwalzwerks gemäß der früheren Erfindung bis an die Grenze des Lochverhältnisses und des Rohraufweitungsverhältnisses, d. h. während des Dünnwandlochens bei hoher Verarbeitungseffizienz durch Lochen mit dem hohen Lochverhältnis und dem hohen Rohraufweitungsverhältnis, und beim Fortführen der Studien und der Forschung unter großer Änderung der Lochbedingungen hat sich erwiesen, daß die Bedingungen, die beim Lochen mit dem allgemeinen Lochverhältnis oder Rohraufweitungsverhältnis fast vernachlässigbar waren, derart hervortraten, daß sie im Falle eines derartigen Dünnwandlochens bei hoher Verarbeitungseffizienz Probleme verursachten.

25 Dabei geht es darum, ob der Lochvorgang durchgeführt werden kann oder nicht, und darum, grundlegende Prinzipien darüber zu ermitteln, wie man beim Lochen die Walzreduzierung der Wanddicke axial und umfangsmäßig verteilen soll. Jede Abweichung von den Prinzipien kann ein Ausbeulen (ein Vorwölbungsphänomen) erzeugen oder ein Blockieren oder Aufheben des Lochvorgangs selbst bewirken.

30 Die Ergebnisse der Experimente, die vornehmlich im Zusammenhang mit der Frage durchgeführt wurden, wie die Stärkenreduzierung beim Walzen in Längsrichtung und umfangsmäßig verteilt werden muß, werden nicht erläutert.

35 Unter Verwendung eines schräggeneigten Walzwerktyps ist ein möglicher Lochbereich, innerhalb dessen das Lochen ohne Verursachung von Ausbeulen ("flaring") oder Blockieren möglich ist, bei den Lochexperimenten untersucht worden, wie etwa beim Verändern der Durchmesser der massiven Knüppel und Stopfen durch Veränderung des Vorschubwinkels β der Hauptwalzen in 7 Schritten von 8° bis 20° mit einem Intervall von 2° zwischen diesen Beträgen und Veränderung des Schrägwinkels in 7 Schritten von 5° bis 35° mit 5° Intervallen zwischen diesen Beträgen.

40 In diesem Fall beträgt der Durchmesser des Kehlenabschnittes der Hauptwalzen 350 mm, und die Rotationsgeschwindigkeit ist 60 upm. Zum Halten der hohlen Rohrluppe wurden Gleitschuhe oder Scheibenwalzen mit 900 mm Durchmesser verwendet, um auf die Lochbarkeit ausgeübte Einflüsse zu vergleichen. Probeknüttel bestanden aus einem geschmiedeten unlegierten Stahlmaterial in 4 Arten mit den Durchmessern 55 mm, 60 mm, 65 mm und 70 mm. Es wurden 7 Arten Stopfen mit den Durchmessern 50 mm, 55 mm, 60 mm, 70 mm, 80 mm, 90 mm und 100 mm verwendet. Bei den Experimenten wurden alle Kombinationen zwischen jedem Knüttel und jedem Stopfen erprobt.

45 Der als Resultat ermittelte Zustand, bei dem ein Lochen ermöglicht wird, wird durch die folgende Gleichung ausgedrückt

$$1,5 \leq -\psi_\gamma / \psi_\theta \leq 4,5 \quad \dots (1)$$

50

Unter der Voraussetzung, daß $\psi_\gamma = \ln \frac{2t}{d_0}$,

55

gilt
$$\psi_\theta = \ln \frac{2(d-t)}{d_0} \quad \dots (3)$$

Der Grund dafür, daß $-\psi_\gamma/\psi_\theta \leq 4,5$ gilt, liegt darin, daß, falls $-\psi_\gamma/\psi_\theta > 4,5$ ist, während des Lochens ein Ausbeulen erfolgt, welches veranlaßt, daß sich die Rohrwand zwischen den Hauptwalzen und den Gleitschuhen oder Scheibenwalzen vorwölbt und schließlich das Loch unterbricht. In ähnlicher Weise besteht der Grund für $1,5 \leq -\psi_\gamma/\psi_\theta$ darin, daß, falls $1,5 > -\psi_\gamma/\psi_\theta$ gilt, der Freiraum zwischen dem Umfang der Stopfen und der hohlen Rohrluppe reduziert wird, was ein Blockieren erzeugt, welches das Loch selbst stoppt.

Auch kann, wenn die Wandstärke der hohlen Rohrluppe übermäßig dünn wird, die Rohrwand von den Scheibenwalzen eingerissen und abgeschält werden (Schälphänomen). Wenn die Scheibenwalzen verwendet werden, ergibt sich verglichen mit dem Fall, daß die Gleitschuhe verwendet werden, ein häufigeres Auftreten von Abschälen; somit schätzt man, daß der Grenzwert des Wandstärkeverhältnisses (t/d) der hohlen Rohrluppe im Falle von Scheibenwalzen ungefähr 3 % und im Falle von Gleitschuhen ungefähr 1,5 % beträgt. Obwohl die Differenz zwischen beiden Vorrichtungen nur 1,5 % beträgt, ist vom Standpunkt der Verarbeitungseffizienz der Grenzwert der ersteren so groß oder wichtig wie derjenige der letzteren, und vom Standpunkt der Herstellungstechnik kann er keineswegs vernachlässigt werden.

