(19) Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11) **EP 1 782 896 B1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
14.12.2016 Patentblatt 2016/50

(21) Anmeldenummer: **07004135.5**

(22) Anmeldetag: **11.02.2004**

(51) Int Cl.:
B21B 37/58 *(2006.01)* ***B21H 1/00*** *(2006.01)*
B21H 1/18 *(2006.01)* *B21B 31/04* *(2006.01)*
B21B 31/08 *(2006.01)* *B21B 35/00* *(2006.01)*
B21B 37/46 *(2006.01)* *B21B 35/14* *(2006.01)*

(54) **Verfahren zum Umformen eines Werkstückes und Walzmaschine**

Method for forming a workpiece and rolling machine

Procédé pour le formage d' une pièce et machine de laminage

(84) Benannte Vertragsstaaten:
CZ DE FR IT

(30) Priorität: **08.04.2003 DE 10316249**
04.03.2003 DE 10309536

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
09.05.2007 Patentblatt 2007/19

(62) Dokumentnummer(n) der früheren Anmeldung(en) nach Art. 76 EPÜ:
04002972.0 / 1 454 685

(73) Patentinhaber: **LANGENSTEIN & SCHEMANN GMBH**
96450 Coburg (DE)

(72) Erfinder:
- **Hofmann, Günter, Dipl.-Ing.**
  96450 Coburg (DE)
- **Katsibardis, Stelios, Dipl.-Ing.**
  96450 Coburg (DE)
- **Hausdörfer, Siegfried, Dipl.-Ing.**
  96268 Mitwitz (DE)
- **Zwilling, Henry, Dipl.-Ing.**
  96515 Sonneberg (DE)
- **Vogler, Günther, Dipl.-Ing.**
  96472 Rödental (DE)
- **Rüger, Herbert, Dipl.-Ing.**
  96277 Schneckenlohe (DE)

(74) Vertreter: **Schröer, Gernot H. et al**
Meissner Bolte Patentanwälte
Rechtsanwälte Partnerschaft mbB
Bankgasse 3
90402 Nürnberg (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
DE-A1- 10 019 175
GB-A- 1 329 312
JP-A- S6 082 211
JP-A- H03 151 133
JP-A- H03 189 006
JP-A- H03 226 301
JP-A- S58 168 452
US-A- 3 208 251
US-A- 3 358 485
US-A- 4 044 580

- **DATABASE WPI Week 199843 Thomson Scientific, London, GB; AN 1998-504398 XP002718229, & RU 2 106 223 C1 (KOSOV A F) 10. März 1998 (1998-03-10)**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

EP 1 782 896 B1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Warmumformen eines Werkstückes und eine Walzmaschine, die zum Durchführen des Verfahrens geeignet ist.

[0002] Zum Umformen von Werkstücken aus einer Ausgangsform in eine gewünschte Zwischenform (Halbzeug, Vorformen) oder Endform (Fertigprodukt, Fertigformen) sind neben vielen anderen Verfahren auch Walzverfahren bekannt, die zu den Druckumformverfahren gezählt werden. Beim Walzen wird das Werkstück (Walzgut) zwischen zwei rotierenden Walzen angeordnet und durch Ausüben eines Umformdrucks durch die rotierenden Walzen in seiner Form verändert. Beim Profilwalzverfahren sind Werkzeugprofile am Umfang der Walzen angeordnet, die die Erzeugung entsprechender Profile im Werkstück ermöglichen. Beim Flachwalzen wirken die zylindrischen oder kegeligen Außenflächen der Walzen unmittelbar auf das Werkstück.

[0003] Bezüglich der Relativbewegung der Werkzeuge oder Walzen einerseits und des Werkstückes andererseits unterteilt man Walzverfahren in Längswalzen, Querwalzen und Schrägwalzen. Beim Längswalzen wird das Werkstück senkrecht zu den Drehachsen der Walzen in einer translatorischen Bewegung und meist ohne Drehung durch den Zwischenraum zwischen den Walzen (Walzenspalt) bewegt. Beim Querwalzen bewegt sich das Werkstück nicht translatorisch bezüglich der Walzen oder deren Drehachsen, sondern dreht sich nur um seine eigene Achse, die üblicherweise eine Hauptträgheitsachse, insbesondere die Symmetrieachse bei einem rotationssymmetrischen Werkstück, ist. Bei Kombination beider Bewegungsarten beim Längswalzen und beim Querwalzen spricht man von Schrägwalzen. Die Walzen stehen dabei in der Regel schräg zueinander und zum Werkstück, das translatorisch und rotatorisch bewegt wird.

[0004] Profilquerwalzmaschinen, bei denen zwei Walzen mit am Außenumfang angeordneten keilförmigen Profilwerkzeugen um zueinander parallele Drehachsen gleichsinnig rotieren, bezeichnet man mitunter auch als Querkeilwalzen. Die Werkzeuge weisen dabei eine keilförmige oder im Querschnitt dreieckförmige Geometrie auf und können entlang des Umfangs in ihrer axialen Abmessung in einer Richtung zunehmen und/oder schräg zur Drehachse der Walzen verlaufen.

[0005] Diese Querkeilwalzen oder Profilquerwalzen erlauben ein vielfältiges Umformen von Werkstücken in hoher Präzision oder Maßgenauigkeit. Infolge der von den keilförmigen Werkzeugen auf das Werkstück ausgeübten Druckkraft wird dabei die Materialverteilung im Werkstück während des Umlaufs der Walzen durch einen Fließvorgang im Werkstück verändert. Die keilförmigen Werkzeuge können umlaufende Nuten und andere Verjüngungen in dem rotierenden Werkstück erzeugen. Durch den axialen Versatz in Umfangsrichtung oder die schräge Anordnung der Werkzeugkeile relativ zur Drehachse können beispielsweise axial zur Drehachse sich ändernde Strukturen und Verjüngungen im Werkstück erzeugt werden. Durch die Zunahme oder Abnahme des Außendurchmessers der Werkzeugkeile beim Verlauf um die Drehachse können in Kombination mit der schrägen Anordnung axial verlaufende Schrägen und kontinuierliche Übergänge zwischen zwei Verjüngungen unterschiedlichen Durchmessers im Werkstück erzeugt werden. Die Keilform der Werkzeuge erlaubt die Herstellung feiner Strukturen durch die Keilaußenkanten oder -außenflächen. Besonders geeignet sind Querkeilwalzen zum Herstellen von langgestreckten, rotationssymmetrischen Werkstücken mit Einschnürungen oder Erhöhungen wie Nocken oder Rippen.

