

(19)



(11)

EP 2 177 288 A2

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
21.04.2010 Patentblatt 2010/16

(51) Int Cl.:
B21D 7/024^(2006.01) B21D 7/12^(2006.01)
B21D 7/14^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **09013213.5**

(22) Anmeldetag: **20.10.2009**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR
HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL
PT RO SE SI SK SM TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
AL BA RS

(71) Anmelder: **RASI Maschinenbau GmbH**
75428 Illingen (DE)

(72) Erfinder: **Rapp, Heinrich**
75447 Sternenfels (DE)

(74) Vertreter: **Twelmeier Mommer & Partner**
Patent- und Rechtsanwälte
Westliche Karl-Friedrich-Strasse 56-68
75172 Pforzheim (DE)

(30) Priorität: **20.10.2008 DE 102008052474**

(54) **Verfahren zum maschinellen Biegen von Stäben, insbesondere von Rohren**

(57) Beschrieben wird ein Verfahren zum maschinellen Biegen von Stäben, insbesondere von Rohren, die auf eine bestimmte Ist-Länge zugeschnitten sind, die für eine sich aus einer Biegeaufgabe ergebende gewünschte Gestalt (14) des gebogenen Stabes unter einer fehlerhaften Annahme eines bestimmten Verhaltens des Stabes beim Biegen vorab ermittelt wurde.

In dem Verfahren wird geprüft, wie sich der Stab beim Biegen verhält. Es wird eine sich unter Berücksichtigung des ermittelten Biegeverhaltens ergebende Soll-Länge des Stabes errechnet, die erforderlich ist, um den Stab in der gewünschten Gestalt zu biegen. Diese Soll-Länge wird mit der Ist-Länge des Stabes verglichen. Die

Abweichung der Ist-Länge von der Soll-Länge wird für den gegebenen Stab dadurch verkleinert, dass in der Biegeaufgabe für den zu biegenden Stab eine von der gewünschten Gestalt (14) abweichende Gestalt (14') festgelegt wird, in welcher der Abstand der beiden Enden (15, 16) des Stabes voneinander und/oder die Ausrichtung der beiden Enden (15, 16) des Stabes relativ zueinander von der ursprünglich gewünschten Gestalt (14) um weniger abweichen als wenn der Stab mit der Ist-Länge gemäß der unveränderten Biegeaufgabe gebogen worden wäre. Das Verfahren ist zur Anwendung in Dornbiegemaschinen und in Maschinen für das Freiformbiegen bestimmt.

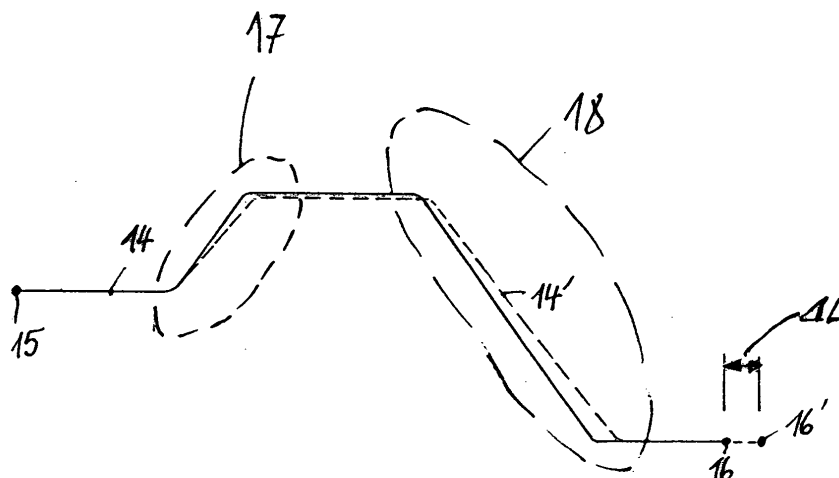


Fig. 5

EP 2 177 288 A2

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum maschinellen Biegen von Stäben, insbesondere von Rohren, mit den im Oberbegriff des Anspruchs 1 angegebenen Merkmalen. Ein solches Verfahren ist als Zugumformungsbiegen oder Dornbiegen aus der EP 0 384 477 B1 bekannt. Das bekannte Verfahren bedient sich einer Maschine, in welcher ein zu biegendes Rohr gelagert wird. Die bekannte Maschine hat ein Biegewerkzeug, welches um eine Achse - die Biegeachse - drehbar ist. Eine Spannvorrichtung ist Teil des Biegewerkzeuges. In der Spannvorrichtung kann das zu biegende Rohr für den Biegevorgang eingespannt werden. An die Spannvorrichtung anschließend hat das Biegewerkzeug eine Mantelfläche, welche ein Abschnitt einer Rotationsfläche ist. Ein Ende dieser Rotationsfläche geht tangential in die Spannvorrichtung über.

[0002] Beim Zugumformungsbiegen wird das Biegewerkzeug um einen vorgegebenen Winkel um die Biegeachse geschwenkt. Dabei wird die Spannvorrichtung ebenfalls um die Biegeachse verschwenkt und zieht das Rohr hinter sich her. Damit der zum einen Ende aus der Spannvorrichtung herausragende hintere Abschnitt des Rohres beim Verschwenken der Spannvorrichtung nicht mit verschwenkt wird, ist ein Biegewiderlager vorgesehen, an welchem der hintere Abschnitt des Rohres anliegt. Durch das Zusammenwirken des schwenkenden Biegewerkzeuges mit dem Biegewiderlager wird der zu biegende Rohrabschnitt auf die Mantelfläche des Biegewerkzeugs gewickelt, deren Kontur die Gestalt des Bogens bestimmt, insbesondere dessen Krümmung bzw. Radius.

[0003] Da das Rohr nach dem Biegen etwas zurückfedert, genügt es nicht, das Biegewerkzeug um den für das Rohr vorgesehenen Biegewinkel zu schwenken, vielmehr muss das Biegewerkzeug um einen zusätzlichen kleinen Winkel, den Überbiegewinkel, geschwenkt werden, um die Rückfederung des Rohres zu kompensieren, so dass das Rohr nach dem Rückfedern um den Überbiegewinkel genau den gewünschten Biegewinkel (Soll-Biegewinkel) aufweist.

[0004] Der Biegeradius des Rohres wird durch die Krümmung der Mantelfläche des Biegewerkzeugs und durch die Rückfederung des Rohres bestimmt. Die Rückfederung hat zur Folge, dass der tatsächliche Radius des Bogens im Rohr größer ist als der von der Mantelfläche des Biegewerkzeugs vorgegebene Radius. Das Maß, um welches der tatsächliche Biegeradius größer ist als der vom Biegewerkzeug vorgegebene Radius, wird als die Radiusaufweitung bezeichnet. Sie hängt vor allem vom Werkstoff und von den Querschnittsabmessungen des Rohres, vom Radius des Biegewerkzeuges sowie vom Biegewinkel ab und beeinflusst die Maßhaltigkeit des gebogenen Rohres.

[0005] Die Maße des gebogenen Rohres werden von der Biegeaufgabe vorgegeben. Entscheidend für die Maßhaltigkeit eines gebogenen Rohres ist die Lage der beiden Endpunkte des Rohres, die Ausrichtung der Endabschnitte des Rohres und die Lage der Schnittpunkte der geraden Abschnitte des Rohres, welche paarweise einen Bogen begrenzen, nämlich die Schnittpunkte der Mittellinien der geraden Abschnitte des Rohres. Die Lage der Endpunkte des Rohres und der Rohrgeradenschnittpunkte hängt von der Radiusaufweitung ab. Die Lage der Rohrendpunkte zueinander hängt darüber hinaus von der im Verlauf des Biegevorgangs auftretenden Streckung des Rohres ab. Diese kann für das vordere Rohrende zu Null angesetzt werden, da der vor dem ersten Biegevorgang über die Spannvorrichtung hinausragende gerade Rohrabschnitt - der vordere gerade Rohrabschnitt - keine Streckung erfährt. Die Streckung beeinflusst aber die Lage des hinteren Endes des Rohres, indem sich die Streckungen, die beim Biegen jedes einzelnen Bogens auftreten, über das Rohr addieren und es verlängern, so dass der Abstand des hinteren Rohrendes von dem Rohrgeradenschnittpunkt, welcher dem zuletzt gebogenen Bogen zugeordnet ist, zu groß wird.

[0006] Die WO 2007/121985 offenbart ebenfalls ein Verfahren zum maschinellen Zugumformungsbiegen von Stäben, insbesondere von Rohren, in welchem der Stab in eine Spannvorrichtung eingespannt wird. Die Spannvorrichtung unterteilt den Stab in einen vorderen Abschnitt, welcher in der Spannvorrichtung steckt und gegebenenfalls über diese vorsteht, und in einen demgegenüber hinteren Abschnitt, in welchem angrenzend an die Spannvorrichtung ein Bogen erzeugt werden soll. Damit das möglich ist, ist ein Biegewiderlager vorhanden, an welchem sich der gerade hintere Abschnitt des Stabes abstützen kann, wenn die Spannvorrichtung zum Durchführen des Biegevorganges verschwenkt wird. Die Spannvorrichtung zieht den hinteren Abschnitt des Stabes hinter sich her und am Biegewiderlager entlang, gegen welches der Stab mit der zum Biegen erforderlichen Kraft drückt. Dabei hängt die Länge, um welche das hintere Ende des Stabes gezogen wird, vom Biegewinkel, von der Krümmung des Bogens und von der Streckung des Stabes ab.

[0007] Bei einem solchen Biegevorgang wird eine Größe gemessen, die ein Maß für die durch das Zugumformungsbiegen hervorgerufene Radiusaufweitung des Bogens des Stabes ist, und zwar während sich der Stab noch in der Biegemaschine befindet. Diese Größe oder eine davon abgeleitete Größe wird in einem Rechner gespeichert. Für folgende Biegevorgänge der gleichen Biegeaufgabe wird der Einfluss der Radiusaufweitung auf den Abstand benachbarter Stabgeradenschnittpunkte voneinander kompensiert, wenn die Biegeaufgabe mehrere Bögen im Stab vorsieht. Sieht die Biegeaufgabe nur einen einzigen Bogen im Stab vor, dann wird der Einfluss der Radiusaufweitung auf den Abstand zwischen den Stabenden und dem einzigen Stabgeradenschnittpunkt kompensiert. Im Falle, dass die Biegeaufgabe mehrere Bögen im Stab vorsieht, kann nicht nur der Einfluss der Radiusaufweitung auf den Abstand benachbarter Stabgeradenschnittpunkte voneinander kompensiert werden, sondern auch der Abstand zwischen den Stabenden und den ihnen benachbarten Stabgeradenschnittpunkten. Die Kompensation erfolgt jeweils durch Anpassen der Längen der zwischen je zwei einander benachbarten Bögen vorgesehenen geraden Stababschnitte und/oder durch Anpassen der

Länge des geraden Anfangsabschnittes des Stabes und der Länge des Stabes insgesamt.

[0008] Unter einem Stabgeradenschnittpunkt wird der Schnittpunkt der Mittellinien der beiden an einen Bogen angrenzenden geraden Stababschnitte oder Rohrabchnitte verstanden. Liegen die beiden geraden Stababschnitte oder Rohrabchnitte nicht in einer gemeinsamen Ebene, dann schneiden sie sich nicht; in diesem Fall kommt als Stabgeradenschnittpunkt stattdessen der Schnittpunkt der Projektion der Mittellinien in eine gemeinsame Ebene in Betracht.