Ferner tritt beim Dünnwandlochvorgang bei einer derart hohen Verarbeitungseffizienz der Walzverformungseffekt stärker als zuvor erwähnt auf und steigert die Metallverdrängung durch die Umfangsscherdeformation während des Lochens, so daß ein starkes Scherkraftfeld erzeugt wird. Dies bedeutet, daß eine Tendenz zum Auftreten von Innenflächendefekten und Laminierungen besteht. Um diese Probleme zu verringern, wurden die für den Vorschubwinkel β , den Schrägwinkel γ und deren Summe $\beta + \gamma$ verwendbaren Bereiche untersucht, und die Ergebnisse sind wie folgt:

$$8^\circ \leq \beta \leq 20^\circ \quad \dots (4)$$

$$5^\circ \leq \gamma \leq 35^\circ \quad \dots (5)$$

$$15^\circ \leq \beta + \gamma \leq 50^\circ \quad \dots (6)$$

Insbesondere müssen, wenn Hochlegierungsstahl eines schwerbearbeitbaren Materials bei hoher Verarbeitungseffizienz zum Erzielen einer dünnen Wand gelocht wird, die folgenden Gleichungen erfüllt werden:

$$10^\circ \leq \beta \leq 20^\circ \quad \dots (4')$$

$$25^\circ \leq \gamma \leq 35^\circ \quad \dots (5')$$

$$35^\circ \leq \beta + \gamma \leq 50^\circ \quad \dots (6')$$

Während bei der früheren Erfindung die oberen Grenzen der numerischen Bereiche des Vorschubwinkels β , des Schrägwinkels γ und ihrer Summe $\beta + \gamma$ aus Restriktionen im Zusammenhang mit dem mechanischen Aufbau abgeleitet wurden, werden bei der vorliegenden Erfindung, wie später beschrieben wird, aufgrund von Verbesserungen der Lagervorrichtung des Walzenachsens an der Einlaßseite die Restriktionen hinsichtlich β , γ und $\beta + \gamma$ im Zusammenhang mit dem mechanischen Aufbau aufgehoben, und die oberen Grenzwerte werden auf der Basis der Umfangsscherdeformation γ_θ auf gleiche Weise wie die Untergrenzen bestimmt.

Dies bedeutet, daß der Grund für $\gamma \leq 35^\circ$ darin besteht, daß, falls $\gamma > 35^\circ$, die Metallverdrängung durch die Umfangsscherdeformation überwiegt, so daß ein umgekehrter Metallfluß auftritt. Der gleiche Grund liegt für den Vorschubwinkel β vor, da, falls $\beta > 20^\circ$, der Metallfluß als Ergebnis des von 25° auf 35° beträchtlich vergrößerten oberen Grenzwertes des Schrägwinkels γ umgekehrt wird. Dies gilt auch für den oberen Grenzwert der Summe des Vorschubwinkels β und des Schrägwinkels γ .

Die unteren Grenzwerte des Vorschubwinkels β , des Schrägwinkels γ und ihrer Summe $\beta + \gamma$ werden bestimmt, indem die Grenzwerte berücksichtigt werden, bei denen die durch den Walzverformungseffekt (Mannesmann-Effekt) verursachte Innenflächendefektbildung und die Umfangsscherdeformation verhindert werden können.

Beispiel der Vorrichtung zum Ausführen des Verfahrens

Im folgenden wird im Zusammenhang mit Fig. 1 - 4 der Aufbau eines bei den Ausführungsformen der Erfindung verwendeten Lochwalzwerks insbesondere für den Fall des mit hoher Lochrate und Rohraufweitungsraten erfolgenden Dünnwandlochs bei hoher Verarbeitungseffizienz beschrieben.

Die Hauptwalzen (11), (11') sind konisch geformt und weisen Walzenflächen (11a), (11a') mit einem

Einlaßflächenwinkel (α_1) an der Einlaßseite eines massiven Knüppels (13) und Walzenflächen (11b), (11b') mit einem Auslaßflächenwinkel (α_2) an der Auslaßseite auf, wobei Kehlenabschnitte (11g), (11g') an der Schnittstelle zwischen den Walzenfläche (11a), (11a') an der Einlaßseite und den Walzenflächen (11b), (11b') an der Auslaßseite ausgebildet sind und jede Walzenachse (11c), (11c') an ihren beiden Enden durch Lager (16a), (17a) an Lagerrahmen (16), (17) gelagert ist. Die Walzenachsen (11c), (11c') sind derart angeordnet, daß sich ihre Verlängerungen mit einem gleichen Vorschubwinkel (β) in entgegengesetzten Richtungen in bezug auf eine horizontale Ebene oder, abweichend von der Figur, in einer vertikalen Ebene erstrecken, die eine Walzgutachse (X-X) einschließt, durch die der massive Knüppel (13) läuft, und daß die Verlängerungen sich mit einem symmetrischen Schrägwinkel (γ) in bezug auf eine vertikale Ebene oder, abweichend von der Figur, in bezug auf eine horizontale Ebene kreuzen, die die Walzgutachse (X-X) einschließt, und daß sie in der Lage sind, einander mit einer gleichen Winkelgeschwindigkeit in der gleichen Richtung zu rotieren wie durch den Pfeil gezeigt.