[0006] Die Umformdruckkraft sowie die Umformtemperatur sind abhängig von dem Werkstoff, aus dem das Werkstück besteht, sowie von den Anforderungen an die Maßgenauigkeit und Oberflächenqualität nach der Umformung. Insbesondere bei Eisen- oder Stahlwerkstoffen wird üblicherweise die Umformung beim Walzen bei erhöhten Temperaturen durchgeführt, um die zum Umformen erforderliche Umformbarkeit oder Fließfähigkeit des Werkstoffes zu erreichen. Diese, insbesondere beim Schmieden auftretenden, Temperaturen können bei einer sogenannten Kaltumformung im Bereich von Raumtemperatur, bei einer Halbwarmumformung zwischen 550°C und 750°C und bei einer sogenannten Warmumformung oberhalb 900°C liegen.

[0007] Es sind Querkeilwalzmaschinen (oder: Profilquerwalzmaschinen) bekannt, bei denen die Werkstücke zu Beginn des Walzprozesses mittels einer Positioniereinrichtung, die zwei Positionierträger (sogenannte Leitlineale) umfasst, in eine Ausgangsposition zwischen den beiden Walzen, die üblicherweise der geometrischen Mitte oder der Mitte des Walzenspaltes entspricht, positioniert. Die Position der Walzen und ihr Abstand zueinander werden dabei vorab fest eingestellt. Nun werden die Positionierträger der Positioniereinrichtung zurückgezogen, so dass sich das Werkstück frei zwischen den Walzen dreht und zwischen den Werkzeugen in die gewünschte Form geknetet wird. Nach diesem Walz- oder Knetvorgang und der entsprechenden Fertigstellung des Werkstückes wird das Werkstück über eine Aussparung im rotierenden Walzwerkzeug erfasst und ausgeworfen.

[0008] Aus DE 1 477 088 C ist eine Querkeilwalzmaschine bekannt zum Querwalzen von Rotationskörpern oder flachen Werkstücken mit zwei in gleicher Drehrichtung rotierenden Arbeitswalzen, auf deren Walzenflächen Keilwerkzeuge austauschbar angeordnet sind. Die Keilwerkzeuge weisen jeweils keil- oder dreieckförmig verlaufende, vom Walzenmantel aus bis zu einer dem herzustellenden Werkstück angepassten Höhenendlage ansteigende, durch Rändelung oder auf andere Weise aufgeraute Reduktionsleisten und im gleichen Abstand zum Walzenmantel verlaufende, keilförmige glatte Formflächen mit Kalibriereffekt auf. Die Keilwerkzeuge sind als Verformungssegmente ausgebildet und verlaufen nur über einen Teilumfang der zugehörigen Walzenoberfläche. Am Werkstück bewegen sich die einander zuge-

wandten Oberflächen und Werkzeuge der beiden Arbeitswalzen gegenläufig oder gegensinnig zueinander.

[0009] Die EP 1 256 399 A1 offenbart eine Querwalzmaschine mit zwei parallel betriebenen Modulen von jeweils zwei in gleicher Drehrichtung rotierenden Walzen, die halbschalenförmig ausgebildete Werkzeuge mit radial vorstehenden Werkzeugkeilen auf ihrer Umfangsfläche aufweisen, wobei die Umformung eines Werkstücks nur die Drehung um den halben Umfang eines Walzenpaares erfordert. Alle vier Walzen werden von nur einem Antriebsmotor über jeweils eine dazwischengeschaltete Getriebeeinheit und Antriebswelle angetrieben.

[0010] Aus RU 2 106 223 C1 ist ferner eine Querwalzmaschine zur Erzeugung ungleicher Oberflächen bekannt mit einer Regulierung des Walzenspalts über einen Mikroprozessor mit korrespondierenden Sensoren.

[0011] Weiterhin offenbart DE 100 19 175 A1 ein Verfahren zum Herstellen eines bandförmigen Vormaterials aus Metall mittels Walzen eines Walzgerüstes, welche einen Walzenspalt begrenzen, wobei dieser veränderlich ist.

[0012] Der Erfindung liegt nun die Aufgabe zugrunde, ein neues Verfahren zum Umformen von Werkstücken und eine neue Walzmaschine, mit der dieses Verfahren durchführbar ist, anzugeben.

[0013] Diese Aufgabe wird gemäß der Erfindung hinsichtlich des Verfahrens durch die Merkmale des Anspruchs 1 und hinsichtlich der Walzmaschine durch die Merkmale des Anspruchs 7 gelöst.

[0014] Vorteilhafte Ausgestaltung des Verfahrens bzw. der Walzmaschine sind in den Unteransprüchen angegeben.

[0015] Unter dem Begriff "Umformen" wird dabei jede Umwandlung der Form eines Werkstückes in eine andere Form verstanden, wie auch eingangs beschrieben, einschließlich Vorformen und Fertigformen. Die Drehachsen der Walzen sind als geometrische oder mathematische Achsen im (euklidischen, dreidimensionalen) Raum zu verstehen, um die sich die Walzen drehen. Kraftübertragende oder mechanische Achsen werden in dieser Anmeldung dagegen als Wellen bezeichnet.

[0016] Die Erfindung beruht dabei zunächst auf der Überlegung, eine automatisierte oder automatische (oder: selbsttätige) Einstellung der relativen Lage der Drehachsen der Walzen der Walzmaschine vorzunehmen, wobei im Allgemeinen wenigstens ein Stellantrieb verwendet wird. Es wird also gemäß der Erfindung insbesondere eine Steuerung, Regelung oder Korrektur durchgeführt, deren Steuer-, Regel bzw. Korrekturgröße die relative Lage der Drehachsen der Walzen ist.

[0017] Dabei wird nicht die Drehposition der Walzen oder Werkzeuge um ihre Drehachsen, die für die Umformung des Werkstücks maßgeblich ist, beeinflusst, sondern die Raumposition der Walzen oder Werkzeuge, die durch die Position der Drehachsen der Walzen oder eines dazu ortsfesten oder translationsinvarianten Raumpunktes definiert werden kann. Die relative Lage der Walzendrehachsen bestimmt auch die Position der Walzen oder der Werkzeuge relativ zum Werkstück bei vorgegebenen Drehpositionen der Walzen.