[0009] Durch Berücksichtigen der Radiusaufweitung gelingt es, den Abstand der Stabgeradenschnittpunkte voneinander und den Abstand des Stabanfangs vom benachbarten Stabgeradenschnittpunkt genau zu erhalten. Der Abstand zwischen dem Ende des Stabes und dem ihm benachbarten Stabgeradenschnittpunkt wird jedoch nicht nur durch die Radiusaufweitung beeinflusst, sondern auch durch die beim Biegen eines jeden Bogens auftretende Streckung des Stabes, welche zusammen mit der von der Radiusaufweitung herrührenden Verkürzung der Bögen dazu führt, dass ein Stab, welcher unter Vernachlässigung von Radiusaufweitung und Streckung für eine bestimmte Biegeaufgabe zugeschnitten wurde, nach dem Biegen zu lang wäre, würde er nicht um die zu erwartenden Bogenverkürzungen und um die zu erwartenden Streckungen des Stabes verkürzt zugeschnitten. Deshalb ist es vorteilhaft, um einen besonders maßhaltigen gebogenen Stab zu erhalten, beim Zuschneiden des Stabes zusätzlich zu einer aus der Radiusaufweitung bzw. Veränderung der Bogenlänge herrührenden Korrektur auch eine Korrektur der Länge des Stabes im Hinblick auf die zu erwartende Streckung vorzunehmen, um zu vermeiden, dass der letzte gerade Schenkel des gebogenen Stabes zu lang wird.

[0010] Die WO 2007/121985 A1 offenbart mehrere Möglichkeiten, wie der Einfluss der Radiusaufweitung und der Streckung eines Stabes oder Rohres beim Biegen berücksichtigt werden kann, um beim Durchführen einer konkreten Biegeaufgabe die Maßhaltigkeit des gebogenen Stabes bzw. Rohres wesentlich zu verbessern. Einzelheiten dazu sind in der WO 2007/121985 A1 offenbart. Die Offenbarung in der WO 2007/121985 A1 wird hiermit ausdrücklich in die vorliegende Patentanmeldung einbezogen.

[0011] Anstatt durch Dornbiegen oder Zugumformungsbiegen können Stäbe bzw. Rohre auch durch Freiformbiegen gebogen werden. Die EP 1 342 514 A2 offenbart eine Maschine für das Freiformbiegen. Beim Freiformbiegen wird ein Stab bzw. Rohr durch eine Anordnung von wenigstens drei Rollen hindurchbewegt, von welchen eine Rolle den wenigstens zwei anderen Rollen angenähert werden kann. Durch das Annähern der einen Rolle an die anderen Rollen kann erzwungen werden, dass es für den Stab bzw. das Rohr keinen geradlinigen Weg durch die Rollenanordnung gibt, so dass eine Krümmung des Stabes erfolgt. Der Vorschub des Stabes bzw. Rohres kann dadurch erfolgen, dass eine der wenigstens drei Rollen angetrieben wird. Es kann jedoch auch ein gesonderter Vorschubantrieb vorgesehen sein. Das Freiformbiegen hat den Vorteil, dass die Krümmung des Stabes bzw. Rohres stufenlos geändert werden kann. Auch beim Freiformbiegen gibt es ein elastisches Rückfedern des Stabes bzw. Rohres und somit eine Radiusaufweitung, die von dem Biegeverhalten des jeweiligen Stabes bzw. Rohres abhängt und zu einem Längenfehler des gebogenen Stabes bzw. Rohres führen kann. Eine Streckung des Stabes oder Rohres ist beim Freiformbiegen allerdings in den meisten Fällen vernachlässigbar.

[0012] Eine konkrete Biegeaufgabe kann durch eine Auswahl folgender Parameter charakterisiert werden:

- Werkstoff des Stabes oder Rohres,
- Außendurchmesser des Stabes oder Rohres,
- falls es sich um ein Rohr handelt, dessen Innendurchmesser und Wandstärke,
- falls es sich um einen Profilstab handelt, dessen Querschnitt,
- falls es sich um einen Hohlprofilstab handelt, auch dessen lichter Querschnitt,
- Biegeradius für jeden Bogen,
- Biegewinkel für jeden Bogen,
- Länge der an einen jeden Bogen anschließenden geraden Stababschnitte,
- die Winkel zwischen den Biegeebenen unterschiedlicher Bögen und vor allem:
- der Abstand der Stabgeradenschnittpunkte voneinander,
- der Abstand der Stabenden von den ihnen benachbarten Stabgeradenschnittpunkten,
- der Abstand der Stabenden voneinander und
- ihre Ausrichtung relativ zueinander.

[0013] Unter diesen Parametern oder unter einem Teil von ihnen können die das Biegeverhalten widerspiegelnden Zahlenwerte im Speicher eines Steuergerätes einer Biegemaschine abgelegt und nach Bedarf aufgerufen werden, bei einer CNC-Biegemaschine auch selbsttätig.

[0014] Trotz übereinstimmender Stababmessungen und übereinstimmender Werkstoffnummer können sich Stäbe bzw. Rohre, die aus unterschiedlichen Fertigungschargen stammen, beim Biegen unterschiedlich verhalten. Die WO 2007/121985 A1 berücksichtigt das folgendermaßen: Wird erstmals ein Stab bzw. Rohr, für dessen Abmessungen und für dessen Biegeverhalten Zahlenwerte gespeichert sind, aus einer neuen Charge gebogen, wird die bei dieser Charge

auftretende Radiusaufweitung bestimmt und mit dem entsprechenden, für einen gleichen Biegewinkel bereits gespeicherten Zahlenwert der Radiusaufweitung aus einer oder mehreren vorhergehenden Chargen verglichen. Bei hinreichender Übereinstimmung mit einem bereits gespeicherten entsprechenden Zahlenwert können die bereits gespeicherten Zahlenwerte auch für die neue Charge verwendet werden. Andernfalls können die bereits gespeicherten Zahlenwerte jeweils im Verhältnis eines neu ermittelten Zahlenwertes zu dem ihm entsprechenden bereits gespeicherten Zahlenwert im Wege der Interpolation oder Extrapolation abgeändert und als Satz von Zahlenwerten für eine oder mehrere Biegeaufgaben mit Stäben bzw. Rohren der neuen Charge gespeichert werden.

[0015] Dass Stäbe bzw. Rohre sich beim Biegen unterschiedlich verhalten, weil sie aus unterschiedlichen Fertigungschargen stammen, kann bei den bekannten Biegeverfahren - auch bei dem aus der WO 2007/12198581 bekannten Verfahren - jedoch nicht berücksichtigt werden, wenn die Stäbe bzw. Rohre bereits fertig zugeschnitten zum Biegen angeliefert werden und es sich erst beim Biegen herausstellt, dass z. B. die Streckung kleiner ausfällt als erwartet, so dass die Stäbe bzw. Rohre für die Biegeaufgabe im Ergebnis zu kurz sind, oder dass die Radiusaufweitung größer ausfällt als erwartet, so dass die Stäbe bzw. Rohre für die Biegeaufgabe im Ergebnis zu lang sind. Noch schwieriger gestaltet es sich, beim Biegen von Rohren, deren Material aus unterschiedlichen Fertigungschargen stammt, deren unterschiedliches Biegeverhalten zu berücksichtigen, wenn sich an den Enden der Rohre, die zum Biegen angeliefert werden, schon Flansche oder irgendwelche Armaturen befinden oder wenn die Rohre an den Enden gebördelt sind. In diesen Fällen gibt es nämlich nicht nur dann ein Problem, wenn sich herausstellt, dass die Rohre für die konkrete Biegeaufgabe zu kurz sind, sondern auch dann, wenn sie zu lang sind, denn ein nachträgliches Kürzen ihrer Länge ist in diesen Fällen nicht mehr möglich.

[0016] Im Rohrleitungsbau werden Rohre nämlich oftmals schon vor ihrer Anlieferung zum Biegen auf eine vorausberechnete Länge zugeschnitten. Dabei werden für die Berechnung der Länge bestimmte Rohreigenschaften angenommen. Wenn sich dann jedoch beim Biegen herausstellt, dass sich die Rohreigenschaften von den für die Berechnung der Rohrlänge angenommenen Rohreigenschaften unterscheiden, dann ist die berechnete Länge, auf die die Rohre zugeschnitten sind, zu kurz, sofern deren Streckung und/oder Radiusaufweitung beim Biegen kleiner ausfällt als angenommen, bzw. zu lang, sofern die Streckung und/oder Radiusaufweitung größer ausfällt als angenommen wurde. Die Streckung entsteht durch das auch als Zug-Streckbiegen oder Dornbiegen bezeichnete Zugumformungsbiegen und führt zu einer von den Rohreigenschaften abhängigen Längung des Rohres. Beim Freiformbiegen kann eine eventuell auftretende Streckung des Rohres bzw. Stabes in den meisten Fällen vernachlässigt werden. Eine bei der Berechnung der Rohrlänge falsch angenommene Radiusaufweitung führt ebenfalls zu einem Längenfehler des Rohres, und zwar sowohl beim Dornbiegen als auch beim Freiformbiegen. Wenn aber bereits Flansche an den Enden der zum Biegen angelieferten Rohre angeschweißt sind oder die Rohre gebördelt sind oder sich als zu kurz herausstellen, dann konnte bisher kein passendes Rohr gebogen werden, sondern es musste ein neues Rohr mit korrigierter Länge hergerichtet werden. Das ist mit erheblichem Aufwand verbunden. Oftmals bemerkte man den Längenfehler erst nach dem Biegen oder erst beim Einbau des Rohres in eine Anlage. Dann ist der Aufwand für den Ersatz eines nicht passenden Rohres noch erheblich größer.

[0017] Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren anzugeben, nach welchem in Fällen, in denen sich herausstellt, dass Stäbe, insbesondere Rohre, welche in vorausberechneter Länge zum maschinellen Biegen angeliefert werden und bei welchen sich dann herausstellt, dass sie sich beim Biegen anders verhalten als bei der Berechnung angenommen, eine Korrektur eines Längenfehlers mit weniger Aufwand erfolgen kann als im Stand der Technik.

[0018] Diese Aufgabe wird gelöst durch ein Verfahren mit den im Patentanspruch 1 angegebenen Merkmalen. Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind Gegenstand der abhängigen Ansprüche.

[0019] Die Erfindung ist ein Verfahren zum maschinellen Biegen von Stäben, insbesondere von Rohren, die auf eine bestimmte Ist-Länge zugeschnitten sind, die für eine sich aus einer Biegeaufgabe ergebende gewünschte Gestalt des gebogenen Stabes unter einer fehlerhaften Annahme eines bestimmten Biegeverhaltens des Stabes beim Biegen vorab ermittelt wurde.

[0020] Erfindungsgemäß wird geprüft, wie sich ein Stab, insbesondere ein Rohr, beim Biegen tatsächlich verhält. Unter Berücksichtigung des ermittelten Biegeverhaltens wird eine Soll-Länge des Stabes - unmittelbar oder mittelbar - errechnet, die erforderlich ist, um den Stab in der gewünschten Gestalt zu biegen. Diese Soll-Länge wird mit der Ist-Länge des Stabes verglichen. Die Abweichung der Soll-Länge von der gegebenen Ist-Länge wird für den gegebenen Stab dadurch verkleinert, dass in der Biegeaufgabe für den zu biegenden Stab eine von der ursprünglich gewünschten Gestalt abweichende Gestalt festgelegt wird, in welcher der Abstand der beiden Enden des Stabes voneinander und die Ausrichtung der beiden Enden des Stabes relativ zueinander von der ursprünglich gewünschten Gestalt um weniger abweichen als wenn der gegebene Stab, der die Ist-Länge aufweist, gemäß der unveränderten Biegeaufgabe gebogen worden wäre. Unter einer mittelbaren Berechnung der Soll-Länge wird verstanden, dass deren Wert nicht unbedingt zahlenmäßig ausgegeben werden muss; es genügt, wenn aus dem Vergleich des tatsächlichen Biegeverhaltens, charakterisiert durch zahlenmäßig erfasste Parameter wie Rückfederung, Radiusaufweitung, Streckung und/oder Veränderung von Bogenlängen die vorgegebene ursprüngliche Biegeaufgabe so abgewandelt werden kann, dass bei der

gegebenen Ist-Länge des ungebogenen Stabes eine nur minimale, vorzugsweise verschwindende, Abweichung der Lage und Ausrichtung der Endpunkte des gebogenen Stabes von der ursprünglich geforderten Lage und Ausrichtung der Endpunkte des gebogenen Stabes ergibt.