Wie Fig. 3 zeigt, sind zwischen den Hauptwalzen (11), (11') Gleitschuhe (12), (12') angeordnet, wobei eine hohle Rohrlupe (18) von der Oberseite und der Unterseite oder abweichend von der Figur von beiden Seiten der Walzgutachse (X-X) zwischen diesen Gleitschuhen angeordnet ist. Die Gleitschuhe (12), (12') können durch angetriebene Scheibenwalzen ersetzt werden. Das Vorderende eines Lochstopfens (14), der an seinem rückwärtigen Bereich von einem Dorn (15) gehalten ist, ist an einer Stelle angeordnet, die um einen vorbestimmten Abstand von den Kehlenbereichen (11g), (11g') zur Einlaßseite des massiven Knüppels (13) hin entfernt ist.

Die Lagervorrichtung des Walzenachsens an der Einlaßseite ist im Vergleich zum Lochwalzwerk der früheren Erfindung des Anmelders beträchtlich verbessert worden.

Fig. 5 ist eine teilweise geschnittene Ansicht der herkömmlichen Lagervorrichtung des Hauptwalzenachsens. Gemäß der früheren Erfindung ist eine Hauptwalze (21) derart aufgebaut, daß ihre Achsenden, die von den Walzenoberflächen (21a), (21b) an den Einlaß- und Auslaßseiten vorstehen, von Lagern (26a), (27a) an Lagerrahmen (26), (27) gehalten werden, so daß, wenn ein Schrägwinkel über 25° beträgt, das Ende der Walzenachse dazu tendiert, in die Walzgutachse des massiven Knüppels (13) einzutreten, wobei es den Walzvorgang wesentlich behindert.

Im Gegensatz dazu sind bei einer Vorrichtung zum Ausführen des erfindungsgemäßen Verfahrens gemäß Fig. 4 beide Enden der Walzenachse (11c) der Hauptwalze (11) jeweils durch die Lager (16a), (17a) an den Stützrahmen (16), (17) gestützt, aber das Lager (16a) an der Einlaßseite ist in einem winkligen Kanal (11d) angeordnet, der durch teilweise Streckung einer Achsöffnung gebildet ist, durch welche die Walzenachse (11c) läuft, und eine Stütze für den Stützrahmen (16) ist zum größten Teil in dem ringförmigen Kanal (11d) angeordnet. Dadurch wird eine mechanische Beeinträchtigung zwischen dem Lager (16a) an der Einlaßseite und dem zugeführten massiven Knüppel vermieden, und der Schrägwinkel (γ) kann 35° angenähert werden. Somit ist der obere Grenzwert des Schrägwinkels per se beträchtlich erhöht worden, und eine Vorspannung durch die Scheibenwalzen während des Lochens ist im Gegensatz zu der früheren Erfindung nicht unbedingt erforderlich.

Beispiel 1

Obwohl ein durch Stranggießen hergestellter Gußkörper aus rostfreiem Austenitstahl eine sehr geringe Warmverarbeitbarkeit hat, wurde rostfreier Austenitstahl mit Nb-Zusatz (18Cr - 8Ni - 1Nb) von besonders geringer Warmdeformierbarkeit gewählt, und ein Knüppel mit einem Durchmesser d_0 von 60 mm wurde aus dem Mittelabschnitt des durch horizontales Stranggießen erzeugten Gußkörpers mit 187 mm Durchmesser geformt, um mit einem Schräg-Lochwalzwerk einen Dünnwand-Lochtest unter hohem Lochverhältnis durchzuführen.

Eigenschaften des Lochwalzwerks

Hauptwalzen-Schrägwinkel γ : 20°
 Hauptwalzen-Vorschubwinkel β : 16°
 Hauptwalzen-Kehldurchmesser: 350 mm
 Stopfendurchmesser: 55 mm
 Scheibenwalzendurchmesser: 900 mm

Lochbedingungen

Durchmesser d_0 des massiven Knüppels: 60 mm
 Außendurchmesser d der hohlen Rohrlupe: 60,7 mm
 Wandstärke t der hohlen Rohrlupe: 1,7 mm
 Lochverhältnis: 9,0 (Das herkömmliche maximale Lochverhältnis beträgt ungefähr 3,0 ~ 3,3)
 Rohraufweitungsverhältnis: 1,01

Wandstärke/Außendurchmesser: 2,8 % (Das herkömmliche minimale Verhältnis Wandstärke/Außendurchmesser beträgt 8 ~ 10 %)

Radiale logarithmische Verformung

$$\psi_r = \ln \frac{2t}{d_0} = -2,87$$

Umfangsmäßige logarithmische Verformung

$$\psi_\theta = \ln \frac{2(d-t)}{d_0} = 0,68$$

$$-\psi_r / \psi_\theta = 4,22$$

Das Verteilungsverhältnis von Umfangs- und Längenreduzierung war korrekt, und das Lochen erfolgte glatt, ohne daß Ausbeulen und Blockieren verursacht wurde.

