

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG


 Anmeldenummer: 85109332.8


 Int. Cl.⁴: **B 21 D 7/025**


 Anmeldetag: 25.07.85


 Priorität: 26.07.84 DE 3427639


 Veröffentlichungstag der Anmeldung:
 29.01.86 Patentblatt 86/5


 Benannte Vertragsstaaten:
 AT BE CH DE FR GB IT LI LU NL SE


 Anmelder: **COJAFEX B.V.**
Glashaven 10c
NL-3011 XH Rotterdam(NL)

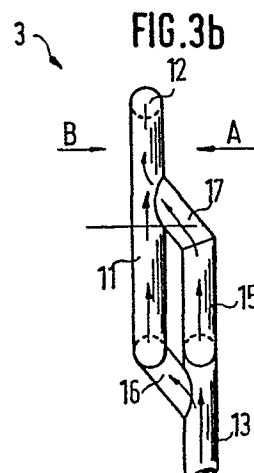

 Erfinder: **Ringersma, Jelke**
Moye Keene 122
NL-4791 BJ Klundert(NL)


 Erfinder: **Hofstede, Johannes Marinus**
Saffier 5
NL-2651 SV Berkel en Rodenrijs(NL)


 Vertreter: **Dr. Elisabeth Jung Dr. Jürgen Schirdewahn**
Dipl.-Ing. Claus Gernhardt
P.O. Box 40 14 68 Clemensstrasse 30
D-8000 München 40(DE)


Verfahren und Vorrichtung zum Biegen länglicher Werkstücke, insbesondere Rohre.


 Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Biegen länglicher Werkstücke, insbesondere Rohre, durch Aufbringen eines Biegemoments auf das Werkstück unter induktivem Erhitzen einer Querschnittszone des Werkstücks mit ungleichmäßiger Temperaturverteilung längs des Umfangs dieser Querschnittszone mittels einer das Werkstück umgebenden Induktionsschleife und unter Abkühlen des Werkstücks in mindestens einer Nachbarzone. Nach dem erfindungsgemäßen Verfahren ist vorgesehen, daß innerhalb eines auf relative niedrige Temperaturen einzustellenden Teilbereichs des Umfangs des zu biegenden Werkstücks der elektrische Strom der Induktionsschleife in mehrere Teilströme verzweigt wird, von denen mindestens einer vornehmlich auf die zu erheizende Querschnittszone und mindestens ein anderer vornehmlich auf eine Nachbarzone des Werkstücks induktiv zur Einwirkung gebracht wird, und daß die induktive Erhitzung der jeweiligen Nachbarzone durch Abkühlen teilweise oder ganz aufgehoben wird. Die Verzweigung kann vorrichtungsmäßig durch eine die Induktionsschleife (11) verzweigende Bypassleitung (15) realisiert werden.



S 926 M

Verfahren und Vorrichtung zum Biegen länglicher
Werkstücke, insbesondere Rohre

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zum Biegen länglicher Werkstücke, insbesondere Rohre, gemäß dem Oberbegriff von Anspruch 1, sowie auf eine Vorrichtung zum Ausführen des Verfahrens gemäß dem Oberbegriff von Anspruch 11. Als die induktiv aufheizbaren und somit elektrisch leitenden länglichen Werkstücke kommen neben den Rohren insbesondere auch Stäbe in Frage und allgemeiner alle solchen länglichen Werkstücke, die durch ungleichmäßige Temperaturverteilung längs des Umfangs einer erhitzten, meist schmalen, Umfangszone biegebar sind.

Ein ungleichmäßiges Erhitzen des Querschnitts z.B. von zu biegenden Rohren und allgemeiner zu biegenden länglichen Werkstücken ist in manchen speziellen Fällen von großer Bedeutung und bringt außerdem allgemein gesehen besondere Vorteile. Es gibt nämlich Werkstoffe, welche bei starker plastischer Verformung, insbesondere Dehnung, rißempfindlich sind, wenn die Verformung bei Temperaturen oberhalb des Umwandlungspunktes AC3 (ca. 800°C-Austenit) stattfindet. Wenn man nun während des Biegens eines Bogens die Temperatur an der Dehn- oder Streckseite, dem sogenannten Extrados, niedrig, z.B. auf 750°C, und an der Stauchseite, dem sogenannten Intrados, hoch, z.B. 950°C, hält, verlegt sich die neutrale Biegelinie zum Extrados hin; das ergibt mehr Stauchung am Intrados und weniger Streckung bzw. Dehnung am Extrados. Weniger Streckung am

Extrados ist nicht nur vorteilhaft, weil dadurch dort die Reißgefahr erniedrigt wird, sondern weniger Streckung bedeutet auch weniger Verdünnung einer Rohrwand. Durch Anwendung des richtigen Temperaturunterschiedes zwischen Extrados und Intrados ist es möglich, ausgehend von Rohren mit normaler Wandstärke Bogen herzustellen, welche den Bedingungen der maximal zulässigen Wandverdünnung (am Extrados) bzw. Wandverdickung (am Intrados), wie z.B. vorgeschrieben in DIN 2413, entsprechen.

Das Erhitzen länglicher Werkstücke, z.B. Rohre, mittels eines Induktors zu deren fortschreitendem Biegen ist vielfach bekannt, z.B. allgemein gesehen aus der NL-PS 142 607 und der DE-PS 2 112 019.

Das ungleichmäßige Erhitzen mittels eines Induktors für das fortschreitende Biegen von Rohren und anderen länglichen Werkstücken mit dem Ziel, das Maß der Verformung bzw. Wandstärkenänderung zu beeinflussen bzw. zu korrigieren, ist nach einer ersten Ausführungsmöglichkeit aus der DE-PS 2 738 394 bekannt, welche eine asymmetrische Aufstellung des Induktors vorsieht. Ähnliches strebt eine von mehreren alternativen Ausführungsmöglichkeiten der DE-OS 22 20 910 an, wonach der den Extrados umschließende Teil des Induktors einen größeren Abstand von der Rohroberfläche als der den Intrados umschließende Teil haben soll.

Zum gleichen Zweck ist aus der DE-OS 22 20 910, zweite Alternative, die Möglichkeit bekannt, eine ungleichmäßige oder asymmetrische Erhitzung mittels örtlich im Umkreis des Induktors angebrachter Blechpakete zu erreichen, die als Jochbleche dienen und mittels derer die Intensität der induktiven Erhitzung beeinflusst werden kann. Eine dritte aufwendige und räumlich schwer beherrschbare Alternative der DE-OS 22 20 910

sieht schließlich vor, in Kombination mit derartigen Jochblechen einen ersten Induktor zur Vorwärmung mit einem zweiten Induktor zur Hauptwärmung am Erhitzungsquerschnitt vorzusehen.