[0021] Das hat wesentliche Vorteile:

- Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren kann ein Stab, insbesondere ein Rohr, auch dann noch hinreichend genau gebogen werden, wenn die tatsächliche Länge, die Ist-Länge, des Stabes bzw. Rohres nicht den aktuellen Materialeigenschaften entspricht. Auch dann, wenn aufgrund falsch angenommener Materialeigenschaften der Stab bzw. das Rohr für die gegebene Biegeaufgabe zu kurz oder zu lang hergerichtet wurde, kann der Stab bzw. das Rohr noch passend gebogen werden. "Passend" heißt in diesem Zusammenhang, dass die Lage des Stabanfangs bzw. Rohranfangs und die Lage des Stabendes bzw. des Rohrendes der gewünschten Geometrie des gebogenen Stabes bzw. Rohres entsprechen. Anders ausgedrückt: Die Lage des Stabanfangs bzw. Rohranfangs und des Stabendes bzw. Rohrendes relativ zueinander sind so, wie es die ursprüngliche Biegeaufgabe vorschreibt. Entsprechendes gilt für die Ausrichtung der beiden Enden relativ zueinander: Die Richtung der Stabanfangsgeraden bzw. Rohranfangsgeraden und die Richtung der Stabendgeraden bzw. Rohrendgeraden relativ zueinander sind so, wie es die ursprüngliche Biegeaufgabe vorschreibt. Im übrigen darf die Gestalt des gebogenen Stabes bzw. Rohres von der ursprünglich gewünschten Gestalt abweichen, vorzugsweise nur innerhalb von vorgegebenen -Maßtoleranzen.
- Trotz dieser Abweichungen hat das gebogene Rohr bzw. der gebogene Stab eine "passende" Gestalt: Das Rohr kann passgenau z. B. in eine Rohrleitungsanlage eingefügt werden, weil Lage und Orientierung seiner Enden auf die dort vorhandenen Anschlüsse passen.
- Die erfindungsgemäß auftretenden Abweichungen in der Gestalt des gebogenen Stabes oder Rohres zwischen seinen Enden sind in den meisten Fällen, zumindest innerhalb gewisser Toleranzgrenzen, hinnehmbar. Erfahrungsgemäß sind z. B. Toleranzen in einem Toleranzmantel von ± 5 mm um die Soll-Gestalt eines Rohres herum tolerierbar, da Rohre üblicherweise mit einem Sicherheitsabstand zu anderen Bestandteilen einer Anlage verlegt werden. Dieser Sicherheitsabstand kann für Zwecke der Erfindung ausgenutzt werden, um entsprechende Toleranzen im Verlauf eines Rohres zwischen seinen Enden zuzulassen, solange wie die Lage und die Flucht der beiden Enden des Rohres passend sind.
- Die Erfindung ermöglicht es, mit geringem Aufwand Stäbe bzw. Rohre, die etwas zu kurz oder etwas zu lang zum Biegen angeliefert werden, dennoch passend zu biegen.
- Die Produktion von Ausschuss kann durch Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahren drastisch reduziert werden.

[0022] Es mag Rohrleitungsgeometrien geben, bei denen das erfindungsgemäße Verfahren nicht zu einem innerhalb gegebener Toleranzgrenzen maßhaltigen gebogenen Rohr führt. Trotzdem führt auch in einem solchen Fall die Erfindung zu einer Minimierung der Abweichungen der beim Durchführen der erfindungsgemäß abgeänderten Biegeaufgabe erreichbaren Gestalt von der ursprünglich gewünschten Gestalt und somit zu einer Minimierung des Fehlers.

[0023] Vorzugsweise wird die von der gewünschten Gestalt abweichende Gestalt so festgelegt, dass die Ausrichtung und/oder der Abstand der Enden des Stabes relativ zueinander gegenüber der ursprünglich gewünschten Gestalt unverändert bleiben. Vorzugsweise wird die abweichende Gestalt so festgelegt, dass sowohl die Ausrichtung als auch der Abstand der Enden des Stabes unverändert bleiben.

[0024] Die gewünschte Gestalt eines Stabes oder Rohres wird zweckmäßigerweise durch eine Biegeaufgabe vorgegeben, die durch Parameter beschrieben werden kann, wie sie im Absatz [0012] dieser Patentanmeldung angegeben sind. Aus der Biegeaufgabe lässt sich unter Berücksichtigung des gegebenen, materialabhängigen Biegeverhaltens eine Soll-Länge berechnen, die ein Stab bzw. Rohr haben soll, welches in eine Gestalt gebogen werden soll, die durch die Biegeaufgabe vorgegeben ist. Weicht die Ist-Länge des Stabes bzw. Rohres von der Soll-Länge ab, wird erfindungsgemäß die gewünschte Gestalt abgeändert, d. h., einer oder mehrere Parameter der Biegeaufgabe werden so verändert, dass der Abstand der Stabenden bzw. Rohrenden voneinander und deren Ausrichtung relativ zueinander erhalten bleiben, so wie sie in der ursprünglichen Biegeaufgabe formuliert worden sind. Im übrigen wird die Biegeaufgabe so abgeändert, dass der Verlauf des Stabes oder Rohres zwischen seinen Enden von dem ursprünglich gewollten Verlauf abweicht, vorzugsweise nur innerhalb von vorgegebenen oder vorwählbaren Toleranzgrenzen von dem ursprünglich gewollten Verlauf abweicht.

[0025] Vor dem Durchführen einer Biegeaufgabe an einem ersten Stab aus einer Charge wird vorzugsweise an einem Probestab aus derselben Charge geprüft, wie sich der Stab beim Biegen tatsächlich verhält. Verhält sich der Probestab so, wie es beim Berechnen der Ist-Länge der abgeschnittenen Stäbe angenommen worden ist, dann kann die Biegeaufgabe so durchgeführt werden, wie sie ursprünglich festgelegt worden ist. Weicht das tatsächliche Biegeverhalten jedoch vom ursprünglich angenommenen Biegeverhalten ab, dann wird unter Berücksichtigen der festgestellten Abweichung im Biegeverhalten die Biegeaufgabe erfindungsgemäß abgeändert.

[0026] Anstatt das Biegeverhalten an einem Probestab aus einer Charge zu prüfen, kann man es auch beim Biegen

des ersten Bogens in einem Stab überprüfen, der die gewünschte, durch die Biegeaufgabe definierte, Gestalt erhalten soll und entscheidet danach, ob die restliche Biegeaufgabe unverändert durchgeführt werden kann oder ob sie erfindungsgemäß abzuändern ist. Das hat den Vorteil, dass man nicht wissen muss, aus welcher Charge ein Rohr oder Stab stammt. Es hat den weiteren Vorteil, dass auch Schwankungen im Biegeverhalten innerhalb einer Charge durch erfindungsgemäßes Anpassen der Biegeaufgabe individuell ausgeglichen werden können. Stellt man z. B. beim Biegen eines ersten Bogens in einem Rohr fest, dass man für ihn einen größeren oder kleineren Teil der vorhandenen Rohrlänge verbraucht als ursprünglich geplant, wird der Rest der Biegeaufgabe so abgewandelt, dass man für ihn möglichst genau die restliche Rohrlänge verbraucht, und zwar unter der Randbedingung, dass die Lage von Anfang und Ende des Rohres relativ zueinander und deren Ausrichtung relativ zueinander mit der ursprünglich festgelegten Biegeaufgabe übereinstimmen.

[0027] In beiden Fällen wird zweckmäßigerweise ermittelt, welche Streckung der Stab beim Biegen erfährt, wie groß die Rückfederung ist, die als Folge des Biegens des Stabes auftritt, und welche Radiusänderung, insbesondere Radiusaufweitung, beim Biegen des Stabes auftritt. Beim Freiformbiegen kann der Radius - anders als beim Dornbiegen - nicht nur größer, sondern auch kleiner ausfallen als gewünscht. Wie die Streckung, die Rückfederung und die Radiusaufweitung ermittelt werden können, kann der Fachmann für das Beispiel des Zugumformungsbiegens oder Dornbiegens aus der WO 2007/121985 A1 entnehmen.

[0028] Die Streckung kann z. B. aus dem Überbiegewinkel $\Delta\beta$ oder aus der Radiusaufweitung r_a abgeleitet werden. Ein gut brauchbarer Zahlenwert für die absolute Streckung S, welche beim Biegen eines Bogens in einer Dornbiegemaschine auftritt, ist der Wert

$$(1) \quad S = ((R_m 2\pi(\beta + \Delta\beta))/360^\circ) - \Delta V$$

worin ΔV die Strecke ist, um welche das hintere Ende des Stabes gezogen, geschoben oder auf andere Weise vorwärts bewegt wird, wenn dieser mit dem Soll-Radius R_m (bezogen auf die Mittellinie des Stabes) um den Soll-Biegewinkel β plus den Überbiegewinkel $\Delta\beta$ gebogen wird, gemessen vor der Rückfederung um den Überbiegewinkel. Die Strecke ΔV , um welche das hintere Ende des Stabes dabei vorwärts bewegt wird, erhält man problemlos von dem Weggeber, welcher der Vorschubeinrichtung für den Stab zugeordnet ist.

[0029] Anstatt in einem Rechner die absolute Streckung S als Länge zu speichern, kann man auch einen Streckungsfaktor SF speichern, der das Verhältnis der tatsächlichen Bogenlänge mit Streckung zur theoretischen Bogenlänge ohne Streckung eines Bogens im Stab angibt. Als Streckungsfaktor SF kann man in brauchbarer Näherung die Größe

$$(2) \quad SF = (\Delta V \times 360^\circ) / (2\pi(\beta + \Delta\beta)R_m)$$

verwenden.

[0030] Alternativ kann die Streckung auch mit Hilfe der Radiusaufweitung bestimmt werden. In diesem Fall erhält man die Streckung in guter Näherung aus der Formel

$$(3) \quad S = ((R_m + r_a) 2\pi\beta/360^\circ) - \Delta V,$$

in welcher r_a die Radiusaufweitung und ΔV die Strecke ist, um welche das hintere Ende des Stabes infolge des Biegens des Bogens vorbewegt wurde, gemessen vor dem Rückfedern des Stabes. Für einen bestimmten Biegeradius R_m , bezogen auf die Mittellinie des Stabes, insbesondere eines Rohres, erhält man die Radiusaufweitung r_a in brauchbarer Näherung zu

$$(4) \quad r_a = R_m (\Delta\beta/\beta)$$

[0031] Als Streckfaktor SF kann man in diesem Fall die Größe

$$(5) \quad SF = (\Delta V \times 360^\circ) / (2\pi\beta(R_m + r_a))$$

5 verwenden. Möglichkeiten zu einer genaueren Berechnung sind in der WO 2007/121985 A1 angegeben.
[0032] Eine vereinfachte Möglichkeit, die Streckung rechnerisch zu berücksichtigen, gibt die Gleichung

$$10 \quad (6) \quad S = (R_m 2\pi\beta/360^\circ) - \Delta V$$

an. Diese vereinfachte Gleichung lässt den Einfluss der Radiusaufweitung auf die Streckung unberücksichtigt. Daraus kann man den Streckfaktor

15

$$(7) \quad SF = (360^\circ \times \Delta V) / (2\pi\beta R_m)$$

20

ableiten. In diesem Fall ist der Streckfaktor mit der theoretischen Bogenlänge ohne Radiusaufweitung zu multiplizieren, um einen Zahlenwert für die absolute Streckung zu erhalten.