Der Mannesmann-Stopfenwalzwerkprozeß wird international weitgehend als Herstellungsverfahren verwendet, insbesondere bei nahtlosen Rohren mit mittlerem Durchmesser. Bei diesem Vorgang wird das Lochen derart ausgeführt, daß zuerst der Knüppel von dem Lochwalzwerk angebohrt wird, seine Wandstärke durch ein Rotationsstreckwalzwerk reduziert wird, die Wandstärke durch ein Stopfenwalzwerk zur weiteren Reduzierung gestreckt wird, die Innenfläche des Knüppels durch ein Glättwalzwerk gewalzt wird, dann sein Außendurchmesser durch ein Reduzierwalzwerk wie einen Kalibrierer (Maßwalzwerk), ein Streck-Reduzierwalzwerk (Dehnungs-Reduzierwalze) oder ein Rotationskalibrierwalzwerk u. d. reduziert wird, um dem Knüppel seine vorgeschriebenen Endabmessungen zu geben, wogegen das erfindungsgemäße Dünnwand-Lochverfahren mit hohem Lochverhältnis dazu vorgesehen ist, die von den vier Walzwerken, d. h. dem Lochwalzwerk, dem Rotationsstreckwerk, dem Stopfenwalzwerk und dem Glättwalzwerk ausgeführten Vorgänge mit einem einzigen Schrägwalzwerk durchzuführen. Deshalb stellt das technische Konzept des hier beschriebenen Verfahrens ein überraschend vorteilhaftes Herstellungsverfahren dar. Selbstverständlich kann ein Walzwerk wie beispielsweise das Rotationsstreckwerk ohne weiteres weggelassen werden.

Da bei der Ausführungsform der Rotationschmiedeeffekt (Mannesmann-Effekt) beseitigt wird und das Scherkraftfeld aufgehoben wird, ist ein Auftreten von Innenflächendefekten kaum feststellbar, obwohl es sich beim Lochen um das überraschend vorteilhafte Lochen bei extrem dünnen Wandstärken handelt und das zu verarbeitende Material eine extrem geringe Warmverarbeitbarkeit aufweist. Der Lochvorgang erfolgte so stabil, daß Störungen wie Ausbeulen, Blockieren oder Schälen bei allen 20 Proben kaum feststellbar waren.

Was den Effekt der Erfindung beim Herstellungsprozeß für nahtlose Rohre mit reduziertem Durchmesser angeht, lassen sich von den Abläufen, die durch das Lochwalzwerk, das Rotationsstreckwerk (in den meisten Fällen nicht verwendet), das Dornwalzwerk mit 8 Ständern, den Wiederaufheizofen und den Streck-Reduzierer durchgeführt werden, die von dem Lochwalzwerk, dem Rotationsstreckwerk und dem Dornwalzwerk mit 8 Ständern durchgeführten Vorgänge von einem einzigen Schräglocher ausführen, was zum Entfallen des Kühlens der hohlen Rohrluppe und folglich zum Weglassen des Wiederaufheizofens führt. Somit ergibt sich ein unschätzbare wirtschaftlicher Vorteil, weil selbstverständlich das Dornwalzwerk, welches gewöhnlich 8 Ständer umfaßt (Streckverhältnis: max. 4,5), sehr leicht auf weniger als 4 Ständer reduziert werden kann (Streckverhältnis: weniger als 2,5), indem das Dünnwandlochen bei hoher Verarbeitungseffizienz in dem Schräglocher durchgeführt wird.

Unabhängig von dem mittleren oder geringeren Durchmesser besteht die Möglichkeit, nicht nur den Streckvorgang, sondern auch den Reduziervorgang wegzulassen. Entsprechend dem beschriebenen Verfahren läßt sich das Endprodukt mit dem einzigen Schräglocherwalzwerk erzielen, wenn beim Lochprozeß der Durchmesser festgelegt ist.

Beispiel 2

Es wurde Hochlegierungsstahl (25Cr - 20Ni) mit einer noch geringeren Warmverarbeitbarkeit gewählt, und auf gleiche Weise wie in Beispiel 1 wurde ein Knüppel mit einem Durchmesser d_0 von 55 mm aus dem Mittelabschnitt eines durch horizontales Stranggießen hergestellten Gußkörpers mit 187 mm Durchmesser geformt, um einen Dünnwandlochtest mit hohem Rohraufweitungsverhältnis durchzuführen.