Weiter ist zu dem gleichen Zweck aus der US-PS 4 177 661 ein Induktor bekannt, bei dem ein Teil der induzierten Energie durch ein Schild aufgefangen wird, das zwischen dem Induktor und einem zu biegenden Rohr aufgestellt wird. Es wird dort auch eine Vorrichtung beschrieben, gemäß der vor der ringförmig ausgeführten und induktiv arbeitenden Erhitzungsquelle am Intrados eine Extraerhitzungsquelle angelegt wird.

All diese bekannten Verfahren und Vorrichtungen für das ungleichmäßige Erhitzen des Biegequerschnitts von auf fortschreitende Weise zu biegenden Rohren oder anderen länglichen Werkstücken haben aber bestimmte Nachteile und führen nicht oder sehr schwer zu einem guten Erfolg.

Die asymmetrische Erhitzung mittels exzentrischer Aufstellung oder radialer Verstellung des Induktors hat den Nachteil, daß bei der Querverstellung des Induktors zwecks Erniedrigung der Temperatur des Extrados gleichzeitig eine Erhöhung der Temperatur des Intrados erfolgt, obwohl zur Vermeidung einer unerwünschten Wandverdünnung, z.B. eines Rohres am Extrados, die Temperatur vornehmlich nur am Extrados zu ändern wäre und auch eine übermäßige Stauchung am Intrados nicht erwünscht ist. Weiterhin weisen die Anwendung findenden Induktoren meist Sprühlöcher auf, die unter einem bestimmten Winkel in Vorwärtsrichtung Wasser auf das schon gebogene Rohr spritzen, um die erhitzte Zone zu begrenzen. Durch Querverstellung des Induktors ändert sich auch die Stelle, an der die Wasserstrahlen auf das Rohr auftreffen, mit der Folge, daß die Breite der

erhitzten Zone ungleichmäßig wird und dadurch ein ungünstiger Einfluß auf die Biegung entsteht.

Das Anbringen von Jochblechen auf dem Induktor an der Stelle des Induktors, wo eine höhere Temperatur erwünscht wird, ist eine sehr umständliche und zeitraubende Arbeit. Hat man schließlich aber für eine bestimmte Rohrwand und den Biegeradius den erwünschten Effekt erreicht, so ist dieser Induktor nur noch für diesen Fall geeignet.

Das Anbringen eines Schildes zwischen dem Induktor und dem zu erhitzenden Werkstück ist in der Praxis sehr schwer durchzuführen, da der zur Verfügung stehende Spalt zwischen Induktor und Werkstück gering ist. Der Schild muß auch noch wassergekühlt werden, um Überhitzung vorzubeugen, so daß praktisch kein Raum übrigbleibt. Auch hier ist der Effekt schwer vorherzusagen, und Position und Abmessung müssen empirisch bestimmt werden, wobei der Erfolg nur für den einen bestimmten Fall gilt.

Das lokale Aufstellen einer Extrawärmequelle mit dem Zweck, eine höhere Temperatur an der Innenseite des Bogens, also am Intrados, zu erreichen, hat den Nachteil, daß die erhitzte Zone auf dieser Stelle extra breit gemacht wird, was nachteilig ist für das Behalten eines guten runden Rohres (fehlende Ausbeulungen oder Stauchstellen) während des Biegens.

Die Erfindung geht gattungsgemäß von der Möglichkeit aus, entweder gemäß notorischem Stand der Technik zur asymmetrischen induktiven Aufheizung des Werkstücks den Induktor exzentrisch aufzustellen (z.B. DE-PS 2 738 394) oder bei konzentrischer Aufstellung eine teilweise Abschirmung der Induktion vorzunehmen (US-PS 4 177 661). Der erstgenannte

Fall ermöglicht schon a priori keine konzentrische Induktoranordnung; der zweitgenannte Fall ist aufwendig und schwierig zu realisieren. Die Gattung ist auch auf die Anordnung mit Jochblechen gemäß der DE-OS 22 20 910 zu lesen, die sich jedoch in sehr aufweniger Weise immer nur auf ein bestimmtes Werkstück genau abstimmen läßt.

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Biegen länglicher Werkstücke, insbesondere Rohre, unter ungleichmäßiger Temperaturverteilung längs des Umfangs einer induktiv aufgeheizten Querschnittszone des Werkstücks zu schaffen, die eine konzentrische oder nahezu konzentrische Induktoraufstellung zulassen und es in einfacher Weise ermöglichen, mit demselben Induktor verschiedene Biegeradien einzustellen.

Diese Aufgabe wird nach der Erfindung bei einem Verfahren gemäß dem Oberbegriff von Anspruch 1 durch die kennzeichnenden Merkmale von Anspruch 1 und bei einer Vorrichtung gemäß dem Oberbegriff von Anspruch 11 durch die kennzeichnenden Merkmale von Anspruch 11 gelöst.

Die Erfindung ermöglicht es, den Induktor streng oder annähernd konzentrisch rund um das Werkstück, d.h. mit etwa gleichem radialen Abstand in bezug auf den zu biegenden Gegenstand, z.B. ein Rohr, aufzustellen und in dem Umfangsbereich des Werkstücks, wo eine niedrigere Temperatur erwünscht ist, den Induktor in zwei oder mehrere parallele Ströme zu verzweigen und die Erhitzungsenergie, welche durch die verzweigten Teilströme in dem zu biegenden Gegenstand induziert wird, ganz oder teilweise zu vernichten, z.B. mittels des üblichen Aufspritzens gerichteter und regelbarer Wasserstrahlen.

Die Realisierung der Erfindung ist verhältnismäßig einfach, ohne auf eine asymmetrische Aufstellung des Induktors in bezug auf das Rohr angewiesen zu sein. Nach erfolgter radialer Justierung in bezug auf das zu biegende Werkstück ist meist überhaupt nicht und jedenfalls seltener und in geringerem Ausmaß als bei bekannten Verfahren und Vorrichtungen eine radiale Quernachstellung bei wechselnden Biegeradien erforderlich, die mit demselben Induktor realisierbar sind. Die erforderlichen Anpassungen lassen sich dabei über Ort und Ausmaß der Abkühlung vornehmen. Dabei läßt sich praktisch jedes gewünschte Temperaturprofil längs des Umfangs der erhitzten Querschnittszone des Werkstücks einstellen, so daß auch unerwünschte Stauchungen am Intrados vermieden werden können. Allgemeiner gesprochen läßt sich, auf Rohre bezogen, in besonders gut beherrschbarer Weise die Wandstärke rings um den Umfang des gebogenen Rohres zuverlässig einstellen, sogar bei Röhren mit unterschiedlichen dicken Wänden. Ähnliches gilt bezüglich einer vergleichmäßigten Querschnittsbeanspruchung von Werkstücken mit Vollquerschnitt, z.B. Stäben, insbesondere auch Profilstäben, z.B. mit T- oder H-Profil. Erwähnenswert ist auch noch die Möglichkeit, die Induktionsenergie in das Werkstück dissipationsarm einleiten und über den Biegequerschnitt verteilen zu können. Auch lassen sich mit dem Induktor kombinierte Sprühorgane gleichmäßig über den Umfang des zu biegenden Werkstücks verteilen, insbesondere, aber nicht ausschließlich, bei konzentrischer oder nahezu konzentrischer Anordnung des Induktors selbst in bezug auf das Werkstück.