[0018] Bei einer reinen Steuerung (oder: open-loop control im Englischen) wird die relative Lage gemäß einem vorgegebenen Steuerverlauf oder -algorithmus ohne Rückkopplung oder Bestimmung der relativen Lage gesteuert, im Allgemeinen aufgrund voreingestellter Stellgrößenwerte als Sollwerte für den Stellantrieb.

[0019] Bei einer Regelung (closed-loop control) oder auch Korrektur wird dagegen eine Rückkopplung vorgesehen, d.h. die relative Lage wird gemessen und dann wird durch Verringerung der Abweichung von der Soll-Relativlage die aktuelle relative Lage immer möglichst nahe an dem Sollwert gehalten. Soweit in dieser Anmeldung von Sollwerten oder Sollgrößen gesprochen wird, wird darunter neben einer Konstanten auch eine Variable oder eine Führungsgröße verstanden, die während des Steuer-, Regel- oder Korrekturprozesses nachgeführt oder gemäß einem vorgegebenen oder vorgebbaren Verlauf verändert werden kann oder wird.

[0020] In der Ausführungsform einer Regelung oder Korrektur kann das Umformverfahren gemäß der Erfindung auch alternativ und unabhängig oder abhängig (hier in Anspruch 2) beanspruchbar durch die folgenden Verfahrensschritte charakterisiert werden:

a) Umformen des Werkstücks während einer Umformphase zwischen den Oberflächen oder Werkzeugen wenigstens zweier um jeweils eine Drehachse rotierender Walzen,
b) Ermitteln (oder: Erfassen, Bestimmen), insbesondere Messen, der relativen Lage der Drehachsen der Walzen zueinander,
c) Vergleich der ermittelten relativen Lage (oder: Ist-Relativposition, Istwert der relativen Lage) mit wenigstens einer vorgegebenen konstanten oder variablen Soll-Relativlage (oder: Sollwert(e) der relativen Lage),
d) Kompensation oder Ausgleich einer außerhalb eines Toleranzbereiches liegenden (oder: unzulässigen) Abweichung (oder: Differenz) der ermittelten relativen Lage von der Soll-Relativlage durch Stellen (oder: Korrigieren, Steuern) der relativen (Ist-)Lage der Drehachsen.

[0021] Die Walzmaschine enthält entsprechend bei einer Regelung oder Korrektur in einer unabhängig beanspruchbaren Variante oder auch in einer abhängig beanspruchten Ausführungsform zusätzlich zu den Umformwalzen, dem oder den Rotationsantrieb(en) und dem wenigstens einen Stellantrieb auch noch wenigstens eine Einrichtung zum Ermitteln der relativen Lage der Drehachsen der Walzen zueinander, insbesondere während der Umformphase, und wenigstens eine Kontrolleinrichtung, die mit der Einrichtung zum Ermitteln der relativen Lage der Drehachsen und mit jedem Stellantrieb verbunden ist oder in Wirkverbindung steht zum Korrigieren der relativen Lage der Drehachsen auf eine

Soll-Relativlage mittels des oder der Stellantriebe(s). Insbesondere vergleicht die Kontrolleinrichtung dann die ermittelten Werte oder Signale zur relativen Lage der Drehachsen mit der Soll-Relativlage und verändert bei Feststellung einer unzulässigen Abweichung von der Soll-Relativlage die relative Lage der Walzendrehachsen über den oder die Stellantrieb(e) solange, bis die Abweichung wieder in einem zulässigen Toleranzbereich liegt.

[0022] Gemäß der Erfindung kommen die vorbeschriebenen Maßnahmen nun in einem weiteren Gedankenschritt in einem Modus zur Anwendung, der im Folgenden auch als Umformmodus bezeichnet wird. Dies beruht auf dem Gedanken, die Steuerung oder Regelung der relativen Lage der Drehachsen der Walzen zum Einstellen der Umformung und/oder des Umformdruckes am Werkstück zu verwenden.

[0023] Im Umformmodus wird bzw. werden die relative Lage (oder: die Position(en) oder der Abstand oder die Abstände) der Drehachsen der Walzen während der oder wenigstens einer Umformphase und/oder in einem umformkraftbelasteten Zustand der Walzen auf die Soll-Relativlage (oder: die Sollposition(en) oder den Sollabstand/die Sollabstände) gesteuert, geregelt oder korrigiert. Dabei wird bzw. werden die Soll-Relativlage (oder: die Sollposition(en) oder der Sollabstand oder die Sollabstände) während der Umformphase gemäß einem, im Allgemeinen in Anhängigkeit von der Winkel- oder Drehposition der Walzen (positionsgesteuert) oder von der Zeit (zeitgesteuert) vorgegebenen, Verlauf geführt, der einem gewünschten, insbesondere positionsabhängigen oder zeitlichen, Verlauf des beim Umformen des Werkstücks gewünschten Umformdruckes oder der Umformung des Werkstücks angepasst ist. Somit können im Umformmodus aufgrund der variablen Walzenposition mit demselben wenigstens einen Werkzeug oder denselben Oberflächen der Walzen durch Einstellen unterschiedlicher Verläufe der Soll-Relativlage oder Sollposition(en) oder des Sollabstandes oder der Sollabstände in unterschiedlichen Umformphasen unterschiedliche Umformungen derselben oder unterschiedlicher Werkstücke erzeugt werden, insbesondere durch Verringern des Abstandes der Drehachsen während zumindest eines Teils der Umformphase.

[0024] So kann beispielsweise die zunehmende radiale Ausdehnung eines Keilwerkzeuges durch eine Verringerung des Walzenabstandes zumindest teilweise nachgebildet oder ersetzt werden. Der vorgegebene Verlauf der Soll-Relativlage kann vorab ermittelt und gespeichert sein. Außerdem können auch Abweichungen beim Werkzeug von einer vorgegebenen Form, zum Beispiel aufgrund Maßtoleranzen oder Verschleiß, durch Anpassen der Soll-Relativlage der Drehachsen der Walzen wenigstens annähernd ausgeglichen werden.

[0025] Vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen des Verfahrens sowie der Walzmaschine ergeben sich aus den vom Anspruch 1 bzw. Anspruch 8 jeweils abhängigen Ansprüchen.

[0026] In einer ersten vorteilhaften Ausführungsform wird die relative Lage der Drehachsen der Walzen während der Umformphase ermittelt, vorzugsweise bei einer vorgegebenen Drehwinkelstellung wenigstens einer der Walzen und/oder einer vorgegebenen Kraftbelastung der Walze(n) oder Umformkraft. Es kann dann insbesondere eine Drehwinkelsensoreinrichtung zum Bestimmen des Walzendrehwinkels und/oder eine Kraftsensoreinrichtung zur Bestimmung der Umformkraft vorgesehen sein.