Eigenschaften des Lochwalzwerks

Hauptwalzen-Schrägwinkel γ : 25°
 Hauptwalzen-Vorschubwinkel β : 12°
 Hauptwalzen-Kehldurchmesser: 350 mm
 Stopfendurchmesser: 100 mm

Lochbedingungen

Durchmesser d_0 des massiven Knüppels: 55 mm
 Außendurchmesser d der hohlen Rohrluppe: 110,8 mm
 Wandstärke t der hohlen Rohrluppe: 1,8 mm
 Lochverhältnis: 3,9 (Das herkömmliche maximale Lochverhältnis beträgt ungefähr 3,0 ~ 3,3)
 Rohraufweitungsverhältnis: 2,02 (Das herkömmliche maximale Rohraufweitungsverhältnis beträgt 1,05 ~ 1,08)
 Wandstärke/Außendurchmesser: 1,6 % (Das herkömmliche minimale Verhältnis Wandstärke/Außendurchmesser beträgt 8 ~ 10 %)
 Radiale logarithmische Verformung

$$\psi_\gamma = \ln \frac{2t}{d_0} = -2,73$$

Umfangsmäßige logarithmische Verformung

$$\psi_\theta = \ln \frac{2(d-t)}{d_0} = 1,38$$

$$-\psi_\gamma / \psi_\theta = 1,98$$

Das Verteilungsverhältnis von Umfangs- und Längenreduzierung war korrekt, und das Lochen erfolgte glatt, ohne daß Ausbeulen und Blockieren verursacht wurde.

Obwohl das Aufweitwalzwerk, ein sogenanntes Rotationsaufweitwerk, als Walzwerk zum Aufweiten der gelochten hohlen Rohrluppe zum Herstellen nahtloser Rohre mit großem Durchmesser bekannt ist, ist in Anbetracht der Tatsache, daß dessen Aufweitungsverhältnis lediglich ungefähr 1,3 ~ 1,5 beträgt und das Verhältnis zwischen der Wanddicke und dem Außendurchmesser der hohlen Rohrluppe auch lediglich 5 ~ 7 % beträgt, das technische Konzept der Erfindung, mittels derer sich das Lochen und die Rohraufweitung durch den gleichen Prozeß durchführen lassen, um das Wanddicke/Außendurchmesser-Verhältnis von 1,5 % zu erreichen, ein bahnbrechend neues Herstellungsverfahren.

Obwohl sich auch bei diesem Lochexperiment aufgrund des Lochverfahrens mit großem Schrägwinkel und Vorschubwinkel und trotz der sehr geringen Warmverarbeitbarkeit des Materials ein sehr effektives Lochen und Aufweiten erzielen ließen, war die hohle Rohrluppe nach dem Lochen frei von jeglichen Innenflächendefekten und von durch Risse in der Wanddicke erzeugten Laminierungen.

Die Lochoperation bei diesem Beispiel war zudem so gleichförmig, daß beim Lochen aller 20 Proben Störungen wie Ausbeulen und Blockieren kaum festgestellt wurden. Auch das Auftreten von Störungen durch Schälern wurde aufgrund der Gleitschuhe, die anstelle von Scheibenwalzen verwendet wurden, verhindert.

Beispiel 3

Da das Lochen unter hohem Lochverhältnis in Beispiel 1 und das Lochen unter hohem Aufweitverhältnis in Beispiel 2 erfolgreich waren, wurden in Beispiel 3 in der Hauptsache beide Locharten, d. h. sowohl das Lochen unter hohem Lochverhältnis als auch das Lochen unter hohem Aufweitverhältnis durchgeführt. Ein geschmiedetes gestrecktes Material aus hochlegiertem Stahl (30Cr - 40Ni - 3Mo) wurde als Probe verwendet, und der Durchmesser des massiven Knüppels betrug 60 mm. Die Gleitschuhe wurden beim Lochen verwendet.

Eigenschaften des Lochwalzwerks

Hauptwalzen-Schrägwinkel γ : 30°
 Hauptwalzen-Vorschubwinkel β : 14°
 Hauptwalzen-Kehldurchmesser: 350 mm
 Stopfendurchmesser: 100 mm

Lochbedingungen

Durchmesser d_0 des massiven Knüppels: 60 mm

Außendurchmesser d der hohlen Rohrlupe: 101,8 mm

Wandstärke t der hohlen Rohrlupe: 1,8 mm

5 Lochverhältnis: 5,0 (Das herkömmliche maximale Lochverhältnis beträgt ungefähr 3,0 ~ 3,3)

Rohraufweitungverhältnis: 1,70 (Das herkömmliche maximale Rohraufweitungverhältnis beträgt 1,05 ~ 1,08)

Wandstärke/Außendurchmesser: 1,8 % (Das herkömmliche minimale Verhältnis Wandstärke/Außendurchmesser beträgt 8 ~ 10 %)

10 Radiale logarithmische Verformung

$$\psi_\gamma = \ln \frac{2t}{d_0} = -2,81$$

15

Umfangsmäßige logarithmische Verformung

$$\psi_\theta = \ln \frac{2(d-t)}{d_0} = 1,10$$

20

$$-\psi_\gamma / \psi_\theta = 2,34$$

25 Das Verteilungsverhältnis von Umfangs- und Längenreduzierung war korrekt, und das Lochen erfolgte glatt, ohne daß Ausbeulen und Blockieren verursacht wurde.