Wenn im Gattungsbegriff der Ansprüche 1 und 11 bereits von einem Abkühlen des Werkstücks in mindestens einer Nachbarzone die Rede ist, so ist hiermit das Abschrecken des bereits gebogenen Werkstücks hinter der auf Biegetemperaturen erhitzten Querschnittszone angesprochen, um dort möglichst

bald wieder das Werkstück zu einem starren Hebelelement innerhalb der gesamten Biegeeinrichtung zu machen. Diese Kühlung wird auch im Stand der Technik meistens bereits durch Wasserstrahl bewirkt, vielfach direkt durch eine Mehrzahl kleiner Seitenlöcher aus der Kühlflüssigkeit des Induktors selbst oder aber durch gesonderten Kühlring. Es gibt aber auch Biegevorrichtungen, bei denen die Abkühlung hinter der Wärmzone statt mittels Kühlflüssigkeit durch Kühlluft (z.B. zwangskonvektierte forcierte Preßluft) erfolgt. All diese Möglichkeiten sind in den Rahmen der Erfindung einbezogen. Das gilt auch für eine Übertragung der an sich nur beim Biegen von Plastikrohren bekannten Möglichkeit, eine Kühlung sowohl vor als auch hinter einer Erwärmungszone vorzusehen (US-PS 2 480 774).

Die im Gattungsbegriff auch angesprochene Induktionsschleife ist meist eine Einzelschleife. Die Einzelschleife kann in praxi allerdings zu einer breiteren Induktorschleife zusammengebaut sein, beispielsweise dadurch, daß man zwei parallele Induktionsschleifen noch durch Verbindungsblech überbrückt. Eine mehrmalige Schleife durch Schraubenform des Induktors ist weniger üblich, ohne daß auch sie von vornherein auszuschließen ist (z.B. in der gattungsgemäßen DE-OS 22 20 910 genannt).

In aller Regel und nach der zugrundeliegenden allgemeinen Theorie wird man die Temperaturherabsetzung durch Verzweigung des Induktors nur an der Streckseite des Bogens vorsehen, dem sogenannten Extrados. Es soll jedoch im Rahmen der Erfindung auch die umgekehrte Möglichkeit zumindestens theoretisch eingeschlossen bleiben, falls die Lehre der DE-PS 28 22 613 noch einen technischen Sinn ergeben sollte, nach der eine umgekehrte Temperaturbeaufschlagung vorgesehen wird.

Im Normalfall wird sich die Verzweigung etwa über die Hälfte des Rohrumfangs oder Umfangs des sonstigen Werkstücks erstrecken. Dabei ist es durchaus möglich, auch noch die Streckzone beidseitig etwas zu übergreifen, was qualitativ mit der nicht so genau zahlenmäßig zu nehmenden Obergrenze von 60 % des Werkstückumfangs im Anspruch 10 erfaßt ist. Es ist dabei mit wesentlich einfacheren und variableren Mitteln als in der gattungsgemäßen DE-OS 22 20 910 möglich, wie dort angestrebt nur etwa ein Viertel des Umfangs auf niedrige Temperatur und den übrigen Umfang auf höhere Temperatur, insbesondere Schmiedetemperatur, zu bringen.

Der Erhitzungsquerschnitt braucht nicht unbedingt senkrecht zur Werkstückachse angeordnet zu sein, sondern kann auch beispielsweise gemäß den Fig. 4 und 5 der DE-OS 22 10 715 schräg oder abgelenkt verlaufen.

Die Erfindung ist ferner invariant bezüglich der Art, mit welcher das Biegemoment aufgebracht wird. So ist es sowohl möglich, das Werkstück axial relativ zum ortsfesten Induktor zu verschieben als auch umgekehrt den Induktor relativ zum ortsfest bleibenden Werkstück zu verschieben oder gar beide Elemente verschiebbar zu machen und nur auf eine Relativbewegung abzustellen.

Verbreitet ist es, das Werkstück kontinuierlich oder inkremental vorzuschieben und den Induktor, abgesehen von Regelbewegungen, ortsfest anzuordnen, vgl. DE-PS 21 12 019.

Das Biegemoment kann entweder durch axiales Drücken auf das ungebogene Rohr (DE-PS 27 38 394) oder durch Einleiten

eines Drehmoments über den Biegearm (vgl. DE-OS 19 35 100) oder auch anders, z.B. nach einer Flitzebogenspannung (vgl. US-PS 783 716), aufgebracht werden.

Diesbezüglich ist die Erfindung in keiner Weise beschränkt.

Im Rahmen der Erfindung können nicht nur Induktoren mit rundem Querschnitt, sondern auch z.B. solche mit eckigem, insbesondere etwa rechteckigem, dreieckigem oder trapezförmigem, Querschnitt Verwendung finden, wobei das Profil sowohl quer als auch längs zu den Anschlüssen stehen kann.

Die Verzweigung des Induktors kann beispielsweise durch eine rechtwinklige gabelartige Abbiegung erfolgen. Bevorzugt sind stromlinienförmige schräge Abwinklungen, die nicht nur strömungstechnische Vorteile haben, sondern gleichzeitig auch eine Anpassung an die unterschiedliche Erwärmung längs des Werkstückumfangs darstellen können.

In praxi kann man mit Induktionsfrequenzen zwischen 500 und 1000 Hz auskommen. 1000 Hz hat eine Eindringtiefe von etwa 16 mm bei Stahlrohren, 500 Hz eine Eindringtiefe von etwa 22 mm . Dabei benutzt man die relativ hohen Frequenzen für dünnwandige und die relativ niedrigen Frequenzen für dickwandigere Rohre. In Grenzfällen kann man auch noch niedrigere oder noch höhere Frequenzen anwenden.

Im Rahmen der Erfindung sind z.B. folgende Lösungen möglich:

1. Zwei oder mehr Teilströme wirken unmittelbar auf den zu erhitzenden Querschnitt.
2. Außerhalb der vornehmlich zu erhitzenden Zone wird mehr als ein Teilstrom vorgesehen.

Diese zwei oder mehr Teilströme können alle an derselben Seite des Induktors angeordnet sein, insbesondere dann, wenn man sie alle zur Steuerung oder Regelung der gewünschten Verhältnisse mit heranziehen will und hierzu eine größere Fläche braucht, etwa um die Kühlflüssigkeit breitflächiger zu verteilen.