[0033] Eine Radiusaufweitung r_{aa} führt beim Biegen eines Kreisbogens mit dem Biegewinkel β sowohl beim Dornbiegen als auch beim Formbiegen zu einer Bogenverkürzung B_1 , die in guter Näherung

25

$$(8) \quad B_1 = 2\pi\beta * r_{aa} / 360^\circ$$

30

beträgt. Ist die Radiusaufweitung jedoch größer als r_{aa} , nämlich $r_{ab} > r_{aa}$, dann wird die Bogenverkürzung

35

$$(9) \quad B_2 = 2\pi\beta r_{ab} / 360^\circ$$

und der gebogene Stab wäre allein wegen dieses Fehlers um

40

$$(10) \quad B_2 - B_1 = 2\pi\beta(r_{ab} - r_{aa}) / 360^\circ$$

zu lang, wenn er nicht durch das erfindungsgemäße Verfahren kompensiert würde. Eine Streckung kann beim Freiformbiegen in den meisten Fällen vernachlässigt werden.

45 **[0034]** Folglich kann aus den vorgegebenen Daten der Biegeaufgabe und aus einer einfachen Wegmessung an der Vorschubeinrichtung, unter Berücksichtigung des Überbiegewinkels bzw. der Radiusaufweitung, für jeden Bogen eine zu erwartende Änderung der Position des Stabendes relativ zum Stabanfang bequem vorab ermittelt werden. Da der Überbiegewinkel und die Radiusaufweitung bereits beim ersten Biegevorgang ermittelt bzw. aus dem ersten Biegevorgang abgeleitet werden können, kann mit Hilfe des Soll-Biegewinkels β und des Soll-Biegeradius R_m , die durch die
 50 jeweilige Biegeaufgabe vorgegeben sind, für jeden Bogen der zu erwartende und erfindungsgemäß zu kompensierende und zu berücksichtigende Lagefehler für das Stabende leicht errechnet werden. Es hat sich gezeigt, dass - wenn die Streckung und die Bogenverkürzung bzw. beim Freiformbiegen auch eine Bogenverlängerung für einen Biegewinkel ermittelt wurden - sie einfach im Verhältnis der Biegewinkel auch für andere Biegewinkel errechnet werden können.

[0035] Die Streckung und die Bogenverkürzung bzw. Bogenverlängerung werden vorzugsweise für einen bestimmten Biegewinkel auf einen Einheits-Biegeradius normiert und für einen bestimmten Biegeradius auf einen Einheitsbiegewinkel normiert. Daraus können dann für eine bestimmte Biegeaufgabe mit vorgegebenem Biegeradius R_m und Biegewinkel β die zu erwartende absolute Streckung und die zu erwartende absolute Bogenverkürzung bzw. Bogenverlängerung errechnet werden. Außerdem lässt sich vorab errechnen, an welcher Position sich das hintere Ende des Stabes nach

dem Biegen eines jeden einzelnen Bogens des Stabes befinden sollte.

[0036] Die sich aus den Materialeigenschaften der Stäbe oder Rohre einer gegebenen Charge ergebende Soll-Länge des Stabes oder Rohres für eine konkrete Biegeaufgabe kann also durch die beim Biegen ermittelte Streckung und/oder aus der beim Biegen ermittelten Radiusaufweitung und/oder aus der Änderung einer Bogenlänge berechnet werden.

[0037] Wie die Streckung bzw. der Streckfaktor auch außerhalb der Biegemaschine an einem gebogenen Stab bestimmt werden kann, offenbart die WO 2007/121985 A1.

[0038] Die Soll-Länge des Stabes bzw. Rohres kann abgeschätzt werden, indem die beim Biegen aufgetretene Streckung des Stabes und die Bogenverkürzung bzw. -verlängerung verglichen werden mit jener Streckung des Stabes und mit jener Bogenverkürzung bzw. -verlängerung, welche der Berechnung der Ist-Länge des Stabes zugrunde gelegt wurde und/oder indem die beim Biegen aufgetretene Radiusaufweitung verglichen wird mit jener Radiusaufweitung, die der Berechnung der Ist-Länge des Stabes zugrunde gelegt wurde. Wenn Werte der Streckung oder des Streckungsfaktors oder der Radiusaufweitung oder der Bogenverkürzung bzw. Bogenverlängerung für Rohre aus unterschiedlichen Chargen bekannt sind, kann für die aktuelle Charge die Soll-Länge des Stabes durch Interpolation oder Extrapolation ermittelt werden.

[0039] Die Soll-Länge für einen Stab mit einer bestimmten Gestalt bzw. für eine bestimmte Biegeaufgabe muss vorteilhafterweise für Stäbe aus einer bestimmten Charge nur einmal bestimmt werden und kann dann für alle Stäbe derselben Charge und mit der gleichen Biegeaufgabe beibehalten werden, denn es ist eine begründete Annahme, dass sich die Stäbe, die aus ein und derselben Charge stammen, beim Biegen gleich verhalten. Wenn jedoch nicht sicher ist, ob alle zu biegenden Stäbe aus derselben Charge stammen oder wenn nicht ausgeschlossen werden kann, dass sich Stäbe beim Biegen unterschiedlich verhalten, obwohl sie aus derselben Charge stammen, dann kann das erfindungsgemäße Verfahren mit Vorteil auch bei jedem Stab angewendet werden, insbesondere so, dass beim Biegen eines ersten Bogens oder eines Teils des ersten Bogens die relevanten Parameter ermittelt werden, die das Biegeverhalten kennzeichnen, und dass daraufhin unter Berücksichtigung des ermittelten tatsächlichen Biegeverhaltens die restliche Biegeaufgabe am Stab so abgewandelt und erledigt wird, dass die Lage der Enden des Stabes relativ zueinander und deren Ausrichtung so sind, wie es die ursprüngliche Biegeaufgabe vorschreibt.

[0040] Für das Ändern der gewünschten Gestalt des Stabes bzw. für das Ändern der Biegeaufgabe für den Stab kommt vor allem eine Änderung von Biegeradien und Biegewinkeln in Betracht. Vorzugsweise wird bei wenigstens einem Bogen, insbesondere bei allen im Stab vorgesehenen Bögen, in dem Stab der Biegewinkel verändert. Eine Änderung von Biegewinkeln ist mit besonderem Vorteil auch dann möglich, wenn ein Stab nicht nur in einer Ebene gebogen wird - dann sind alle Biegeachsen zueinander parallel - sondern auch dann, wenn der Stab dreidimensional gebogen wird, sodaß die nicht alle Biegeachsen zueinander parallel sind. In diesem Fall kann mit Vorteil auch der Winkel geändert werden, um welchen die Biegeebene gedreht wird, auf welcher die Biegeachse jeweils senkrecht steht; mit anderen Worten: Zum Ändern der gewünschten Gestalt des Stabes wird der Winkel zwischen zwei sich schneidenden Biegeebenen geändert, auf welchen jeweils eine Biegeachse senkrecht steht. Die Maßabweichungen im Verlauf eines Stabes, die sich durch eine Änderung der Biegeaufgabe ergeben, werden umso kleiner sein, je mehr sich die Änderungen über die gesamte Länge des Stabes verteilen. Die Erfindung eignet sich deshalb vor allem für Biegeaufgaben, bei welchen in einem Stab wenigstens zwei Bögen vorgesehen sind, und für solche Biegeaufgaben wird das erfindungsgemäße Verfahren bevorzugt angewendet. Je mehr Bögen vorgesehen sind, auf desto mehr Bögen können die Änderungen in der Biegeaufgabe verteilt werden und umso geringer werden sich die Änderungen in den einzelnen Bögen und auf den Verlauf der Gestalt des Stabes insgesamt auswirken.

[0041] Die gewünschte Gestalt des Stabes wird vorzugsweise dadurch geändert, dass in der gewünschten Gestalt vorhandene Etagen, im Falle eines Rohres sind es Rohretagen, geändert werden. Unter einer Rohretage wird ein Rohrabschnitt verstanden, in welchem auf einen Bogen mit negativer Krümmung ein Bogen mit positiver Krümmung folgt. In Fällen, in denen z. B. die Ist-Länge eines Rohres bzw. Stabes größer ist als seine unter Berücksichtigung des tatsächlichen Biegeverhaltens ermittelte Soll-Länge, werden die Rohretagen bzw. Stabetagen flacher ausgebildet als ursprünglich gewünscht. Dadurch wird der Rohrabschnitt, in welchem die jeweilige Etage liegt, etwas verlängert. In Fällen, in denen die Ist-Länge eines Rohres bzw. Stabes kürzer ist als seine Soll-Länge, werden die Rohretagen bzw. Stabetagen steiler ausgebildet als ursprünglich geplant, so dass die Rohrabschnitte, in welchen die Rohretagen bzw. Stabetagen liegen, gegenüber der ursprünglichen Planung etwas verkürzt werden. Entsprechendes gilt, wenn in einem Stab Bögen mit positiver und negativer Krümmung aufeinander folgen.

[0042] Die Änderung von Rohretagen bzw. Stabetagen eignet sich besonders als eine Maßnahme zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens.

[0043] Die Erfindung eignet sich besonders für das Biegen von Rohren, kann aber auch auf das Biegen von massiven Rundstäben, Profilstäben und Hohlprofilstäben angewendet werden, welche hier zusammen mit Rohren als Stäbe bezeichnet sind.

[0044] Das erfindungsgemäße Verfahren kann sowohl in einer Dornbiegemaschine als auch in einer Maschine zum Freiformbiegen durchgeführt werden. In einer Dornbiegemaschine, wie sie in der EP 0 384 477 B1 und in der WO 2007/121985 A1 offenbart ist, wird für jeden in dem Stab zu biegenden Bogen ein vorderer Abschnitt des Stabes in eine

Spannvorrichtung eines Biegewerkzeuges eingespannt, welche um eine Achse verschwenkbar ist. Ein demgegenüber hinterer Abschnitt des Stabes wird an ein in der Nachbarschaft des Biegewerkzeuges angeordnetes Biegewiderlager angelegt. Die Spannvorrichtung wird um einen vorgewählten Winkel und in einer solchen Richtung verschwenkt, dass der jeweils hintere Abschnitt des Stabes gezogen wird und gegen das Biegewiderlager drückt. Zu dem Biegewerkzeug gehört ein Dorn, um dessen Umfangsfläche der Stab gebogen wird, wenn das Biegewerkzeug verschwenkt wird.