Da auch bei diesem Experiment das Lochverfahren mit großem Schrägwinkel und Vorschubwinkel verwendet wurde, unabhängig davon, daß das Lochen mit beträchtlich hohem Loch- und Aufweitungverhältnis erfolgte, und das Material eine sehr geringe Warmverarbeitbarkeit aufwies, war die hohle Rohrlupe nach dem Lochen frei von jeglichen Innenflächendefekten und von durch Risse in der Wanddicke erzeugten Laminierungen. Die Lochoperation bei diesem Beispiel war zudem so gleichförmig, daß beim Lochen aller 20 Proben Störungen wie Ausbeulen, Blockieren und Schälen kaum festgestellt wurden.

Wie erwähnt, ist die Erfindung insofern vorteilhaft, als das Dünnwandlochen glatt bei hoher Verarbeitungseffizienz erfolgen kann, ohne Störungen wie Innenflächendefekte, Laminierung, Ausbeulen, Blockieren, Schälen etc. zu verursachen. Das Lochwalzwerk, das Streckwalzwerk, das Stopfenwalzwerk und das Glättwalzwerk, die bisher beim Herstellungsprozeß nahtloser Rohre mit mittlerem Durchmesser verwendet wurden, lassen sich durch ein einziges Schrägwalzwerk ersetzen; dadurch wird ein beträchtlicher Teil der herkömmlichen Vorrichtung weggelassen, und folglich lassen sich Energieverbrauch, Raumbedarf und Herstellungskosten verringern.

Die Erfindung bewirkt beim Herstellungsprozeß für nahtlose Rohre mit reduziertem Durchmesser, daß sich von den Schritten die durch das Lochwalzwerk, das Rotationsstreckwerk (in den meisten Fällen nicht verwendet), das Dornwalzwerk mit 8 Ständern, den Wiederaufheizofen und das Streck-Reduzierwerk durchgeführt werden, diejenigen Schritte, die von dem Lochwalzwerk, dem Rotationsstreckwerk und dem Dornwalzwerk mit 8 Ständern durchgeführt werden, von einem einzigen Schräglocher ausführen lassen, was zum Entfallen des Kühlens der hohlen Rohrlupe und folglich zum Weglassen des Wiederaufheizofens führt.

45

PATENTANSPRÜCHE

50

1. Verfahren zum Herstellen nahtloser Rohre, bei dem kegelförmige Walzen mit einem Vorschubwinkel β und einem Schrägwinkel γ an beiden Enden gelagert und einander gegenüber angeordnet sind, wobei eine Walzgutachse zwischen den Walzen verläuft, dadurch gekennzeichnet, daß die Winkel in den folgenden Bereichen gehalten werden:

55

$$\begin{aligned}
 8^\circ &\leq \beta \leq 20^\circ \\
 5^\circ &\leq \gamma \leq 35^\circ \\
 15^\circ &\leq \beta + \gamma \leq 50^\circ
 \end{aligned}$$

und gleichzeitig der Durchmesser d_0 des massiven Knüppels, der Außendurchmesser d und die Wandstärke t einer hohlen Rohrluppe nach dem Lochen durch die folgende Gleichung festgelegt sind:

$$1,5 \leq \psi_\gamma / \psi_\theta = 4,5$$

wobei

$$\psi_\gamma = \ln \frac{2t}{d_0} \quad \text{und}$$

$$\psi_\theta = \ln \frac{2(d-t)}{d_0} \quad \text{ist,}$$

und das Lochverhältnis über 4,0, das Rohraufweitungsverhältnis über 1,15 und das Wandstärke-/Außendurchmesser-Verhältnis unter 6,5 % gehalten wird.

2. Verfahren zum Herstellen nahtloser Rohre mit mittlerem Durchmesser, **dadurch gekennzeichnet**, daß eine nach dem Verfahren gemäß Anspruch 1 hergestellte hohle Rohrluppe in an sich bekannter Weise mit einem Stopfenwalzwerk gestreckt und mit einem Kalibrierer **kalibriert** wird, nachdem das Glätten erfolgt ist.

3. Verfahren zum Herstellen nahtloser Rohre mit **mittlerem** Durchmesser, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Durchmesser einer nach dem Verfahren gemäß Anspruch 1 hergestellten hohlen Rohrluppe direkt in an sich bekannter Weise mit einem Kalibrierer **kalibriert** wird.

4. Verfahren zum Herstellen nahtloser Rohre mit kleinem Durchmesser, **dadurch gekennzeichnet**, daß eine nach dem Verfahren gemäß Anspruch 1 hergestellte hohle Rohrluppe mittels eines Dornwalzwerks, welches weniger als vier Ständer aufweist, mit einem Streckverhältnis von weniger als 2,5 gestreckt wird und anschließend der Außendurchmesser der hohlen Rohrluppe mittels eines Streck-Reduzierwerks oder eines Kalibrierers zum Kalibrieren reduziert wird.