Gemäß den Ansprüchen 2 und 16 wird mindestens eine von den Teilströmen erfaßte Nachbarzone des Erhitzungsquerschnitts, in der eine ganz oder teilweise Aufhebung der induktiven Erhitzung erfolgt, im gebogenen Teil des Werkstücks angeordnet. Hierdurch kann man einmal gewisse Stromanteile für die induktive Erhitzung unwirksam machen und außerdem das zur Aufhebung der induktiven Erhitzung verwendete Kühlmittel zugleich zur Abschreckung des Rohres hinter der erhitzten Querschnittszone nutzbar machen oder mindestens vermeiden, daß es zu unerwünschten Wechselwirkungen zwischen beiden Kühlmitteln kommt. Wenn beispielsweise Wasser aus dem Induktor zur Abschreckung des gebogenen Rohres hinter der erhitzten Querschnittszone herausgespült wird, darf es sich mit Kühlwasser zur partiellen Aufhebung der induktiven Erhitzung, das im Sinne der Erfindung aufgebracht wird, vermischen, z.B. im Sinne der Bildung eines vereinigten Sprühstrahls. Ähnliches gilt bei Luftkühlung.

Man kann sogar daran denken, den gebogenen Teil des Werkstücks hinter der jeweiligen Biegestelle nicht mehr aktiv zu kühlen, sondern eine bereits vorgenommene Abkühlung des Rohres mit zu nutzen, um es nicht mehr zu einer Erweichung des bereits gebogenen Rohres kommen zu lassen. In diesem Sinne wäre dann die bereits vorher eingetretene Abkühlung des Rohres die Kühlung im Sinne des Hauptanspruchs, die dann nicht von außen zugeführt wird, sondern vom Rohr eingeführt

wird. Im gleichen Sinne könnte man auch eine Vorerwärmung des Rohres mittels eines abgezweigten Teilstromes dadurch wieder abkühlen, daß man eine verhältnismäßig lange Strecke zwischen der Vorerwärmung und der eigentlichen Erhitzungszone einbaut und auf diese Weise eine Kühlungswirkung im Sinne des Hauptanspruchs erzielt.

Sowohl eine Kühlung zwecks Abschreckung als auch eine Kühlung im Sinne der Erfindung zur teilweisen Aufhebung induktiver Erwärmung können im Bedarfsfall auch von der Innenseite eines Rohres aus erfolgen.

Bei beispielsweise einer Dreierverzweigung ist es hierbei auch möglich, eine Regelstrecke vor der Haupterhitzung und eine konstante Abkühlungsstrecke nach der Erhitzung vorzusehen. Im noch ungebogenen Bereich kann man bedarfsweise mehr oder minder Wärme durch mehr oder minder starke Ablöschung induktiv eingetragener Wärme vorab hinzugeben und so an der auf Biegetemperaturen aufzuheizenden Querschnittsstelle ein ganz gewünschtes Temperaturprofil erhalten.

Es hat sich jedoch gezeigt, daß es schon ausreicht, eine Ablöschung induktiv eingetragener Wärme nur hinter der zur Biegung herangezogenen Querschnittszone des Werkstücks im Sinne der Ansprüche 2 und 16 vorzunehmen und dabei zugleich die erläuterte günstige Wechselwirkung mit der zur Abschreckung des Rohres nach dem Biegen erforderlichen Kühlung zu erhalten.

Die nicht erwähnten Unteransprüche beschreiben vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung. Diese wird im folgenden beispielsweise anhand schematischer Zeichnungen noch näher erläutert.

Es zeigen:

- Fig. 1 eine Draufsicht einer Basiskonstruktion einer Biegevorrichtung;
- Fig. 2a und 2b
Drauf- und Seitenansicht eines konventionellen Induktors;
- Fig. 3a, 3b und 3c
Draufsicht (nach Pfeil B in Fig. 3b), Seitenansicht und Rückenansicht (nach Pfeil A in Fig. 3b) eines erfindungsgemäßen Induktors.
- Fig. 4 einen Querschnitt durch einen erfindungsgemäßen Induktor mit Sprühlöchern für Kühlwasser unter Darstellung des verzweigten Induktorbereichs und eines gebogenen Rohrabschnittes, bezogen auf eine rechtwinklig zum ungebogenen Rohr verlaufende erhitzte Querschnittszone (Biegezone); und
- Fig. 5 eine Modifikation von Fig. 4, bezogen auf eine schräg bzw. S-förmig zum ungebogenen Rohr verlaufende Querschnittszone.

Fig. 1 gibt das Basisprinzip wieder, welches bei einer Biegevorrichtung angewandt wird und hier als Ausgangspunkt für eine Erklärung der Erfindung dienen soll. Ein (nur als Beispiel) zu biegendes Rohr 1 wird durch eine ortsfest angeordnete Führung 2 in Richtung des Pfeils P (Ausübung einer Druckkraft P für den Rohrvorschub) durch einen Induktor 3 geleitet, der das Rohr in der schmalen Zone 4 bis zu einer Temperatur erhitzt, bei der das Rohr 1 an dieser Stelle die erwünschte Verformung erfahren kann. Am Ort der Erhitzung vorbei wird das Rohr durch einen Kreis von schräg nach vorne (in Vorschubrichtung des Rohres) gerichteten und z.B. aus dem Induktor 3 austretenden Wasserstrahlen 5 abgekühlt und in einem Bogen 6 um den Punkt 7 geleitet, an dem das gebogene Teil an einem um den Punkt 7 frei drehbaren Arm 8 starr be-

festigt ist. Zusammen mit diesem Arm 8 bildet der bereits gebogene Rohrteil 6 praktisch eine starre Einheit und damit einen Hebel, welcher immer senkrecht oder nahezu senkrecht auf der Längsrichtung des ungebogenen Rohrstückes steht, wobei eine zum Rohr rechtwinklige Linie durch die erhitzte Zone 4 und den Drehpunkt 7 führt. An der Innenseite 9 des Bogens, dem sogenannten Intrados, tritt eine Stauchwirkung und an der Außenseite 10 des Bogens, dem sogenannten Extrados, eine Streckwirkung auf. Das Maß von Stauchen und Strecken hängt von dem Biegeradius R und von der Temperatur bzw. dem Verformungswiderstand des zu biegenden Materials auf den unterschiedlichen Stellen ab. Unbeschadet der hier gegebenen vereinfachten Darstellung kann im Rahmen der Erfindung auch eine Verstellbarkeit der angegebenen Bezugsgrößen, z.B. des Punktes 7, im Sinne der DE-PS 2 112 019 gegeben sein.

Das Biegemoment ist bestimmt durch den Rohrquerschnitt und die Festigkeit (Streckgrenze) des Materials. Als Faustregel kann man ansetzen:

$$M_b = (Da-S)^2 \times S \times \sigma_t.$$

Dabei bedeuten:

M_b = Biegemoment in kgcm (oder Ncm)

Da = Außendurchmesser des Rohrs in cm,

S = Wandstärke in cm und

σ_t = Streckgrenze des Materials bei Temperatur t in kg/cm^2 (oder Ncm^{-2})

Das benötigte Biegemoment M_b wird in das Rohr durch eine Schubkraft P und den Hebel (Biegeradius R) nach der Formel $M_b = P \times R$ eingeleitet.