[0027] Die Korrektur oder Einstellung der relativen Lage der Drehachsen der Walzen kann nun in Echtzeit oder unmittelbar während der Umformphase, insbesondere im Rahmen einer kontinuierlichen oder in kleinen Zeitintervallen erfolgenden Regelung, vorgenommen werden. Die Soll-Relativlage entspricht dann der gewünschten Walzenlage während der Umformung.

[0028] Vorzugsweise wird jedoch die, insbesondere während der Umformphase, bestimmte Istlage der relativen Lage der Walzendrehachsen erst nach oder auch vor der Umformung und/oder nach Auswerfen des Werkstücks aus dem Zwischenraum zwischen den Werkzeugen oder den Walzen und/oder in einem umformkraftentlasteten Zustand der Walzen auf eine Soll-Relativlage korrigiert. Die Soll-Relativlage ist dann gegebenenfalls auf eine Solllage im belasteten Zustand oder während der Umformphase abgestimmt. Es kann dann während der Umformphase eine Änderung der relativen Lage durch den wenigstens einen Stellantrieb unterbleiben.

[0029] In einem typischen Umformprozess werden mehrere Werkstücke in aufeinanderfolgenden Umformphasen nacheinander zwischen den Walzen oder den Werkzeugen der Walzen umgeformt und nach den zugehörigen Umformphasen aus dem Zwischenraum zwischen den Walzen oder den Werkzeugen ausgeworfen. Es wird nun vorzugsweise in jeder oder jeder n-ten (mit einer natürlichen Zahl n größer 1) Umformphase die relative Lage der Drehachsen der Walzen ermittelt und nach jeder oder jeder n-ten Umformphase und/oder nach Auswerfen des jeweiligen Werkstücks die Korrektur der relativen Lage der Drehachsen der Walzen durchgeführt.

[0030] Die Walzen sind im Allgemeinen in jeweils zwei Lagereinrichtungen rotierbar oder rotierend gelagert.

[0031] Es kann nun zur Korrektur oder Einstellung der relativen Lage der Walzen zueinander in einer einfachen Ausführungsform nur die Position der Drehachse einer der Walzen auf eine Sollposition geregelt oder gesteuert werden und die Position der Drehachse der anderen Walze(n) dagegen unverändert oder ortsfest zur Umgebung, insbesondere zum Erdboden, bleiben. Hier kann insbesondere die untere Walze ortsfest bleiben und nur die obere Walze verstellt werden.

[0032] Vorzugsweise sind aber die Positionen der Drehachsen beider Walzen zur Korrektur oder Änderung der Relativposition ihrer Drehachsen verstellbar oder veränderbar und auf zugehörige Sollpositionen regelbar oder korrigierbar. Es können die Walzen nun entweder unabhängig voneinander, d.h. ohne eine Kopplung ihrer Bewegung, mit eigenen Stellantrieben oder auch abhän-

gig voneinander, d.h. mit einer steuerungstechnischen oder mechanischen Kopplung, einstellbar sein oder eingestellt werden. Es können aber auch die Bewegungen und Positionen der Drehachsen beider Walzen derart miteinander gekoppelt sein, dass die Drehachsen beider Walzen gleichzeitig, vorzugsweise auch mit der gleichen Geschwindigkeit, auf eine zwischen den Walzen liegende Referenzposition, vorzugsweise die Mittelachse, zu oder von dieser weg bewegbar sind oder bewegt werden. Eine solche synchrone Bewegung kann insbesondere mit unabhängigen Stellantrieben durch eine gemeinsame Ansteuerung oder auch durch eine mechanische Kopplung mit Getriebe(n) realisiert werden.

[0033] In einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform werden zur Ermittlung der relativen Lage der Drehachsen der Walzen ein Abstand an einer Stelle oder zwei Abstände an unterschiedlichen Stellen der Drehachsen von wenigstens zwei Walzen voneinander oder jeweils ein oder zwei Abstände jeder Drehachse zu einer Mittelachse zwischen den beiden Walzen ermittelt und diese(r) ermittelte Abstand/Abstände zur Korrektur der relativen Lage der Drehachsen auf die Soll-Relativlage herangezogen. Insbesondere kann jeder ermittelte Abstand für sich mit einem zugehörigen Sollabstand verglichen werden und bei einer Abweichung von dem Sollabstand außerhalb eines vorgegebenen Toleranzbereiches auf den Sollabstand korrigiert werden. Es ist aber auch möglich, aus den einzelne Abständen (oder Positionen) eine geometrische Relativlage der Drehachsen rechnerisch zu ermitteln und diese zu korrigieren.

[0034] Die Mittelachse (oder: geometrischen Mitte, Mittellage) im zur Aufnahme des Werkstücks vorgesehenen Zwischenraum zwischen den Walzen oder Werkzeugen kann insbesondere durch eine Positioniereinrichtung zum Positionieren des Werkstücks zwischen den Walzen definiert sein, wobei die Mittelachse innerhalb einer Bewegungsebene oder auf einer Bewegungsachse zweier zueinander beweglicher Positionierteile der Positioniereinrichtung zum Festhalten des Werkstücks zwischen den beiden Positionierteilen liegen kann. Diese Bestimmung der Walzenpositionen oder des Walzenabstandes relativ zum Werkstück hat den Vorteil, dass durch die in der Lage relativ zum Werkstück ortsfesten Positioniereinrichtung eine zuverlässige Referenzposition begründet ist, die die Lage des Werkstücks definiert. Die Abstände der Drehachsen zu der Mittelachse stehen überdies in eindeutigem Zusammenhang zu den Abständen der Drehachsen zueinander.

[0035] Die Ermittlung der relativen Lage der Drehachsen zueinander kann also in nur einer Dimension oder Projektion auf eine Koordinatenrichtung (Raumrichtung) oder in zwei oder sogar drei Dimensionen oder Koordinatenrichtungen erfolgen.