[0045] Ein Beispiel einer Maschine für das Freiformbiegen offenbart die EP 1 342 514 A2. In einer solchen Maschine sind wenigstens drei Rollen vorgesehen, die um zueinander parallele Achsen drehbar sind. Der zu biegende Stab wird so zwischen den wenigstens drei Rollen hindurchgeführt, dass eine Rolle, welche auch als Biegeschablone bezeichnet wird, auf der einen Seite des Stabes angeordnet ist, während die übrigen Rollen auf der gegenüberliegenden Seite des Stabes angeordnet sind. Von den übrigen Rollen wird die in Vorschubrichtung des Stabes vorderste Rolle auch als Biegerolle bezeichnet, die übrigen Rollen dienen als Stützrollen, welche ein Widerlager für den hinteren Abschnitt des Stabes bilden. Wenn mehr als eine Stützrolle vorhanden ist, dann bilden sie eine gerade Reihe. Zum Biegen wird die als Biegeschablone dienende Rolle der Verbindungslinie zwischen der Biegerolle und der ersten Stützrolle angenähert und übt Druck auf den Stab aus, so dass er sich krümmt, während er durch die Rollenanordnung geschoben wird. Der Biegeradius ist umso kleiner, je weiter die als Biegeschablone dienende Rolle gegen den Stab vorgeschoben wird. Wegen näherer Einzelheiten wird auf die EP 1 342 514 A2 hingewiesen, deren Inhalt hiermit ausdrücklich in die vorliegende Patentanmeldung einbezogen wird.

[0046] In einer Maschine für das Freiformbiegen, wie sie zum Beispiel in der EP 1 342 514 A2 offenbart ist, können bereits während des Biegens eines ersten Bogens der tatsächlich entstehende Radius und der tatsächlich erzielte Bogenwinkel gemessen und mit den Vorgaben der Biegeaufgabe verglichen werden. Abweichungen von den Vorgaben der Biegeaufgabe können dann im Verlauf des weiteren Biegevorganges durch Anwenden des erfindungsgemäßen Verfahrens durch Ändern des Biegewinkels und/oder durch Ändern der Drehung von einer Biegeebene auf eine andere Biegeebene und/oder des Biegeradius und/oder des Abstandes eines oder mehrerer Stabgeradenschnittpunkte voneinander oder von einem Stabende so ausgeglichen werden, dass die Lage und Ausrichtung der Stabenden relativ zueinander so sind, wie es die ursprüngliche Biegeaufgabe fordert, bzw. den Vorgaben der ursprünglichen Biegeaufgabe sehr nahe kommen.

[0047] Ausführungsbeispiele der Erfindung werden nachfolgend anhand der beigefügten schematischen Zeichnungen erläutert.

Figur 1 zeigt ein Rohr nach einem in einer Dornbiegemaschine durchgeführten Biegevorgang, während es noch im Biegewerkzeug und in einer Vorschubeinrichtung gehalten ist und unter Spannung steht,

Figur 2 zeigt das Rohr aus Figur 1, welches von der Vorschubeinrichtung und vom Biegewiderlager entkoppelt ist,

Figur 3 zeigt das Rohr aus Figur 2, noch immer in die Spannvorrichtung eingespannt, aber durch Verschwenken der Spannvorrichtung in eine Lage verschwenkt, in welcher der hintere Schenkel des Rohres parallel zu seiner ursprünglichen Lage, wie in Figur 1 angegeben, ausgerichtet ist,

Figur 4 zeigt schematisch, wie eine Kennlinie, die für einen ausgewählten Stab die Abhängigkeit der Radiusaufweitung vom Biegewinkel angibt, linearisiert werden kann,

Figur 5 zeigt schematisch, wie die Gestalt eines Stabes oder Rohres erfindungsgemäß abgewandelt werden kann,

Figur 6 zeigt schematisch die Gestalt eines rechtwinklig gebogenen Rohres oder Stabes in einer Seitenansicht, und zwar in seiner ursprünglich festgelegten Sollgestalt,

Figur 7 zeigt schematisch die Gestalt des Rohres bzw. Stabes aus Figur 6 in einer Draufsicht, senkrecht zur Seitenansicht in Figur 6,

Figur 8 zeigt in einer Ansicht entsprechend der Figur 6, wie man sich bei einem Biegeverhalten, welches vom ursprünglich angenommenen Biegeverhalten abweicht, der Sollgestalt annähern kann, wenn man das erfindungsgemäße Verfahren anwendet, und

Figur 9 zeigt das gebogene Rohr bzw. den gebogenen Stab aus Figur 8 in einer Draufsicht entsprechend der Figur 6.

[0048] Figur 1 zeigt als Bestandteile einer Dornbiegemaschine in einer Draufsicht eine Vorschubeinrichtung 1, ein Biegewiderlager 2, welches als geradlinige Gleitschiene ausgebildet ist, und ein Biegewerkzeug 3, welches um eine zur Zeichenebene senkrechte Achse 4, die Biegeachse, verschwenkbar ist. Das Biegewerkzeug 3 hat einen Dorn mit einer

als Rotationsfläche ausgebildeten Mantelfläche 5, welche sich über etwas mehr als einen Dreiviertelkreis erstreckt und im Radialschnitt eine konkave Kontur hat, welche dem Außendurchmesser des Rohres 6 angepasst ist. Die Rotationsfläche 5 geht tangential in eine Spannvorrichtung 7 über, bestehend aus einem Paar Klemmbacken, zwischen welchen das Rohr 6 fest eingespannt werden kann.

[0049] Zu Beginn des Biegevorgangs ist die Spannvorrichtung 7 parallel zum Biegewiderlager 2 ausgerichtet. Das Biegewiderlager 2 wird an das Rohr 6 angelegt, welches mit seinem hinteren Ende bis zu einem Anschlag 8 in der Vorschubeinrichtung 1 steckt, die sich auf einem Vorschubschlitten befinden kann.

[0050] Das Rohr 6 wird durch Verschwenken des Biegewerkzeugs 3 mit der Spannvorrichtung 7 gebogen. Es zieht dabei den hinteren Abschnitt des Rohres 6 an dem Biegewiderlager 2 entlang und wickelt das Rohr 6 um die Rotationsfläche 5. Beim ersten Biegevorgang, dargestellt in Figur 1, kann zunächst der erforderliche Überbiegewinkel $\Delta\beta$ mit Hilfe eines Messlineals 9 bestimmt werden, welches mit dem Biegewiderlager 2 gekoppelt ist. Die Bestimmung des Überbiegewinkels $\Delta\beta$ ist in der EP 0 384 477 B1 beschrieben, worauf hiermit Bezug genommen wird. Ist der Überbiegewinkel $\Delta\beta$ bestimmt, dann wird der Schwenkwinkel des Biegewerkzeugs 3 um den Überbiegewinkel $\Delta\beta$ erhöht, um den gewünschten Soll-Biege Winkel β_1 zu erreichen. Figur 1 zeigt das Rohr 6 im überbogenen Zustand. Über die Lage, in welcher sich das hintere Ende 6b des Rohres 6 befindet, gibt ein Weggeber Auskunft, welcher mit der Vorschubeinrichtung 1 gekoppelt ist. Danach wird die Vorschubeinrichtung 1 zurückgezogen und vom Ende 6b des Rohres 6 entkoppelt. Das Biegewiderlager 2 wird quer zum hinteren Schenkel des Rohres 6 parallel zu sich selbst zurückgezogen und erlaubt eine Auffederung des Bogens 6a. Diesen Zustand zeigt die Figur 2. Der Bogen 6a des Rohres 6 ist nun spannungsfrei, sein Radius hat sich aufgeweitet. Der Winkel zwischen den beiden Rohrschenkeln hat sich vergrößert und beträgt jetzt $180^\circ - \beta_1$.

[0051] Als nächstes wird das Biegewerkzeug 3 verschwenkt, um den hinteren Schenkel des Rohres 6 in eine Ausrichtung parallel zu seiner ursprünglichen Ausrichtung wie in Figur 1 und parallel zum Biegewiderlager 2 zu bringen. Diesen Zustand zeigt die Figur 3. In der Figur 3 ist zusätzlich die Lage eingezeichnet, die der hintere Rohrschenkel im Zustand wie in Figur 1 hatte. Infolge der Radiusaufweitung hat sich das hintere Ende 6b um die Strecke ΔV_2 in Richtung gegen die Vorschubeinrichtung 1 verlagert. Diese Verlagerung kann mit Hilfe des Weggebers gemessen werden, welcher mit der Vorschubeinrichtung 1 gekoppelt ist, indem die Vorschubeinrichtung 1 bis zum Anschlag gegen das Ende 6b des Rohres 6 vorgeschoben wird und dieses in der gleichen Referenzposition - Anschlag 8 - aufnimmt, welche es in Figur 1 inne hatte. Die Differenz der Positionen der Vorschubeinrichtung 1 in Figur 1 und - nach dem erneuten Aufnehmen des Endes 6b des Rohres 2 - in Figur 3 ist die Strecke ΔV_2 . Daraus ergibt sich die Radiusaufweitung r_a , indem ΔV_2 durch den Sinus des Biege Winkels β_1 geteilt wird.

[0052] Anhand der Figur 3, in welcher auch der Rohrgeradenschnittpunkt 19 für das gebogene Rohr eingezeichnet ist, ist zu erkennen, dass die Lage des hinteren Schenkels des Rohres 6 nach dem Biegen und erneutem Ausrichten parallel zur ursprünglichen Lage wie in Figur 1 mit dieser nicht deckungsgleich ist. Der Abstand ΔV_3 , quer zum Biegewiderlager 2 bzw. quer zum hinteren Rohrschenkel gemessen, ist ein Maß für die Radiusaufweitung, welche man erhält, indem man ΔV_3 durch $(1 - \cos \beta_1)$ teilt.

[0053] Verglichen mit dem theoretischen Fall ohne Radiusaufweitung wird der Vorschub des Rohres 6 zur nächsten Biegeposition um die Radiusaufweitung r_a , multipliziert mit dem Tangens des halben Biege Winkels β_1 des ersten Bogens 6a, sowie um die Radiusaufweitung r_a multipliziert mit dem Tangens des halben Biege Winkels β_2 eines als Zweiten zu biegenden Bogens, verkürzt:

$$(11) \Delta V = r_a * \tan \beta_1/2 + r_a * \tan \beta_2/2,$$

worin ΔV die zu berücksichtigende Verkürzung des Vorschubs ist. Soll die Abhängigkeit der Radiusaufweitung vom Biege Winkel berücksichtigt werden, wird daraus die Gleichung

$$(12) \Delta V = r_{a1} * \tan \beta_1/2 + r_{a2} * \tan \beta_2/2$$

worin r_{a1} die zum Biege Winkel β_1 gehörende Radiusaufweitung und r_{a2} die zum Biege Winkel β_2 gehörende Radiusaufweitung sind.

[0054] Mit der ermittelten Größe ΔV gemäß den Gleichungen (11) und (12) kann man nun mit Hilfe der Gleichungen (1), (3) oder (6) die Streckung berechnen oder mit Hilfe der Gleichungen (2), (5) oder (7) den Streckfaktor berechnen und mit der Streckung bzw. mit dem Streckfaktor vergleichen, der unter Zugrundelegen der ursprünglichen Biegeaufgabe für die Berechnung der Länge des zu biegenden Stabes angenommen wurde und welche zur Ist-Länge der zum Biegen

angelieferten Stäbe geführt hat.

[0055] Eine Änderung des Biegeverhaltens des Stabes gegenüber dem ursprünglich angenommenen Biegeverhalten wird beim Biegen um einen bestimmten Winkel β im Falle des Dornbiegens zu einer Veränderung der Radiusaufweitung führen und beim Freiformbiegen ebenfalls zu einer Veränderung der Radiusaufweitung bzw. unmittelbar zu einer Veränderung des Radius des Bogens führen, wenn man die Anordnung der beim Biegen auf den Stab einwirkenden Rollen relativ zueinander gegenüber der ursprünglichen Biegeaufgabe unverändert lässt. Die in beiden Fällen damit einhergehende Vergrößerung oder Verkleinerung des Biegeradius führt gegenüber der ursprünglichen Biegeaufgabe, wenn der Biegewinkel β beibehalten wird, zu einer Verkürzung bzw. Verlängerung des Bogens, welche zugleich die Lage der Enden des gebogenen Stabes relativ zueinander gegenüber der Vorgabe der ursprünglichen Biegeaufgabe ändert, wenn die Änderung der Bogenlänge nicht unter Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens kompensiert wird. Die Kompensation kann dadurch geschehen, dass bei weiteren Bögen im Stab der Biegewinkel und/oder der Biegeradius gegenüber der ursprünglichen Biegeaufgabe so geändert werden, dass jedenfalls die Enden des fertig gebogenen Stabes die in der ursprünglichen Biegeaufgabe vorgeschriebene Lage und Ausrichtung relativ zueinander erhalten.