Hieraus ist ersichtlich, daß bei kleiner werdendem Biegeradius die benötigte Schubkraft größer wird und damit auch die Stauchkraft, welche auf die erhitzte Zone ausgeübt wird. Bei gleichbleibender Temperatur von Intrados und Extrados nimmt also bei kleiner werdendem Biegeradius die Wandverdünnung zu. Erhöht man die Temperatur am Intrados dem Extrados gegenüber, so wird die Innenwand mehr stauchen und die Außenwand sich weniger dehnen, d.h. weniger verdünnen. Eine gute Temperatureinstellung, gegebenenfalls geregelt, ist deshalb sehr wichtig.

Ein konventioneller Induktor 3, wie er bei der Biegevorrichtung gemäß Fig. 1 üblicherweise Verwendung finden kann, ist in Fig. 2a und Fig. 2b dargestellt. Er weist ein zu einer einfachen kreisförmigen Induktionsschleife 11 in einer Ebene gebogenes Rohr 12 aus einem für mittelfrequenten Strom (500 bis 1000 Hz) leitfähigen Material, z.B. Kupfer oder einer Kupferlegierung, auf. Der freie Innenquerschnitt der Induktionsschleife 11 ist dabei so bemessen, daß das Rohr 1 etwa koaxial zur Induktionsschleife mit radialem Abstand zu dieser durch sie gemäß Fig. 1 hindurchgeführt werden kann. An einer Umfangsstelle der Induktionsschleife 11 stehen zwei Anschlußrohre 13 von der Induktionsschleife 11 radial ab. Sie sind an ihren freien Enden etwas in gegenseitigem Abstand auseinander gebogen und tragen an ihren freien Enden je einen Anschlußflansch 14. Die Anschlußflansche 14 dienen zum Anschluß an ein mit der genannten Mittelfrequenz arbeitendes nicht gezeigtes Induktor-Netzgerät sowie zweckmäßig auch zum Anschluß an eine Kühlwasserquelle. Dies gilt insbesondere, falls in der Induktionsschleife 11 axial nach vorne und radial nach innen geneigte Sprühdüsen für die Kühlwasserstrahlen 5 gemäß Fig. 1 ausgebildet sind. In diesem Falle dient das Induktorrohr 12 zugleich als Kühlwasserleitung für Kühlwasser, welches von einem Anschlußflansch 14 zum anderen geleitet wird. Wenn der

Induktor 3 nicht zusätzlich als Kühlwasserspritzorgan dienen soll, kann derselbe Kühlwasserstrom (oder Strom eines anderen Kühlfluids) zur Kühlung des Induktors dienen.

Die Fig. 3a, 3b und 3c zeigen einen gegenüber der Ausführungsform nach Fig. 2a und 2b gemäß der Erfindung abgewandelten Induktor. Wie im Fall der Fig. 2a und 2b bildet das Induktorrohr 12 eine kreisförmige Induktionsschleife 11, die an einer Umfangsstelle mit den Anschlußrohren 13 in Verbindung steht. Die Verhältnisse sind insoweit im wesentlichen gleich wie bei der Ausführungsform der Fig. 2a und 2b, so daß auf die insoweit übereinstimmende Beschreibung, z.B. bezüglich der nicht mehr gesondert dargestellten Anschlußflansche 14, verwiesen wird.

Die erfindungsgemäße Besonderheit besteht in folgendem:

Von den Anschlußrohren 13 erstreckt sich, jeweils an ein Anschlußrohr 13 anschließend, über etwa 60 % des von der Induktionsschleife 11 beschriebenen ganzen Kreises - also auch über etwa 60 % des Umfangs eines einzusteckenden Rohres 1 - eine auch aus dem Induktorrohr 12 gebildete Bypassleitung 15, die sich in einer Parallelebene zur Induktionsschleife 11 erstreckt und in Draufsicht mit dieser fluchtet.

Ohne Beschränkung der Allgemeinheit geht hier die Bypassleitung 15 unmittelbar in die Anschlußrohre 13 über. Die freien Enden der Induktionsschleife 11 sind jeweils durch ein schräges Verbindungsrohr 16 mit dem jeweils zugeordneten Anschlußrohr 13 und die freien Enden der Bypassleitung 15 jeweils durch ein schräges Verbindungsrohr 17 mit dem benachbarten Abschnitt der Induktionsschleife 11 verbunden. Dabei fällt die Ebene der Bypassleitung 15 mit der Ebene der Anschlußrohre 13 zusammen, während die Induktionsschleife 11 demgegenüber axial versetzt ist. Die Neigungsrichtung der Verbindungsrohre 16 und 17

entspricht dabei der mit Pfeilen angegebenen Strömungsrichtung des den Induktor 3 durchströmenden Kühlmittels.

Bei der Ausführungsform gemäß Fig. 3a bis 3c ist angenommen, daß das Kühlmittel lediglich zur Kühlung des Induktors 3, nicht jedoch zur Kühlung des Rohres 1 dienen soll. In diesem Falle sind zur teilweisen oder ganzen Aufhebung der im Rohr 1 von der Bypassleitung 15 aus ausgeübten induktiven Erhitzung nicht gezeigte besondere Kühlmittel vorgesehen.

Die Fig. 4 und 5 zeigen nun zwei Modifikationen des Induktors der Fig. 3a bis 3c in einer Anwendung, in welcher der Induktor selbst als auf das Rohr 1 einwirkende Kühlmittelquelle dient. Der grundsätzliche Aufbau des Induktors 3 ist dabei derselbe wie in den Fig. 3a bis 3c. Besonders zu bemerken ist jedoch eine bestimmte, in den Fig. 4 und 5 unterschiedliche Reihenfolge der kreisförmigen Induktionsschleife 11 einerseits und der Bypassleitung 15 andererseits in bezug auf die Verschieberichtung des Rohres 1, die hier mit der Pfeilrichtung der Druckausübung P übereinstimmt. In Verbindung mit der Tatsache, daß der Induktor 3 hier selbst Sprühorgan für auf das Rohr 1 einwirkende Kühlwasserstrahlen 5 ist, folgt aus den beiden alternativen Anordnungen der Fig. 4 und 5 auch eine unterschiedliche Anordnung der Sprühdüsen.

Wegen der Elemente des Induktors 3 kann wiederum auf die vorhergehenden Fig. 3a bis 3c in Verbindung mit 2a und 2b verwiesen werden.

Bei der Anordnung gemäß Fig. 4 ist die kreisförmige Induktionsschleife 11 in Verschieberichtung des Rohres 1 vor der Bypassleitung 15 angeordnet. Die Induktionsschleife 11 bewirkt dabei im Rohr 1 eine rechtwinklig zur Achse des Rohres stehende schmale Erhitzungszone 4 im Sinne von Anspruch 1. Die in Verschiebe-

richtung vordere, d.h. dem bereits gebogenen Rohr zugewandte Kante der Erhitzungszone 4 wird durch eine an der Induktionsschleife 11 ausgebildete erste Reihe von Wasserstrahldüsen 18 erzeugt, welche die Wasserstrahlen 5 im Sinne von Fig. 1 schräg nach vorne und radial nach innen auf das Rohr 1 abgeben und an diesem die genannte Abschreckkante der Erhitzungszone 4 ausbilden.