[0036] Zum Messen der Position(en) oder des Abstandes/der Abstände der Drehachsen der Walzen umfasst die Walzmaschine im Allgemeinen eine Messeinrichtung, die insbesondere wenigstens einen berührungslosen Sensor, insbesondere einen Ultraschallsensor und/oder einen optischen Sensor und/oder einen induktiven Sensor und/oder einen magnetischen Sensor, und/oder einen berührenden Sensor, beispielsweise einen Seilzuggeber, umfasst. Insbesondere können die Abstände zwischen den Lagereinrichtungen und der Positioniereinrichtung gemessen werden, wobei die Sensoren an deren Außenseiten angebracht werden können.

[0037] Zur Einstellung der relativen Lage der Drehachsen der Walzen zueinander werden in einer vorteilhaften Ausführungsform eine der beiden Lagereinrichtungen oder beide Lagereinrichtungen wenigstens einer Walze über wenigstens einen Stellantrieb bewegt.

[0038] In einer bevorzugten Ausführungsform wird oder werden die verstellbaren Walze(n) oder deren Lagereinrichtung(en) zur Korrektur oder Einstellung der relativen Lage auf die Soll-Relativlage oder zur Einstellung der Position(en) ihrer Drehachse(n) oder des Abstandes der Drehachsen der Walzen linear (oder: geradlinig, translatorisch) bewegt. Eine lineare, rein translatorische Bewegung ist antriebstechnisch einfach zu realisieren. Die Bewegungsrichtung der linearen Bewegung oder Verschiebung der Walze(n) ist vorzugsweise im Wesentlichen senkrecht (oder: orthogonal) zu den Drehachsen der Walzen gerichtet. Ferner kann die Bewegung insbesondere in einer vertikalen Richtung, d.h. parallel zur Gravitationskraft, erfolgen. Auch eine andere Bewegungsart für die Walzen kann vorteilhaft sein, besonders bei asymmetrischen thermischen oder mechanischen Form- oder Volumenänderungen in der Walzmaschine, so beispielsweise eine Rotations- oder Kippbewegung oder eine aus translatorischer und rotatorischer Bewegung zusammengesetzte oder entlang einer vorgegebenen, nicht geradlinigen Trajektorie (oder: Bewegungsweg) erfolgende Bewegung der Drehachsen. Die Bewegung der Drehachsen der Walzen kann also mit einem, zwei oder auch drei Bewegungsfreiheitsgraden erfolgen. Um grundsätzlich sowohl lineare Bewegungen als auch Schwenkbewegungen der Drehachse(n) zuzulassen, wird eine zu verstellende Drehachse vorzugsweise in zwei Angriffspunkten außerhalb der Walze bewegt, die insbesondere in Lagereinrichtungen der Walze liegen können.

[0039] Die Drehachsen der Walzen werden im Allgemeinen auf eine wenigstens annähernd parallele Stellung zueinander eingestellt und sind in der Regel auch Hauptträgheitsachsen der Walzen, insbesondere Zylinder- oder Mittelachsen bei zylindrischen Walzen. In einer vorteilhaften Ausführungsform sind die Walzen und ihre Drehachsen, in Schwerkraftrichtung gesehen, übereinander oder vertikal zueinander angeordnet. Es ist aber auch eine horizontale oder auch schräge Anordnung der Walzen und ihrer Drehachsen möglich.

[0040] In einer besonderen Weiterbildung des Verfahrens und der Walzmaschine sind die Soll-Relativlage, Sollposition(en) oder Sollabstände der Drehachsen der Walzen abhängig von dem Material und/oder der Gestalt (oder: Geometrie) des umzuformenden Werkstück oder

von der gewünschten Gestalt oder den gewünschten Abmessungen des Werkstücks nach der Umformung eingestellt. Dazu kann insbesondere die Gestalt des aktuellen Werkstücks vor der Umformphase vermessen werden. Es können aber auch die Parameter eines Werkstücks vorab anhand eines Musters eingegeben werden.

[0041] Eine weitere, besonders vorteilhafte Anwendung der Erfindung, die im Folgenden auch als Kompensationsmodus bezeichnet wird, beruht auf der Erkenntnis, dass während des Umformprozesses eines Werkstückes oder eines Prozesses mit mehreren aufeinanderfolgenden Umformprozessen beim Bearbeiten mehrerer Werkstücke Ausdehnungen oder Kontraktionen innerhalb der Walzmaschine, insbesondere in der Trägereinrichtung der Walzen oder auch innerhalb der Walzen und Werkzeuge selbst, auftreten. Verursacht werden diese Form- und Volumenänderungen insbesondere durch die beim Umformen wirkenden Kräfte (mechanische Ausdehnung oder Kontraktion) und durch das Einbringen des bei Warm- oder Heißumformung auf relativ hohen Temperaturen befindlichen Werkstückes und die damit verbundenen zeitlichen und räumlichen Temperaturänderungen, die zu thermischer Ausdehnung oder Kontraktion führen. Diese Veränderungen der Form oder des Volumens in der Walzmaschine sind somit Störgrößen des Prozesses und verändern nachteilig die für den Umformprozess optimalen oder voreingestellten Relativpositionen der Walzen oder Werkzeuge zueinander.

[0042] Im Kompensationsmodus werden nun diese, insbesondere während der Umformphase auftretenden, thermischen und/oder mechanischen Form- oder Volumenänderungen in den Walzen oder deren Werkzeugen oder anderen Bereichen einer die Walzen umfassenden Walzmaschine, insbesondere Lagereinrichtungen für die Walzen und Trägereinrichtungen für die Lagereinrichtungen, durch die gemäß der Erfindung vorgesehene Korrektur oder Regelung der relativen Lage der Drehachsen der Walzen auf die Soll-Relativlage im Wesentlichen kompensiert oder ausgeglichen. Gemäß der Erfindung wird also mit anderen Worten zum automatisch oder selbsttätig durchführbaren Ausgleich (oder: zur Kompensation oder Korrektur) der genannten thermischen und mechanischen Form- oder Volumenveränderungen die relative Lage der Walzen oder Werkzeuge im Raum zueinander bestimmt (oder: ermittelt), insbesondere gemessen, und in einem Anpass- oder Korrekturschritt angepasst, wenn unzulässige oder nicht tolerierbare Abweichungen von einer für den Umformprozess vorgegebenen oder optimalen Soll-Relativlage der Drehachsen auftreten.

[0043] Der mit dem Verfahren und der Walzmaschine durchgeführte Umformprozess kann ein Kaltumformprozess sein, ist jedoch vorzugsweise ein Warmumformprozess oder ein Heißumformprozess. Bei Warm- und Heißumformung ist die Korrektur der Walzenpositionen gemäß der Erfindung zum Ausgleich oder zur Kompensation thermischer Veränderungen besonders vorteilhaft.