[0056] Aus dem Vergleich des tatsächlichen Biegeverhaltens mit dem ursprünglich angenommenen Biegeverhalten kann man in einem Steuergerät der Biegeeinrichtung durch einen mathematischen Algorithmus eine geänderte Gestalt des Stabes bzw. geänderte Parameter der Biegeaufgabe, insbesondere geänderte Biegewinkel, berechnen. Die Berechnung erfolgt erfindungsgemäß unter der Randbedingung, dass die Lage der Enden des gebogenen Stabes relativ zueinander und die Ausrichtung der Enden relativ zueinander gegenüber der ursprünglichen Biegeaufgabe unverändert bleiben. Im übrigen darf die Gestalt des gebogenen Stabes aber von der ursprünglichen Soll-Gestalt abweichen, vorzugsweise jedoch nur innerhalb tolerierbarer Grenzen, die umso kleiner gehalten werden können, je mehr Bögen und insbesondere je mehr Etagen im gebogenen Stab vorgesehen sind.

[0057] Figur 4 zeigt beispielhaft eine Kennlinie 10, welche die Abhängigkeit der Radiusaufweitung vom Biegewinkel für ein ausgewähltes Rohr darstellt. Auf der waagerechten Achse ist der Biegewinkel β angegeben. Auf der senkrechten Achse ist die Radiusaufweitung r_a in relativen Einheiten angegeben. Die Kurve soll lediglich schematisch einen typischen Verlauf der Kennlinie darstellen. Es handelt sich um eine fallende Kennlinie, welche Ähnlichkeit mit einer Hyperbel hat. Im erfindungsgemäßen Verfahren kann die Abhängigkeit der Radiusaufweitung r_a vom Biegewinkel β vereinfacht dadurch berücksichtigt werden, dass die Kennlinie 10 in drei Abschnitten 11, 12 und 13 linearisiert wird, indem die Kennlinie 10 im Bereich von 0° bis 60° durch eine steilere Gerade 11 angenähert wird, im Bereich von 60° bis 120° durch eine weniger steile Gerade 12 angenähert wird und im Bereich von 120° bis 180° durch eine sehr flache Gerade 13 angenähert wird. Die linearisierte Kennlinie kann in der Steuerung einer Rohrbiegemaschine gespeichert sein, so dass die Steuerung beim Biegen auf sie zugreifen kann. Für unterschiedliche Rohre oder Stäbe werden zweckmäßigerweise individuelle Kennlinien in linearisierter Form gespeichert.

[0058] Figur 5 zeigt schematisch den Verlauf der Gestalt eines gebogenen Stabes 14, der zwischen seinen beiden Enden 15 und 16 zwei Etagen 17 und 18 aufweist. Es sei angenommen, dass bei der Berechnung der Länge des Stabes ein zu niedriger Streckfaktor zugrunde gelegt wurde, so dass der Stab, wenn er entsprechend der ursprünglichen Biegeaufgabe gebogen wird, einen um ΔL zu geringen Abstand zwischen seinen beiden Enden 15 und 16 hat. Um diesen Fehler ΔL auszugleichen, werden die beiden Etagen 17 und 18 durch Verändern der Biegewinkel etwas flacher gestaltet, wie es in Figur 5 - aus Gründen der Deutlichkeit übertrieben - gestrichelt dargestellt ist. Die Abweichungen zwischen den beiden Verläufen des Stabes sollten innerhalb tolerierbarer Grenzen liegen.

[0059] Die Figuren 6 und 7 zeigen in einer Seitenansicht und in einer Draufsicht die Gestalt eines rechtwinklig zu biegenden Stabes. Die rechten Winkel sollen mit einem Radius von 100 mm gebogen werden. Der Radius ist in den Figuren 6 und 7 nicht dargestellt. Der Stab ist vielmehr vereinfacht nur durch seine Stabgeraden und deren Schnittpunkte (im Falle eines Rohres durch seine Rohrgeraden und deren Schnittpunkte) dargestellt.

[0060] Der Stabanfangspunkt 20, die Stabgeradenschnittpunkten 21, 22 und 23 sowie der Stabendpunkt 24 sind mit ihren Koordinaten X, Y und Z eines rechtwinkligen Koordinatensystems in der nachstehenden Tabelle 1 in mm angegeben.

Tabelle 1

Koordinate Punkt	X	Y	Z
20	0	0	0
21	0	0	-300
22	500	0	-300
23	500	600	-300
24	1100	600	-300

[0061] Für diese Biegeaufgabe wurde mit einem angenommenen Streckfaktor von 0,920 und mit einer angenommenen Radiusaufweitung von 1,0 mm eine Stablänge von 1.831,24 mm berechnet. Auf diese Länge wurde der Stab vor dem Biegen abgeschnitten. Für das anschließende Biegen ist demnach die Ist-Länge 1.831,24 mm.

[0062] Das Biegen wird z. B. mit einer Dornbiegemaschine durchgeführt, dessen Biegewerkzeug 3 einen Dorn mit einem Radius von 100 mm hat. Aufgrund der angenommenen Radiusaufweitung von 1 mm wird zum Biegen des ersten Bogens, welchem der Stabgeradenschnittpunkt 21 zugeordnet ist, das vordere Ende 20 des Stabes nicht 200mm, sondern 199mm vor der Mitte des Dorns im Biegewerkzeugs 3 platziert. Bei einer Radiusaufweitung von Null wäre das vordere Ende des Stabes in einem Abstand von 200mm vor der Mitte des Dorns zu platzieren gewesen. Die Radiusaufweitung von 1mm führt jedoch gemäß Gleichung (11) für einen Biegewinkel von 90° zu einer Verlängerung des Abstandes des ersten Stabgeradenschnittpunktes vom Stabanfang um $1 \text{ mm} \cdot \tan(90^\circ/2) = 1 \text{ mm}$.

[0063] Wird jedoch nach dem Biegen des ersten Bogens festgestellt, dass der Streckfaktor und die Radiusaufweitung tatsächlich größer sind als angenommen, dann würden die Koordinaten des Endes 24 des gebogenen Stabes von den in der Tabelle 1 angegebenen Koordinaten abweichen. Das kann aber durch das erfindungsgemäße Verfahren verhindert werden. Wird zum Beispiel nach dem Biegen des ersten Bogens festgestellt, daß der Streckfaktor nicht 0,920, sondern 0,945 ist, und daß die Radiusaufweitung r_a nicht 1,0mm, sondern 2,0mm beträgt, dann errechnet man auf der Grundlage des geänderten Biegeverhaltens die Länge ΔL , um welche die Länge des Stabes geändert werden müsste, um nach dem Biegen die in der Tabelle 1 angegebenen Koordinaten aufzuweisen, wie folgt: Aufgrund der Gleichung (7) ergibt sich bei einem Streckfaktor $SF = 0,920$ und bei einer Radiusaufweitung $r_a = 1 \text{ mm}$ für jeden der drei Bögen im Stab näherungsweise eine Bogenlänge L_1 des Stabes verglichen mit dem Fall ohne Streckung (Streckfaktor $SF = 1$) zu

$$L_1(0,920) = 0,920 \cdot 2\pi \cdot 90^\circ \cdot (100+1)\text{mm}/360^\circ = 145,93\text{mm}.$$

Bei einem Streckfaktor $SF = 0,945$ und einer Radiusaufweitung $r_a = 2 \text{ mm}$ ergibt sich entsprechend

$$L_1(0,945) = 0,945 \cdot 2\pi \cdot 90^\circ \cdot (100+2)\text{mm}/360^\circ = 151,3 \text{ mm}.$$

Durch den größer gewordenen Streckfaktor ist die absolute Streckung kleiner geworden als angenommen, sodass die Länge des Stabes infolge der geringeren Streckung des Stabes gegenüber der Istlänge von von 1.831,24mm zu verlängern wäre, und zwar für jeden der drei Bögen um

$$\Delta L_1 = 151,3\text{mm} - 145,93\text{mm} = 5,45\text{mm}.$$

Die um 1 mm höher ausgefallene Radiusaufweitung erfordert für jeden der drei 90°-Bögen hingegen eine Verkürzung

um $\Delta L_2 = 2 * 1 \text{ mm} * \tan(90^\circ/2) = 2 \text{ mm}$. Daraus ergibt sich der Längenfehler für den gesamten Stab zu

$$\Delta L = 3 * (\Delta L_1 - \Delta L_2) = 10,35 \text{ mm}.$$

Der Stab müsste zur Erzielung des ursprünglich gewünschten Biegeergebnisses also um ca. 10mm länger sein als er tatsächlich ist. Da eine Verlängerung nicht möglich ist, wird stattdessen mit dem erfindungsgemäßen Verfahren die Biegeaufgabe verändert:

[0064] Aufgrund der ursprünglich angenommenen Radiusaufweitung von 1,0 mm wurde das vordere Ende 21 des Stabes 199 mm vor der Mitte des Dorns im Biegewerkzeug 3 positioniert. Tatsächlich ist der Abstand vom Stabanfang 20 zum ersten Stabgeradenschnittpunkt also um den Betrag $\tan(\beta/2) * \Delta r_a$ länger, worin β der Biegewinkel und Δr_a die Differenz zwischen der tatsächlichen Radiusaufweitung und der ursprünglich angenommenen Radiusaufweitung ist, also 1 mm. Da für einen Biegewinkel von 90° $\tan(\beta/2) = 1$ ist, ergibt sich in Folge des geänderten Biegeverhaltens für die Z-Koordinate des ersten Stabgeradenschnittpunktes eine Veränderung von 1 mm auf -301 mm. Die weiteren Koordinaten würden aufgrund der beim ersten Bogen gemessenen Streckung und Radiusaufweitung die in der Tabelle 2 angegebenen Koordinaten aufweisen, wenn man die Biegeaufgabe wie ursprünglich geplant, also ohne Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens, durchführen würde. Das Ergebnis wäre, dass der Endpunkt 24 des gebogenen Stabes in Richtung der X-Koordinate um 10 mm und in Richtung der Z-Koordinate um 1 mm von der geplanten Lage abweichen würde:

Tabelle 2

Koordinate Punkt	X	Y	Z
20	0	0	0
21	0	0	-301
22	500	0	-301
23	500	600	-301
24	1090	600	-301

[0065] Durch Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird die Biegeaufgabe und damit die Gestalt des gebogenen Stabes jedoch so verändert, dass der Stabanfangspunkt 20 und der Stabendpunkt 24 die ursprünglich geforderten Koordinaten und Orientierung hat. Für die Koordinaten der dazwischen liegenden Stabgeradenschnittpunkte 21, 22 und 23 werden erfindungsgemäß jedoch geänderte Koordinaten zugelassen, die sich aus der Tabelle 3 ergeben. Dieses Ergebnis wird mit einer Länge des Stabes von 1.831 mm erzielt, welches praktisch der Ist-Länge entspricht.