Zur teilweisen oder völligen Aufhebung der induktiven Erhitzung des Rohres 1 aus der Bypassleitung 15 dienen zwei weitere schräg nach vorne und radial innen auf das Rohr 1 gerichtete Wasserstrahlen 5a und 5b aus zwei weiteren Reihen von Wasserstrahldüsen 19 und 20, welche dem gebogenen Rohr 1 zugewandt einerseits noch an der vorderen Flanke der Induktionsschleife 11 und andererseits an der vorderen Flanke der Bypassleitung 15 über den Umfang des Induktors verteilt sind, welcher von der Bypassleitung 15 eingenommen ist. Man erkennt, daß sich dabei die Wasserstrahlen 20 auch noch längs des Verbindungsrohrs 17 erstrecken.

Bei der axial umgekehrten Anordnung gemäß Fig. 5, bei der die Induktionsschleife 11 in Verschieberichtung des Rohres 1 vorne, d.h. dem gebogenen Rohr 1 zugewandt, angeordnet ist, wird stattdessen die erhitzte Querschnittszone 4 des Rohres 1 S-förmig ausgebildet, indem sie von der Bypassleitung 15, den dazugehörigen Verbindungsrohren 17 und dem Umfangsabschnitt der Induktionsschleife 11 beschrieben wird, zu dem die Bypassleitung 15 mitsamt Verbindungsrohren 17 nicht parallel verläuft. Dementsprechend erstreckt sich auch die erste Reihe von Wasserstrahldüsen 18 entsprechend S-förmig über alle drei genannten Elemente des Induktors 3. Die axiale Abfolge der weiteren Reihen von Wasserstrahldüsen 19 und 20 ist dann wie im Falle der Fig. 4, jedoch an anderen Elementen des Induktors angeordnet. So sind die Wasserstrahldüsen 19 hier an der Bypassleitung 15 und die Wasserstrahldüsen 20 an dem Bereich

der Induktionsschleife 15 angeordnet, welcher parallel mit der Bypassleitung 15 verläuft.

In beiden Anordnungsfällen der Fig. 4 und 5 machen also die Wasserstrahldüsen 19 und 20 einen Teil oder die Gesamtheit der induktiven Erhitzung des Rohres 1 unwirksam, und zwar auf dem Umfangsbereich, welcher von der Bypassleitung 15 beschrieben ist. Das bedeutet, daß in dem Abschnitt, in welchem die Induktionsschleife 11 parallel zur Bypassleitung 15 verläuft, von dem Induktor 3 aus eine geringere Erhitzung auf das Rohr 1 ausgeübt wird als in dem Bereich, in welchem die Induktionsschleife 11 unverzweigt verläuft und die volle Induktionswärme im Rohr 1 wirksam wird. Durch entsprechende Neigung der Verbindungsrohre 17 und entsprechende Anordnung der Wasserstrahldüsen 19 und 20 kann man dabei den Übergang zwischen den unterschiedlichen Erhitzungszonen am Umfang des Rohres nach Wunsch einstellen. Man erkennt, daß bei den Ausführungsformen der Fig. 4 und 5 die Erhitzung am Intrados 9 groß und am Extrados 10 klein ist, da am Extrados die volle Induktionswärme in der Erhitzungszone wirksam wird, während sie im Bereich des Extrados abgeschwächt ist.

In nicht dargestellter üblicher Weise kann man bei zweckmäßig gleichem Material des Induktorrohres 12 die von ihm gebildeten einzelnen Leitungsabschnitte im Induktor 3 durch Wahl unterschiedlicher Querschnitte des Induktorrohres 12 und gegebenenfalls seiner Wandstärke so anpassen, daß in den einzelnen Leitungsabschnitten die Stromverzweigung streng nach dem Kirchhoff'schen Gesetz, oder alternativ in einer gewünschten abweichenden Weise, erfolgt. Dabei kann je nach Wahl der Metallquerschnitt der Bypassleitung 15 und des verzweigten Leitungsabschnitts der Induktionsschleife 11 gleich oder verschieden gewählt werden.

An der Anordnung nach Fig. 4 wird ferner ein Hilfselement erläutert, das ebenso bei der Anordnung nach Fig. 5 vorgesehen sein kann. Es handelt sich um ein dem Induktor 3 in Vorschubrichtung des Rohres 1 vorgeschaltetes Gebläserohr 21 mit Luftstrahldüsen, die entsprechend dem schräg nach innen und vorne gerichteten Strömungspfeil 22 eine Luftströmung in Richtung auf das durch den Induktor 3 hindurchgeschobene Rohr 1 erzeugen. Dadurch wird sichergestellt, daß das aus den Wasserstrahldüsen 18, 19 und 20 austretende Kühlwasser nicht in die zu erhitzende schmale Querschnittszone 4 am Rohr zurückschlagen kann. Die Stärke und Richtung der Gebläsestrahlung muß man sinngemäß mit der Stärke und Richtung der Kühlwasserstrahlung aus den genannten Kühlwasserdüsen 18 bis 20 abstimmen.

Wie bereits anhand der Ausführungsformen der Fig. 3a und 3b deutlich gemacht wurde, kann man aber auch anstelle der aus dem Induktor 3 selbst hervortretenden Kühlwasserstrahlen 5, 5a und 5b besondere Kühlorgane vorsehen, die etwa nach Art des ringförmigen Gebläserohres 21 gesondert vom Induktor 3 ringförmig um das Rohr 1 an geeigneter Stelle und in geeigneter Ausbildung angeordnet sein können. Dies ist zwar aufwendiger als die anhand der Fig. 4 und 5 erläuterte kombinierte Bauweise des Induktors zugleich als Kühlorgan, bietet aber den Vorteil einer größeren Variabilität der Aufbringung des Kühlmittels. Dabei kann man besonders einfach einzelne Düsen oder Düsengruppen der Menge des Kühlmittels und vorzugsweise auch der Richtung des Kühlmittels nach einstellbar ausbilden und auch manchmal erwünschte Flachstrahldüsen einsetzen.

ELISABETH JUNG DR. PHIL., DIPL.-CHEM.
JÜRGEN SCHIRDEWAHN DR. RER. NAT., DIPL.-PHYS.
CLAUS GERNHARDT DIPL.-ING.