[0044] Das Material des Werkstücks kann eisenhaltig sein, beispielsweise Eisen selbst oder ein Stahl sein, oder auch ein nicht eisenhaltiger metallischer Werkstoff sein, beispielsweise Aluminium oder eine Aluminiumlegierung.

[0045] In einer besonders bevorzugten Ausführungsform ist die Walzmaschine als Profilquerwalzmaschine oder Querkeilwalzmaschine ausgebildet, deren grundsätzlicher Aufbau eingangs beschrieben wurde. Insbesondere weisen die Walzen also entsprechende Profil- oder Keilwerkzeuge auf und rotieren gleichsinnig zueinander, wobei das Werkstück sich nur um eine eigene Achse dreht und nicht von den Walzen translatorisch transportiert wird. Die Werkzeuge auf den Walzen sind insbesondere im Querschnitt keilförmig oder dreieckförmig und nehmen entlang des Umfangs in ihrer radialen Abmessung in einer Richtung zu und/oder verlaufen schräg zur Drehachse der zugehörigen Walze.

[0046] Selbstverständlich ist die Erfindung außer bei Querwalzverfahren und - maschinen auch bei Längswalzverfahren und -maschinen anwendbar, beispielsweise zum Reckwalzen.

[0047] Wenigstens ein Stellantrieb kann nun ein hydraulischer Antrieb sein. Vorzugsweise ist jedoch wenigstens ein oder jeder Stellantrieb ein elektromotorischer Antrieb, insbesondere ein Spindelantrieb. Die Genauigkeit der Stellbewegung der Stellantriebe liegt vorzugsweise im Bereich von einigen Zehntel mm oder sogar einigen Hunderstel mm, vorzugsweise wenigstens 0,1 mm, und/oder einem Tausendstel des Verstellweges oder -hubs. Damit kann auch der Toleranzbereich für die Korrektur oder Abweichung der relativen Lage der Drehachsen auf die Soll-Relativlage in dieser Größenordnung gewählt werden.

[0048] In einer Weiterbildung der Walzmaschine ist eine ortsfeste, nicht mit den Walzen mitrotierende oder nicht mitrotierbare Trägereinrichtung (oder: Walzengerüst, Walzengestell) vorgesehen, an der der oder die Stellantrieb(e) gelagert oder getragen ist bzw. sind.

[0049] In einer Ausgestaltung der Walzmaschine sind für jede Walze jeweils zwei an Stirnseiten der Walze mit der Walze verbindbare oder verbundene und mit der Walze mitrotierbare oder mitrotierende Halteeinrichtungen vorgesehen. Die Verbindung der Halteeinrichtungen mit den Walzen ist vorzugsweise lösbar, um einen Wechsel der Werkzeuge oder der Walzen zu ermöglichen oder zu erleichtern. Für jede Halteeinrichtung ist ferner jeweils eine Lagereinrichtung, in der die Halteeinrichtung drehbar gelagert ist, vorgesehen. Die Lagereinrichtungen mit den in ihnen gelagerten Halteeinrichtungen wenigstens einer Walze sind mit dem oder den dieser Walze zugeordneten Stellantrieb(en) gekoppelt oder koppelbar ist und über den oder die Stellantrieb(e) bewegbar zum Verändern der Position der Drehachse der zugehörigen Walze. Insbesondere ist jede Lagereinrichtung jeweils mit einem Stellantrieb verbunden und die Regeleinrichtung steuert die Stellantriebe beider Lagereinrichtungen einer Walze entsprechend der gewünschten Bewegung der

Drehachse der Walze an. Die Trägereinrichtung weist insbesondere Führungsbereiche zum Führen der Lagereinrichtungen bei deren Bewegung auf. Die Führung der Lagereinrichtungen kann durch Gleitlager oder Wälzlager unterstützt werden.

[0050] In einer bevorzugten Ausgestaltung bilden die Walzen mit den zugehörigen Rotationsantrieben jeweils eine Einheit, die gemeinsam von den Stellantrieben verstellbar ist. Bei Bewegung einer Walze durch den oder die zugehörigen Stellantrieb(e) bleibt somit die relative Anordnung oder Position des der Walze zugeordneten Rotationsantriebs zur Walze unverändert oder translationsinvariant. Insbesondere sind an einer der Lagereinrichtungen jeder Walze die nicht rotierenden oder rotierbaren Teile des zugehörigen Rotationsantriebs zum Rotieren dieser Walze befestigt und die mitrotierenden oder mitrotierbaren Antriebsteile des Rotationsantriebs an oder in der Lagereinrichtung drehbar gelagert sind.

[0051] Die Trägereinrichtung umfasst in einer besonderen konstruktiven Ausgestaltung vier Trägerelemente, wobei zwischen zwei der vier Trägerelementen eine der Lagereinrichtungen einer ersten der beiden Walzen und eine der Lagereinrichtungen der zweiten der beiden Walzen und zwischen den anderen zwei der vier Trägerelemente die andere Lagereinrichtung der ersten Walze und die andere Lagereinrichtung der zweiten Walze angeordnet und vorzugsweise beweglich geführt sind.

[0052] Die Stellantriebe für die Walzen sind im Allgemeinen an voneinander abgewandten Seiten der Walzen angeordnet, um zwischen den Walzen und seitlich davon Platz für die Werkstücke und weitere Maschinenteile zu lassen sind.

[0053] Die Erfindung wird im Folgenden anhand von Ausführungsbeispielen weiter erläutert. Dabei wird auf die Zeichnungen Bezug genommen, in deren

FIG 1 eine Walzmaschine mit zwei Walzen und einer Kontrolleinrichtung zum Überwachen und Korrigieren des Walzenabstandes in einer Prinzipskizze,

FIG 2 eine Walzmaschine mit zwei Walzen mit zugeordneten unabhängigen Rotationsantrieben zum Rotieren der Walzen und Stellantrieben zum Verstellen der Walzen in einem Längsschnitt,

FIG 3 die Walzmaschine gemäß FIG 2 in einer um 90° nach einer Seite gedrehten Seitenansicht,

FIG 4 die Walzmaschine gemäß FIG 2 in einer um 90° nach der anderen Seite gedrehten Seitenansicht und

FIG 5 die Walzmaschine gemäß FIG 2 bis 4 in einer quer zum Längsschnitt gemäß FIG 2 vorgenommenen Schnittdarstellung

jeweils schematisch dargestellt sind. Einander entsprechende Teile und Größen sind in den FIG 1 bis 5 mit denselben Bezugszeichen versehen.