Tabelle 3

Punkt	Koordinate		
	X	Y	Z
20	0	0	0
21	0	0	-301
22	490	0	-301
23	510	600	-300
24	1100	600	-300

[0066] Die Figuren 8 und 9 zeigen in einer schematischen Darstellung entsprechend den Figuren 6 und 7 das mit Anwendung der Erfindung tatsächlich erreichte Biegeergebnis. Die aus der ursprünglichen Biegeaufgabe unter Zugrundelegen des ursprünglich angenommenen Biegeverhaltens vorgegebene Gestalt (wie in den Figuren 6 und 7) ist in den Figuren 8 und 9 gestrichelt dargestellt. Die davon geringfügig abweichende Gestalt des unter Anwendung der Erfindung gebogenen Stabes ist in durchgezogenen Linien dargestellt. Nach Durchführen des erfindungsgemäßen Verfahren weist der Stab folgende Biegewinkel auf:

[0067] Am ersten Stabgeradenschnittpunkt 21: 90°;

Am zweiten Stabgeradenschnittpunkt 22: 88,1°;

Am dritten Stabgeradenschnittpunkt 23: 88,1°.

Der Drehwinkel zwischen dem ersten und dem zweiten Bogen wurde wegen der fehlerhaft angenommenen Radiusaufweitung beim ersten Bogen um 0,1° reduziert.

Bezugszahlenliste:

[0068]

1. Vorschubeinrichtung
2. Biegewiderlager
3. Biegewerkzeug
4. Achse
5. Mantelfläche
6. Rohr
- 6a. Bogen
- 6b. Ende
7. Spannvorrichtung
8. Anschlag
9. Messlineals
10. Kennlinie
11. Gerade
12. Gerade
13. Gerade
14. Stab
15. Ende
16. Ende
17. Etage
18. Etage
19. Rohrgeradenschnittpunkt
20. Stabanfangspunkt
21. Stabgeradenschnittpunkt

- 22. Stabgeradenschnittpunkt
- 23. Stabgeradenschnittpunkt
- 24. Stabendpunkt

5

Patentansprüche

1. Verfahren zum maschinellen Biegen von Stäben, insbesondere von Rohren, die auf eine bestimmte Ist-Länge zugeschnitten sind, die für eine sich aus einer Biegeaufgabe ergebende gewünschte Gestalt des gebogenen Stabes unter einer fehlerhaften Annahme eines bestimmten Biegeverhaltens des Stabes vorab ermittelt wurde, **dadurch gekennzeichnet, dass** geprüft wird, wie sich der Stab beim Biegen verhält, dass eine sich unter Berücksichtigung des ermittelten Biegeverhaltens ergebende Soll-Länge des Stabes errechnet wird, die erforderlich ist, um den Stab in der gewünschten Gestalt zu biegen, dass diese Soll-Länge mit der Ist-Länge des Stabes verglichen wird, und dass die Abweichung der Soll-Länge von der Ist-Länge für den gegebenen Stab **dadurch** verkleinert wird, dass in der Biegeaufgabe für den zu biegenden Stab eine von der gewünschten Gestalt abweichende Gestalt festgelegt wird, in welcher der Abstand der beiden Enden des gebogenen Stabes voneinander und/oder die Ausrichtung der beiden Enden des Stabes relativ zueinander von der ursprünglich gewünschten Gestalt um weniger abweichen als wenn der gegebene Stab, der die Ist-Länge aufweist, gemäß der unveränderten Biegeaufgabe gebogen worden wäre.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die von der gewünschten Gestalt abweichende Gestalt so festgelegt wird, dass die Ausrichtung der Enden des Stabes relativ zueinander gegenüber der ursprünglich gewünschten Gestalt unverändert bleibt.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die von der gewünschten Gestalt abweichende Gestalt so festgelegt wird, dass der Abstand der Enden des Stabes relativ zueinander gegenüber der ursprünglich gewünschten Gestalt unverändert bleibt.
4. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die gewünschte Gestalt unter der einschränkenden Bedingung verändert wird, dass der sich aus der geänderten gewünschten Gestalt ergebende tatsächliche Verlauf des gebogenen Stabes zwischen dessen Enden innerhalb eines vorgegebenen Toleranzbereiches liegt, welcher den sich aus der ursprünglich gewünschten Gestalt ergebenden Soll-Verlauf des gebogenen Stabes umgibt.
5. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** vor dem Biegen des ersten Stabes, der die gewünschte Gestalt erhalten soll, an einem Probestab aus derselben Charge geprüft wird, wie sich der Stab beim Biegen tatsächlich verhält.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** aus dem Ergebnis des Biegens des ersten Bogens in einem Stab, der die gewünschte Gestalt erhalten soll, ermittelt wird, wie sich der Stab beim Biegen verhält.
7. Verfahren nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** aufgrund des beim Biegen des ersten Bogens ermittelten Biegeverhaltens die Biegeaufgabe für die restliche Länge des Stabes und damit die zu biegende Gestalt des Stabes so abgewandelt wird, dass die Lage der beiden Enden des gebogenen Stabes relativ zueinander und die Ausrichtung der beiden Enden des Stabes relativ zueinander von der in der ursprünglichen Biegeaufgabe festgelegten Gestalt nur innerhalb einer vorgegebenen Toleranz abweichen oder unverändert bleiben.
8. Verfahren nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** aufgrund des beim Biegen des ersten Bogens ermittelten Biegeverhaltens die Gestalt des bisher gebogenen Abschnitts des Stabes bestimmt und die Biegeaufgabe für die restliche Länge des Stabes und damit die zu biegende Gestalt des Stabes so abgewandelt wird, dass die Lage der beiden Enden des gebogenen Stabes relativ zueinander und die Ausrichtung der beiden Enden des Stabes relativ zueinander von der in der ursprünglichen Biegeaufgabe festgelegten Gestalt nur innerhalb einer vorgegebenen Toleranz abweichen oder unverändert bleiben.
9. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** ermittelt und beim Ändern der ursprünglich gewünschten Gestalt des gebogenen Stabes berücksichtigt wird, welche Streckung der Stab beim

Biegen erfährt.

10. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** ermittelt und beim Ändern der ursprünglich gewünschten Gestalt des gebogenen Stabes berücksichtigt wird, wie groß die Rückfederung ist, die beim Biegen des Stabes auftritt.
11. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** ermittelt und beim Ändern der ursprünglich gewünschten Gestalt des gebogenen Stabes berücksichtigt wird, welche Radiusaufweitung beim Biegen des Stabes auftritt.
12. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** ermittelt und beim Ändern der ursprünglich gewünschten Gestalt des gebogenen Stabes berücksichtigt wird, wie groß die beim Biegen eines Bogens im Stab auftretende Bogenverkürzung oder Bogenverlängerung ist.
13. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 9 bis 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Soll-Länge des Stabes aus der durch Biegen ermittelten Streckung und/oder aus der beim Biegen ermittelten Rückfederung und/oder Radiusaufweitung und/oder Änderung einer Bogenlänge berechnet wird.
14. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 9 bis 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Soll-Länge des Stabes abgeschätzt wird, indem die beim Biegen aufgetretene Streckung des Stabes verglichen wird mit jener Streckung des Stabes, welche der Berechnung der Ist-Länge des Stabes zugrunde gelegt wurde, und/oder indem die beim Biegen aufgetretene Rückfederung und/oder Radiusaufweitung und/oder Änderung einer Bogenlänge verglichen wird mit jener Rückfederung und/oder Radiusaufweitung und/oder Änderung der Bogenlänge, die der Berechnung der Ist-Länge des Stabes zugrunde gelegt wurden.
15. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Soll-Länge eines Stabes mit einer bestimmten Gestalt bzw. für eine bestimmte Biegeaufgabe für Stäbe aus einer bestimmten Charge nur einmal bestimmt und dann für alle Stäbe derselben Charge mit der gleichen Biegeaufgabe beibehalten wird.