PATENTANWÄLTE
EUROPEAN PATENT ATTORNEYS

8000 MÜNCHEN 40,
P. O. BOX 40 01 69564
CLEMENSSTRASSE 30
TELEFON: (089) 34 50 67
TELEGRAMM/CABLE: INVENT MÜNCHEN
TELEX: 5-29 686
TELECOPIERER (FAX): (089) 39 92 39 (GR. II/III)

S 926 M (Dr.S/we)

25. Juli 1985

COJAFEX BV
NL-3011 XH Rotterdam

Verfahren und Vorrichtung zum Biegen länglicher
Werkstücke, insbesondere Rohre

P a t e n t a n s p r ü c h e

1. Verfahren zum Biegen länglicher Werkstücke, insbesondere Rohre, durch Aufbringen eines Biegemoments auf das Werkstück unter induktivem Erhitzen einer Querschnittszone des Werkstücks mit ungleichmäßiger Temperaturverteilung längs des Umfangs dieser Querschnittszone mittels einer das Werkstück umgebenden Induktionsschleife und unter Abkühlen des Werkstücks in mindestens einer Nachbarzone,
dadurch gekennzeichnet,
daß, bezogen auf einen auf relativ niedrige Temperaturen einzustellenden Teilbereich des Umfangs des zu biegenden Werkstücks, der elektrische Strom der Induktionsschleife über einen Teilbereich deren Umfangs in mehrere Teilströme verzweigt wird, von denen mindestens einer vornehmlich auf die zu erhitzende Querschnittszone und mindestens ein anderer vornehmlich auf eine Zone außerhalb der zu erhitzenden Zone des Werkstücks induktiv zur Einwirkung gebracht wird, und daß die induktive Erhitzung der jeweiligen Nachbarzone durch Abkühlen teilweise oder ganz aufgehoben wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,
daß mindestens eine solche Nachbarzone mit ganz oder teil-

weiser Aufhebung einer induktiven Erhitzung im gebogenen Teil des Werkstücks angeordnet wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß 30 bis 50 % des Gesamtstroms der Induktionsschleife als Teilstrom oder Teilströme zur vornehmlichen Einwirkung auf mindestens eine Nachbarzone der zu erhitzenden Querschnittszone abgezweigt werden.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß das Maß der Aufhebung der induktiven Erhitzung des Werkstücks in der jeweiligen Nachbarzone durch Einstellen (Steuern und/oder Regeln) der Kühlung dieser Nachbarzone gewählt wird.

5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß 30 bis 100 % der induktiv eingebrachten Wärmemenge der Nachbarzone(n) aufgehoben werden.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Kühlung der induktiv erhitzten Nachbarzone unter Verwendung von Kühlwasser und/oder Kühlluft vorgenommen wird.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die vornehmlich auf die zu erhitzende Querschnittszone induktiv einwirkenden Stromanteile der Induktionsschleife konzentrisch oder nahezu konzentrisch in bezug auf das Werkstück angeordnet werden.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß der auf eine Nachbarzone induktiv einwirkende Teilstrom der Induktionsschleife einen Weg mit variierendem Abstand zum Werkstück beschreibt.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß die induktive Erhitzung der jeweiligen Nachbarzone durch unterschiedliche Kühlung längs des Umfangs des Werkstücks in unterschiedlichem Ausmaß aufgehoben wird.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Verzweigung des elektrischen Stroms der Induktionsschleife längs 20 bis 60 %, vorzugsweise 25 bis 40 %, höchstvorzugsweise etwa ein Drittel, des Umfangs des Werkstücks vorgenommen wird.

11. Vorrichtung zum Biegen länglicher Werkstücke, insbesondere Rohre, zum Ausführen des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 10, mit einer ein Biegemoment auf das Werkstück (1) aufbringenden Einrichtung (2,7,8), mit einem das zu biegende Werkstück umgebenden Induktor (3) und mit einer Kühleinrichtung (18), deren Kühlmittel auf mindestens eine Nachbarzone der Querschnittszone (4) des zu biegenden Werkstücks gerichtet ist, die mittels des Induktors auf längs des Umfangs des Werkstücks unterschiedliche Biegetemperaturen aufheizbar ist,
dadurch gekennzeichnet,
daß längs eines Teilbereichs des Umfangs des zu biegenden Werkstücks (1) mindestens eine Bypassleitung (15) des Induktors (3) gegenüber mindestens einer in bezug auf die Querschnittszone (4) des Werkstücks, die induktiv auf Biegetemperatur zu erhitzen ist, in Längsrichtung des Werkstücks versetzten Nachbarzone des Werkstücks verläuft, und daß Kühlmittel (5a,5b) auf diese Nachbarzone gerichtet ist.

12. Vorrichtung nach Anspruch 11 mit Induktorkühlung, gekennzeichnet durch eine von der Induktorkühlung gesonderte Kühleinrichtung, deren Kühlmittel auf die Nachbarzone gerichtet ist.

13. Vorrichtung nach Anspruch 11 oder 12, dadurch gekennzeichnet, daß die Kühleinrichtung eine Einstelleinrichtung der Kühlmittelmenge aufweist, vorzugsweise gesondert, für einzelne Düsen oder Düsendgruppen.

14. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß die Richtung der Kühlmittelabgabe auf das Werkstück einstellbar ist, vorzugsweise gesondert für einzelne Düsen oder Düsendgruppen.