[0054] Die dargestellte Walzmaschine gemäß FIG 1 bis 5 ist als Querkeilwalze oder Querkeilwalzmaschine ausgebildet und umfasst eine erste Arbeitswalze 2, die um eine Rotationsachse A rotierbar oder rotierend ist, und eine zweite Arbeitswalze 3, die um eine Rotationsachse B rotierbar oder rotierend ist. Der Drehsinn beider Arbeitswalzen 2 und 3 ist mit den dargestellten Pfeilen veranschaulicht und gleich. Die Rotationsachsen A und B sind im Wesentlichen parallel zueinander und senkrecht zur mit dem Pfeil gekennzeichneten Richtung der Gravitations- oder Schwerkraft (Erdanziehungskraft) angeordnet, so dass die Arbeitswalzen 2 und 3 übereinander angeordnet sind. Die Arbeitswalzen weisen eine im Wesentlichen zylindrische Außenfläche auf.

[0055] Der Abstand W zwischen den beiden Drehachsen A und B der Arbeitswalzen 2 und 3 ist im Folgenden als Walzenabstand bezeichnet. Der Abstand zwischen den zylindrischen Außenflächen der beiden Arbeitswalzen 2 und 3 ist über die Walzendurchmesser eindeutig mit dem Abstand W verknüpft. Eine zwischen den beiden Arbeitswalzen 2 und 3 parallel zu den Drehachsen A und B verlaufende, die geometrische Mitte definierende Mittelachse (oder: Mittellage) ist mit M bezeichnet. Bei symmetrischer Lage der beiden Drehachsen A und B zu der Mittelachse M ist der Abstand beider Drehachsen A und B zur Mittelachse M gleich W/2.

[0056] An der Außenfläche oder Mantelfläche der Arbeitswalzen 2 und 3 sind jeweils im Querschnitt keilförmige Werkzeuge 20 und 21 bzw. 30 und 31 befestigt, insbesondere verspannt oder verschraubt. In den dargestellten Ausführungsformen gemäß FIG 1 bis 5 sind die Werkzeuge 20 und 21 der ersten Arbeitswalze 2 und die Werkzeuge 30 und 31 der zweiten Arbeitswalze 3 jeweils schräg und unter einem Winkel zu der jeweiligen Drehachse A und B angeordnet, wobei die Werkzeuge 20 und 21 der Arbeitswalze 2 bezüglich der Mittelachse M axial in den im Wesentlichen gleichen Positionen angeordnet sind. In der in FIG 2 gezeigten Stellung der Arbeitswalzen 2 und 3 sind die Werkzeuge 20 und 21 bzw. 30 und 31 an der einander zugewandten Innenseite näher beieinander als an der abgewandten Außenseite. Vorzugsweise nehmen die Werkzeuge 20 und 21 sowie 30 und 31 in Umfangsrichtung gesehen auch in ihrem Querschnitt zu, wobei die Zunahme des Querschnittes bei den Werkzeugen 20 und 21 in der gleichen Drehrichtung oder Orientierung ist und bei den Werkzeugen 30 und 31 der zweiten Arbeitswalze 3 entgegengesetzt oder gegensinnig zu der zu den Werkzeugen 20 und 21 der ersten Arbeitswalze 2 ist.

[0057] Jede der beiden Arbeitswalzen 2 und 3 ist nun an ihren beiden stirnseitigen Enden über jeweils einen Wellenfortsatz in jeweils zwei Lagereinrichtungen 16 und 17 bzw. 18 und 19 um die jeweilige Drehachse A bzw. B drehbar gelagert.

[0058] An den Lagereinrichtungen sind Abstandssensoren angeordnet und zwar ein erster Abstandssensor 51 zum Messen des Abstandes w1 im Wesentlichen zwischen der Lagereinrichtung 16 und der Mittelachse M (oder auch einer im Bereich der Mittelachse M angeord-

neten, in FIG 1 nicht gezeigten Positioniereinrichtung zum Positionieren des Werkstücks), ein zweiter Abstandssensor 52 zum Messen des Abstandes w2 im Wesentlichen zwischen der Lagereinrichtung 17 und der Mittelachse M, ein dritter Abstandssensor 53 zum Messen des Abstandes w3 im Wesentlichen zwischen der Lagereinrichtung 18 und der Mittelachse M sowie ein vierter Abstandssensor 54 zum Messen des Abstandes w4 im Wesentlichen zwischen der Lagereinrichtung 19 und der Mittelachse M. Die Abstandsensoren 51 bis 54 können insbesondere Ultraschallsensoren, optische, magnetische oder induktive Sensoren oder andere bekannte Abstandssensoren sein.

[0059] Die Lagereinrichtungen 16 bis 19 sind ferner jeweils in ihrer Lage oder Position verstellbar und zwar die Lagereinrichtung 16 von einem zugehörigen Stellantrieb 22, die Lagereinrichtung 17 von einem zugehörigen Stellantrieb 23 die Lagereinrichtung 18 von einem zugehörigen Stellantrieb 32 und die Lagereinrichtung 19 von einem zugehörigen Stellantrieb 33. Durch Verstellen der Position(en) der Lagereinrichtung(en) 16 und/oder 17 bzw. 18 und/oder 19 wird nun die Drehachse A bzw. B der Arbeitswalze 2 bzw. 3 in ihrer Lage verstellt. Beispielsweise wird bei Verstellen der beiden Lagereinrichtungen 16 und 17 der Arbeitswalze 2 parallel zueinander und senkrecht zur Drehachse A dieser Arbeitswalze 2 um den gleichen Verstellweg in der gleichen Richtung die Drehachse A parallel verschoben. Die Abstände w1 und w2 nehmen also beide um den gleichen Betrag zu. Bei gleichzeitigem Verstellen der Lagereinrichtungen 18 und 19 der anderen Arbeitswalze 3 parallel zueinander und senkrecht zur Drehachse B dieser Arbeitswalze 3 um den gleichen Verstellweg in der gleichen Richtung zueinander aber entgegengesetzt zur Richtung der Verstellung der Lagereinrichtungen 16 und 17 werden die Drehachse B parallel verschoben, die Abstände w1 bis w4 alle um den gleichen Betrag vergrößert und der Abstand W zwischen den Drehachsen A und B vergrößert. Bei Verstellen nur der Lagereinrichtung 16 der Arbeitswalze 2 beispielsweise nach oben werden der Abstand w1 vergrößert und der Abstand w2 im Wesentlichen gleich gehalten und somit die Drehachse A dieser Arbeitswalze 2 gedreht oder geschwenkt.