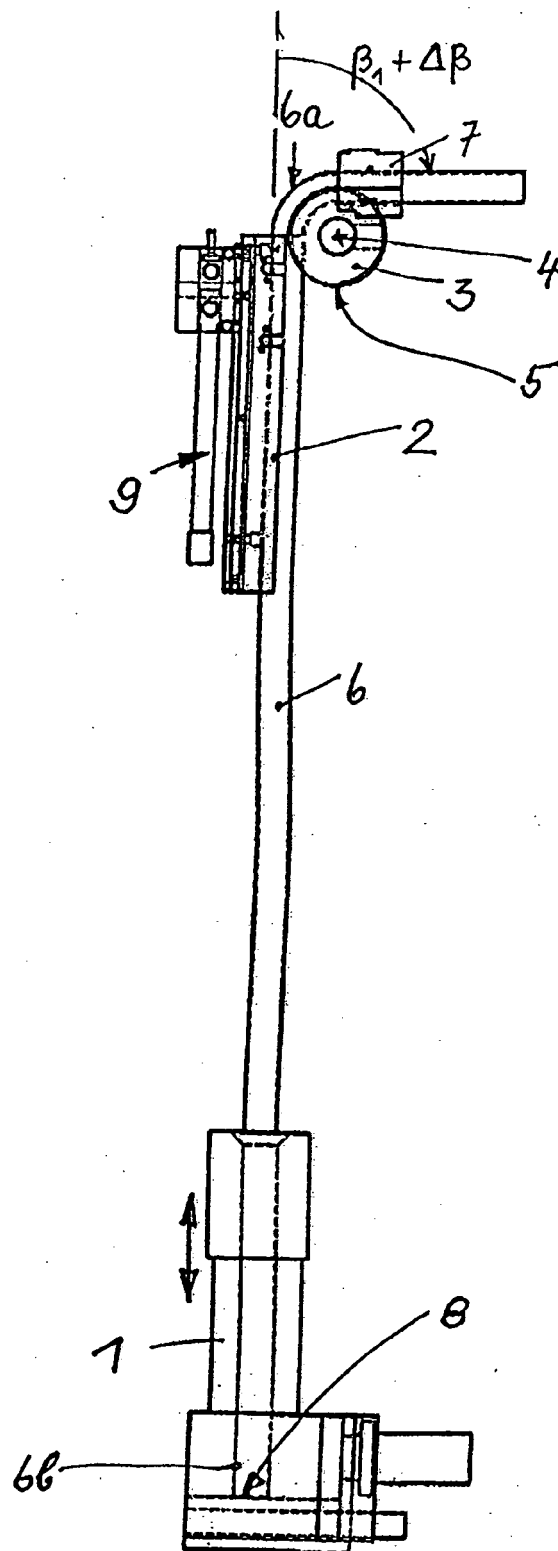


Fig. 1

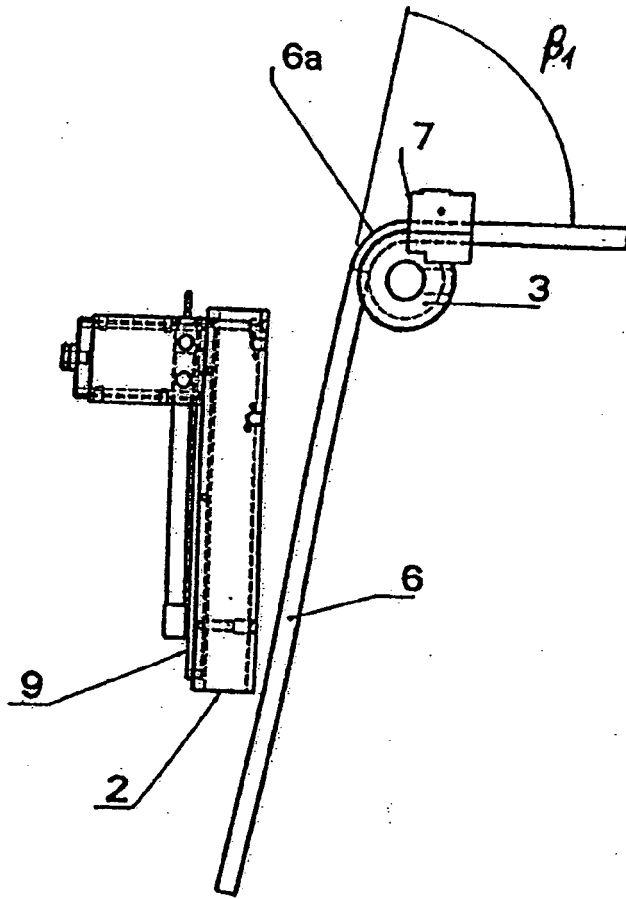


Fig.2

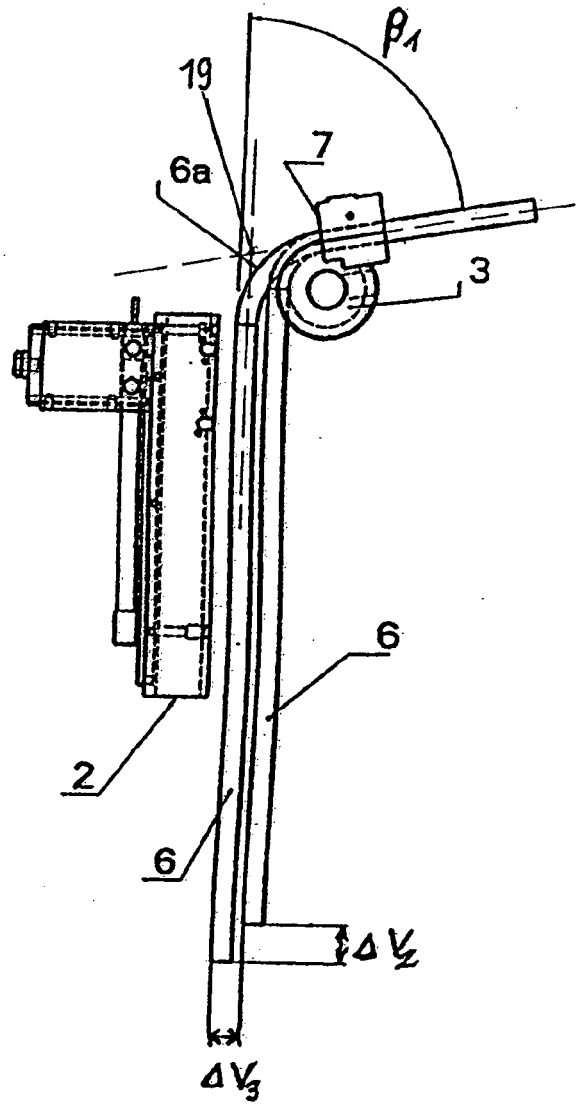


Fig.3

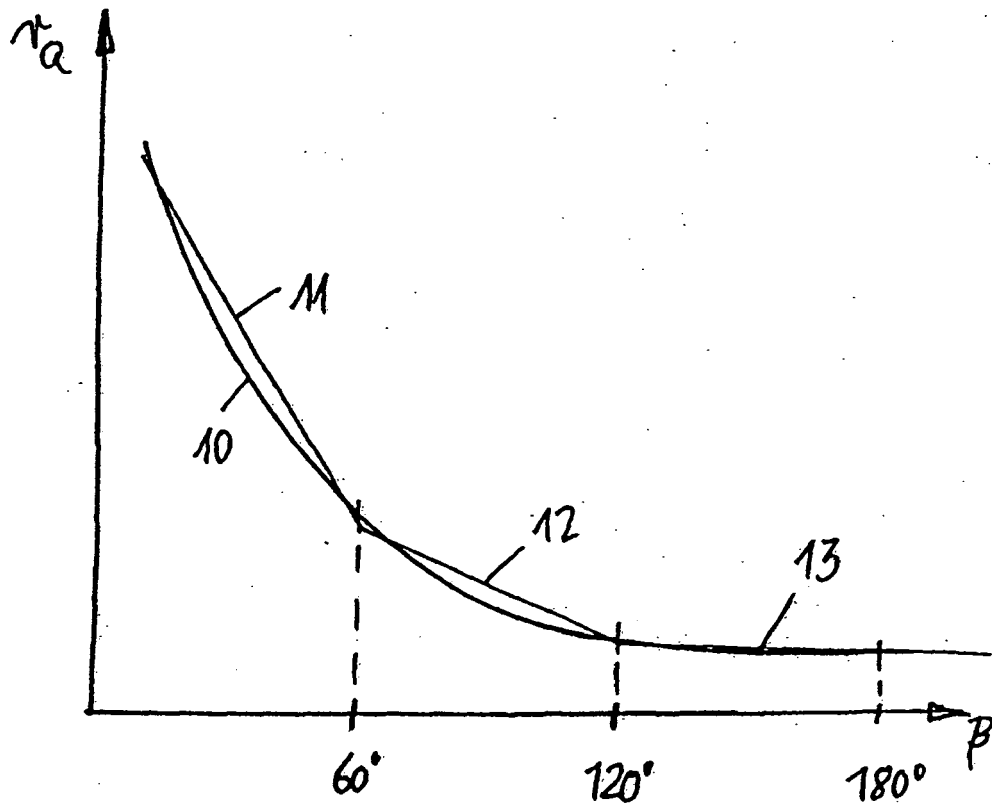


Fig. 4

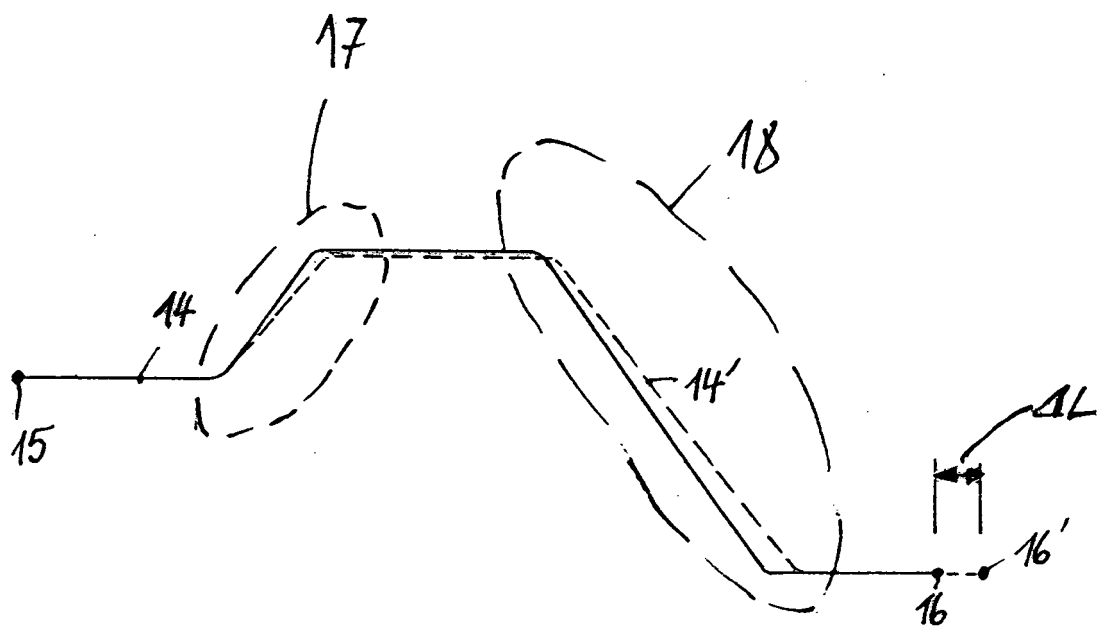


Fig. 5

Fig. 6

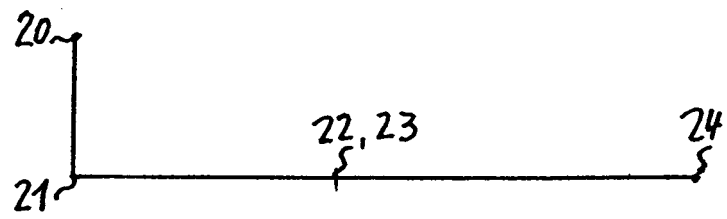


Fig. 7

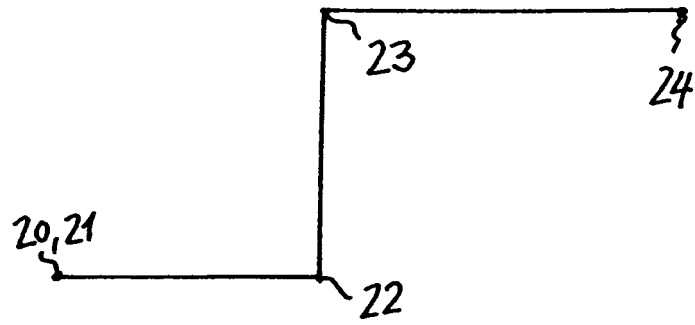


Fig. 8

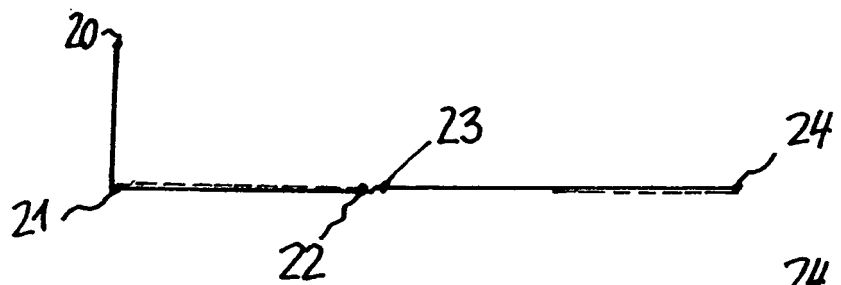
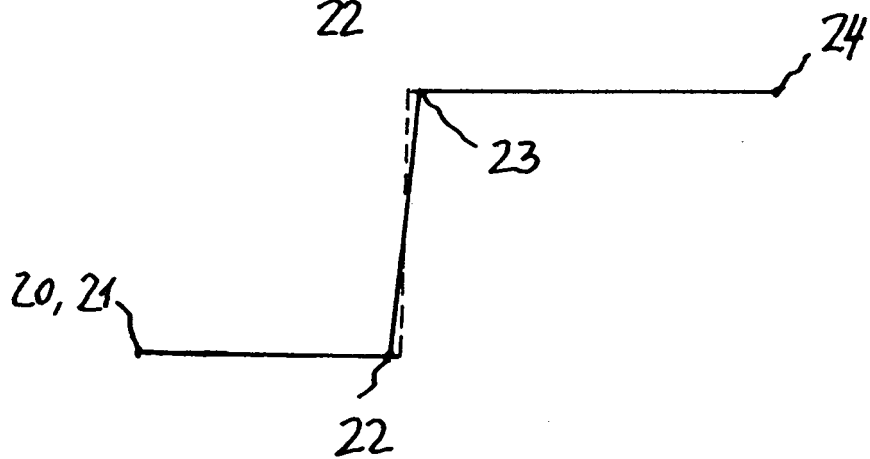


Fig. 9



IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- EP 0384477 B1 [0001] [0044] [0050]
- WO 2007121985 A [0006]
- WO 2007121985 A1 [0010] [0014] [0027] [0031] [0037] [0044]
- EP 1342514 A2 [0011] [0045] [0046]
- WO 200712198581 A [0015]