5. Verfahren zum Herstellen nahtloser Rohre mit kleinem Durchmesser, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Außendurchmesser einer nach dem Verfahren gemäß Anspruch 1 hergestellten hohlen Rohrluppe direkt in an sich bekannter Weise mittels eines Streck-Reduzierwerks oder eines Kalibrierers zum Kalibrieren reduziert wird.

6. Verfahren zum Herstellen nahtloser Rohre, **dadurch gekennzeichnet**, daß das an sich bekannte Kalibrieren gleichzeitig mit dem Lochprozeß gemäß Anspruch 1 durchgeführt wird.

Hiezu 4 Blatt Zeichnungen

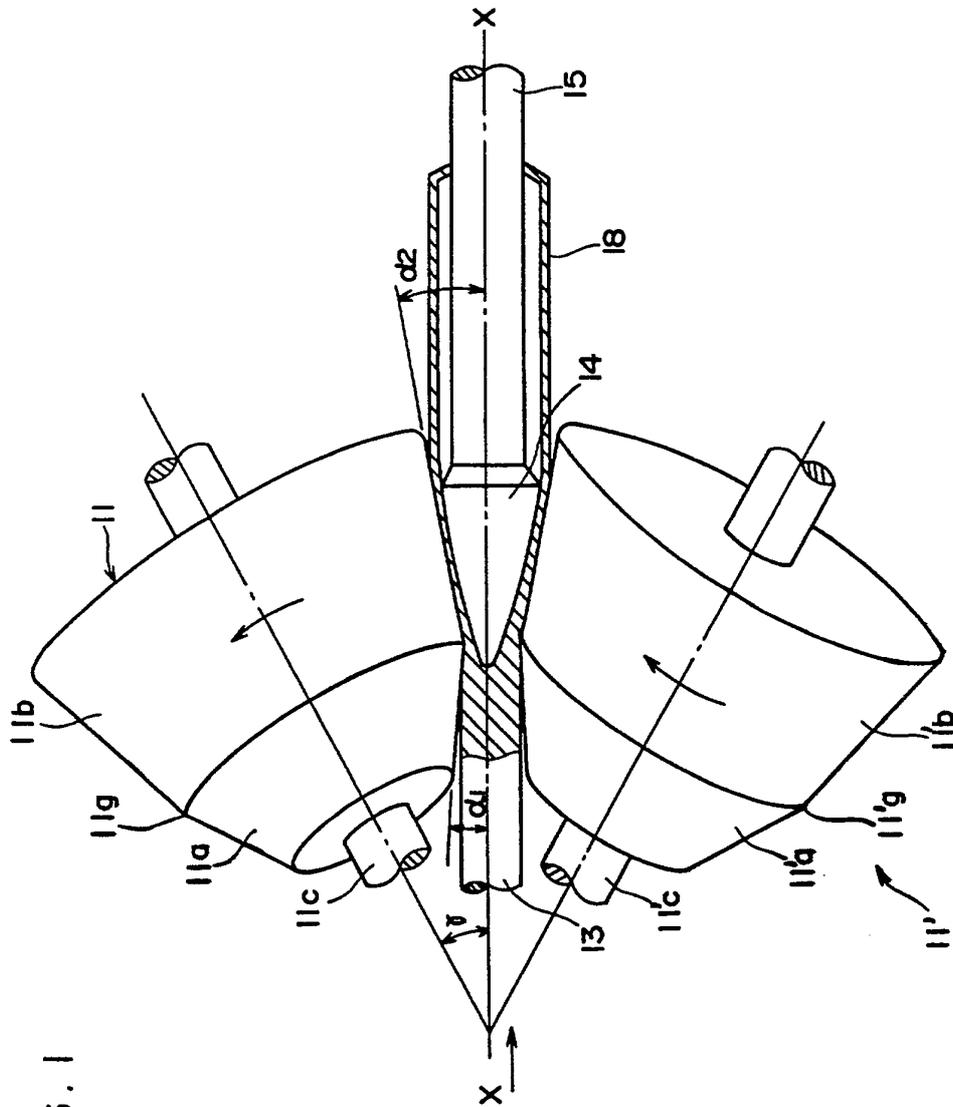


FIG. 1

FIG. 2

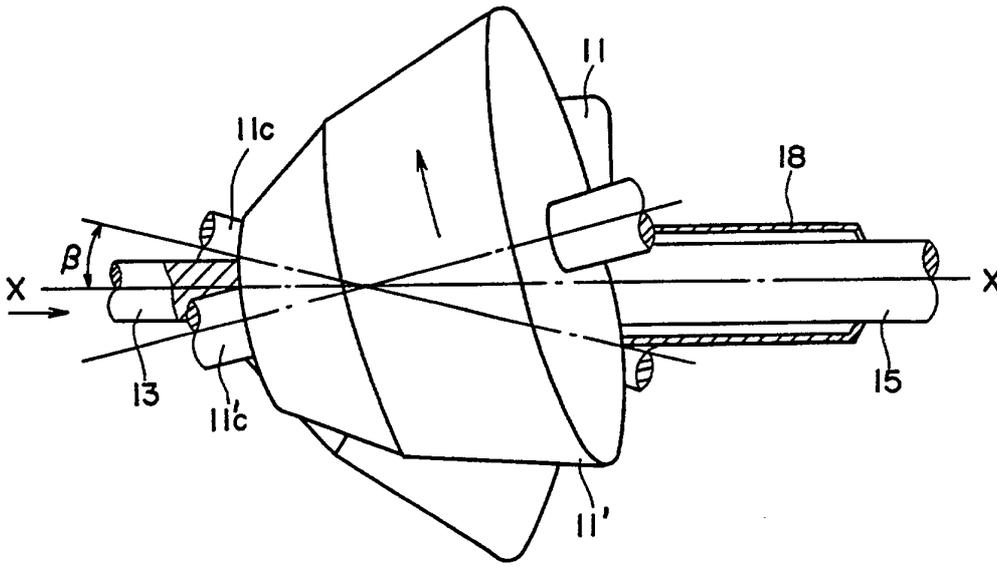


FIG. 3

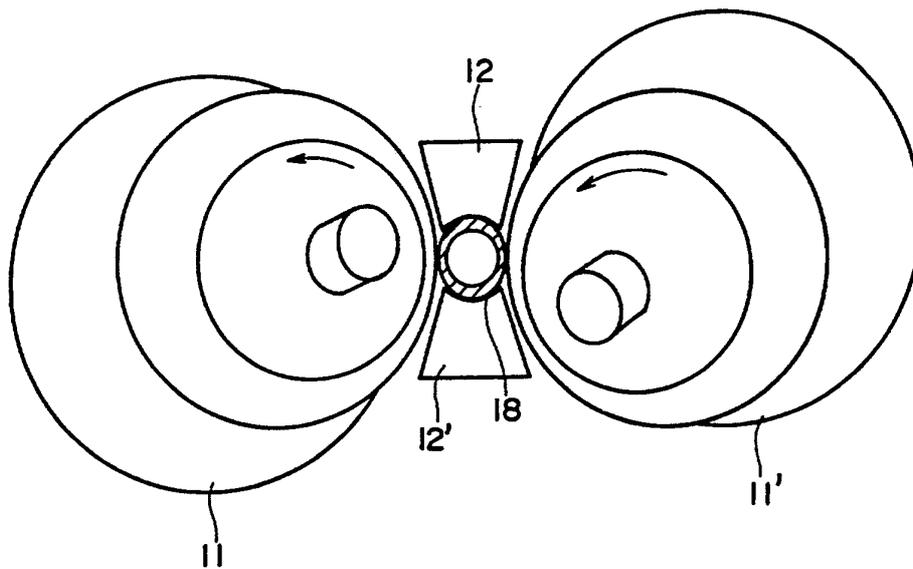


FIG. 4

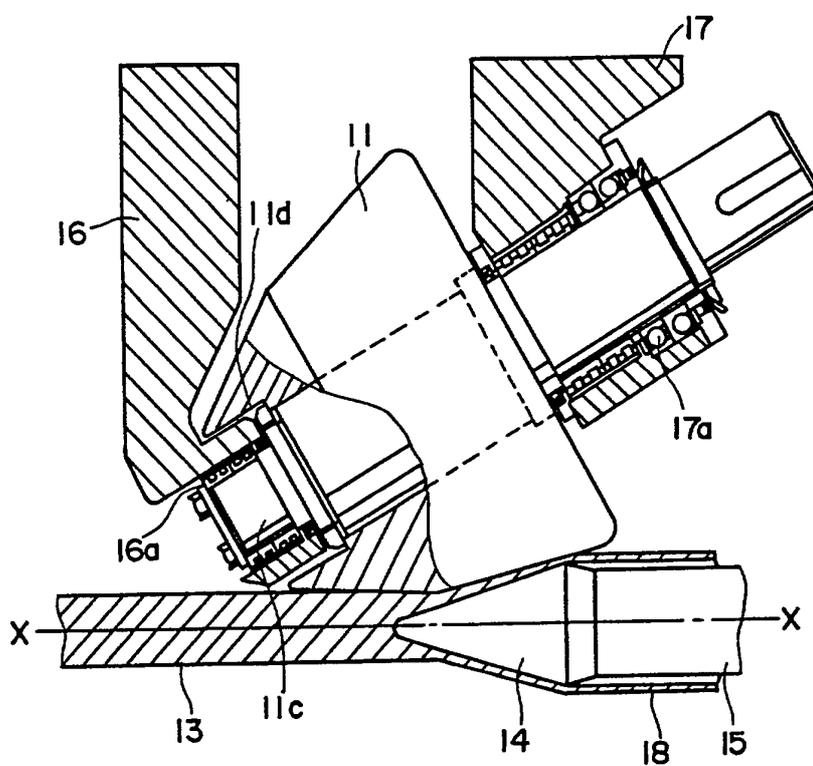


FIG. 5