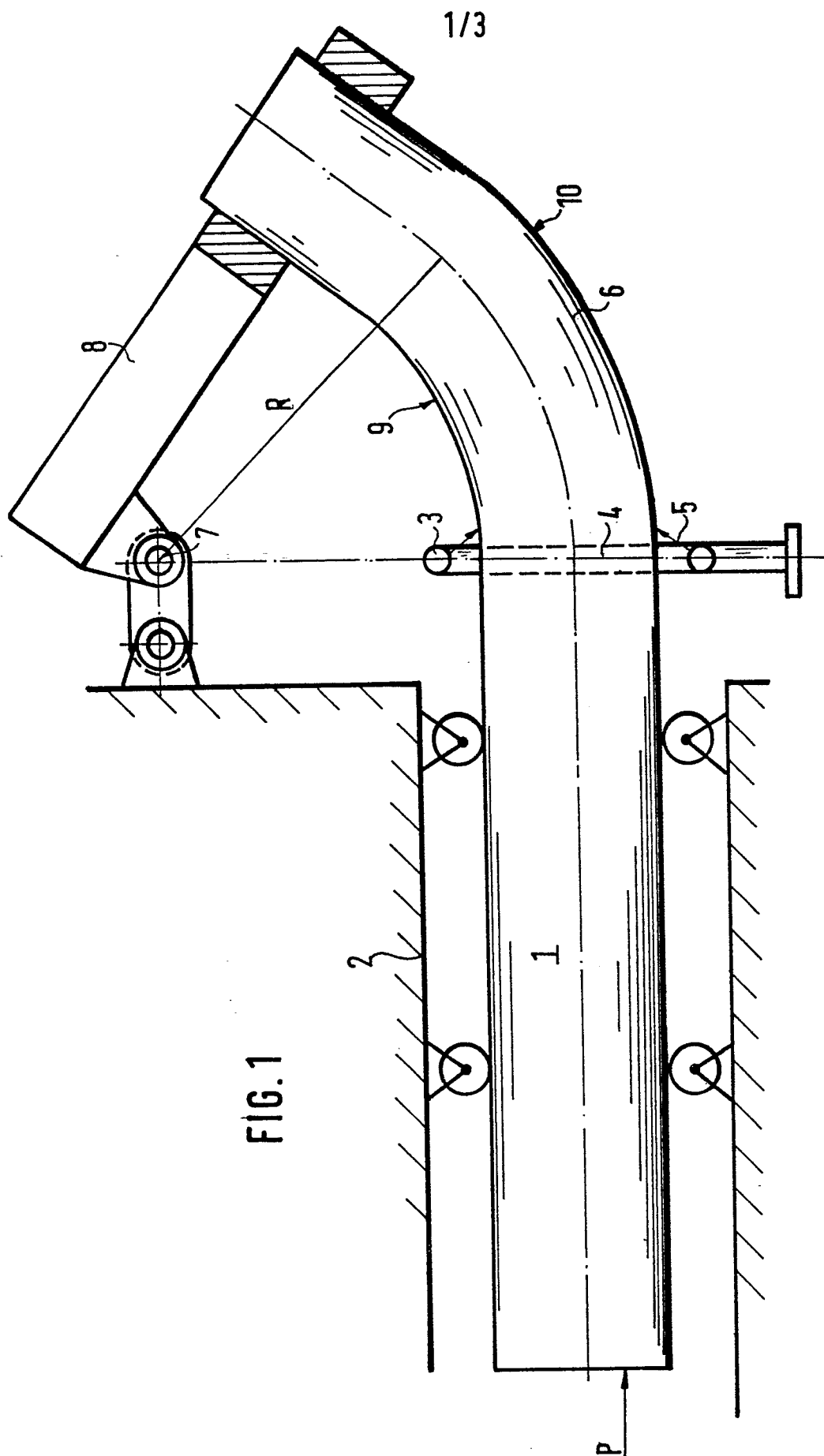
15. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß die Kühleinrichtung Flachstrahldüsen aufweist.

16. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 15, dadurch gekennzeichnet, daß das Kühlmittel (5a,5b) auf den gebogenen Teil des Werkstücks (1) gerichtet ist.

17. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 16, dadurch gekennzeichnet, daß der Induktor (3) in nur zwei Leitungen (an 11,15) verzweigt ist.

18. Vorrichtung nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, daß die Bypassleitung (15) gleich wie der andere verzweigte Leitungsabschnitt (an 11) ausgebildet ist.

19. Vorrichtung nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, daß sich die Bypassleitung -(15) von dem anderen verzweigten Leitungsabschnitt (an 11) im Metallquerschnitt unterscheidet.



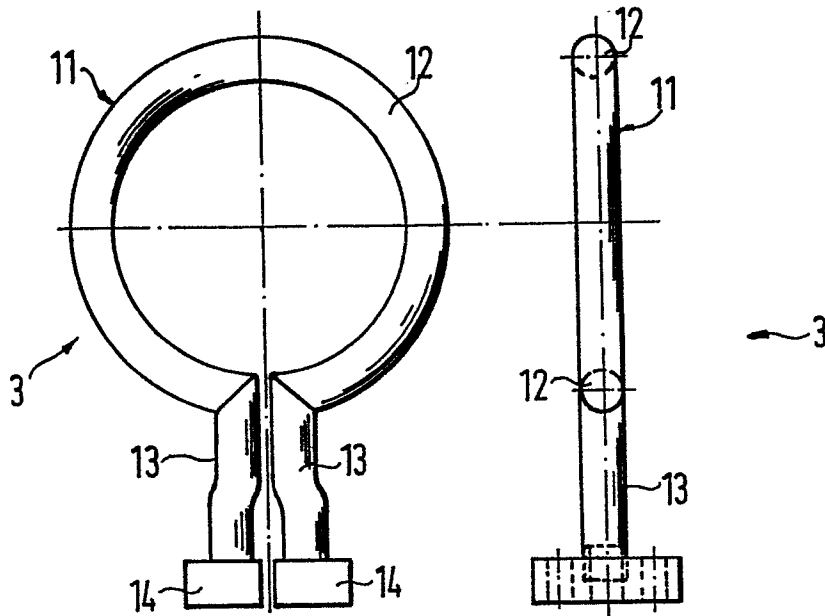


FIG. 2a

FIG. 2b

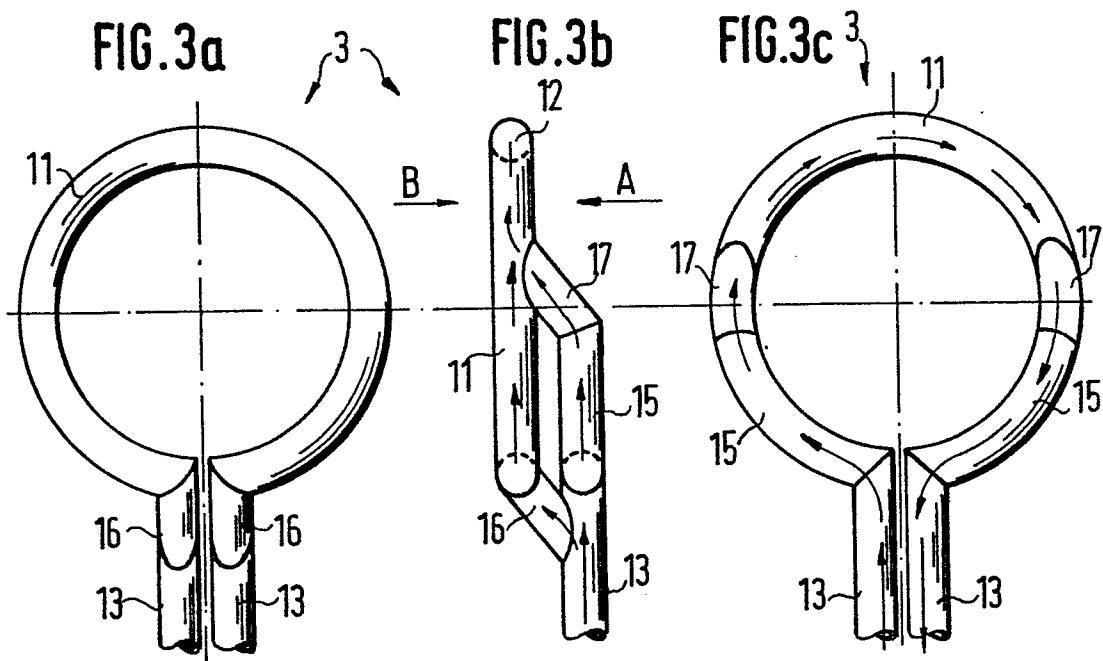


FIG. 3a

FIG. 3b

FIG. 3c