[0060] Es ist nun eine Kontrolleinrichtung 55 vorgesehen, die über, vorzugsweise elektrische, Steuerleitungen mit den Stellantrieben 22, 23, 32 und 33 verbunden ist und über, im Allgemeinen elektrische, Messleitungen zum Übertragen der Messsignale oder Messwerte mit den Abstandssensoren 51, 52, 53 und 54 verbunden ist. Die Kontrolleinrichtung 55 hält nun die Drehachsen A und B der Arbeitswalzen 2 und 3 in einer vorbestimmten relativen Lage zueinander, insbesondere der parallelen Stellung unter dem vorbestimmten Abstand W, indem sie die gemessenen Abstände w1 bis w4 mit vorbestimmten Sollabständen, die vorzugsweise alle gleich einem gemeinsamen Sollabstand sind, vergleicht und auf die Sollabstände regelt oder korrigiert durch Ansteuern der Stellantriebe 22, 23, 32 und/oder 34. Die Kontrolleinrichtung 55 enthält dazu vorzugsweise wenigstens einen digitalen Mikroprozessor oder Signalprozessor und wenigstens einen Speicher mit einem hinterlegten Steuer- oder Regelalgorithmus für den Prozessor sowie gespeicherten oder neu speicherbaren Soll- oder Führungswerten für die Steuerung oder Regelung.

Die FIG 2 bis 5 zeigen eine Ausführungsform einer Walzmaschine 1 in verschiedenen Darstellungen. Die FIG 2 zeigt einen Längsschnitt entlang einer die Längsrichtung der Walzmaschine und die Schwerkraftrichtung enthaltenden Schnittebene. Die FIG 3 und 4 zeigen Seitenansichten der Walzmaschine auf die beiden Stirn- oder Schmalseiten. Der Schnitt der FIG 5 ist in FIG 2, 3 und 4 mit den Pfeilen V-V gekennzeichnet.

[0061] Jede Arbeitswalze 2 und 3 ist zwischen zwei axial zur jeweiligen Drehachse A bzw. B an den Stirnseiten angeordneten Halteeinrichtungen 12A und 12B bzw. 13A und 13B lösbar gehalten und kann aus den Halteeinrichtungen 12A und 12B bzw. 13A und 13B in deren entriegelten Zustand herausgenommen werden zum Auswechseln der Werkzeuge 20 und 21 bzw. 30 und 31 oder der gesamten Arbeitswalzen 2 und 3 mit den Werkzeugen 20 und 21 bzw. 30 und 31. Es sind jeweils über nicht näher bezeichnete Drehlager, insbesondere Wälzlager, die Halteeinrichtung 12A in der Lagereinrichtung 16 und die Halteeinrichtung 12B in der Lagereinrichtung 17 jeweils um die Drehachse A der ersten Arbeitswalze 2 drehbar gelagert und die Halteeinrichtung 13A in der Lagereinrichtung 18 und die Halteeinrichtung 13B in der Lagereinrichtung 19 jeweils um die Drehachse B der zweiten Arbeitswalze 3 drehbar gelagert.

[0062] Zum Drehen der Arbeitswalzen 2 und 3 um ihre jeweiligen Drehachsen A und B sind ein erster Rotationsantrieb 42 für die erste Arbeitswalze 2 und ein zweiter, vom ersten Rotationsantrieb 42 unabhängiger Rotationsantrieb 43 für die zweite Arbeitswalze 3 vorgesehen. Jeder Rotationsantrieb 42 und 43 umfasst einen zugehörigen Rotationsantriebsmotor 44 bzw. 45 und ein - nicht näher dargestelltes - Rotationsantriebsgetriebe 46 bzw. 47, beispielsweise ein, insbesondere dreistufiges, Zahnradgetriebe, zum Übertragen des Drehmoments des Rotationsantriebsmotors 44 bzw. 45 auf die zugehörige Arbeitswalze 2 bzw. 3. Es sind die Drehachse C der Abtriebswelle des Rotationsantriebsmotors 44 des ersten Rotationsantriebs 42 und die Drehachse D der Abtriebswelle des Rotationsantriebsmotors 45 des zweiten Rotationsantriebs 43 orthogonal zu den Drehachsen A und B der jeweiligen Arbeitswalzen 2 und 3 gerichtet.

[0063] Die in FIG 1 links angeordneten Halteeinrichtungen 12A für die obere Arbeitswalze 2 und 13A für die untere Arbeitswalze 3 setzen sich jeweils als Vollwellen (oder auch Hohlwellen) axial zu den Drehachsen A bzw. B durch die zugehörigen Lagereinrichtungen 16 bzw. 18 fort und sind mit den - nicht näher dargestellten - Rotationsantriebsgetrieben 46 bzw. 47 der zugehörigen Rotationsantriebe 42 bzw. 43 gekoppelt oder in Eingriff. Ein Betrieb der Rotationsantriebsmotoren 44 und 45 führt also zur Übertragung einer Rotationsbewegung über das

Rotationsantriebsgetriebe 46 bzw. 47 auf die Halteeinrichtung 12A bzw. 13A und damit auf die Arbeitswalze 2 bzw. 3 und die mitrotierende zweite Halteeinrichtung 12B und 13B.

[0064] Die Rotationsantriebsmotoren 44 und 45 sind vorzugsweise Permanentmagnet-Motoren, insbesondere sogenannte Torque-Motoren. Die hohe Dynamik oder Drehbeschleunigung und das hohe Drehmoment des Torque-Motors erlaubt eine sehr dynamische Steuerung oder Regelung der Drehzahl der rotierenden Arbeitswalzen 2 und 3 in Anpassung an den Walzprozess. Jeder der Permanentmagnet-Motoren 44 und 45 wird elektronisch, insbesondere über einen Umrichter, angesteuert.

[0065] Die Walzmaschine 1 umfasst ferner eine Trägereinrichtung (oder: ein Walzengerüst oder -gestell) 6. Die Trägereinrichtung 6 umfasst vier säulenartige Trägerelemente 6A bis 6D, die in einer rechteckigen Anordnung angeordnet sind und auf einer gemeinsamen Bodenplatte 6E, die auf dem Boden 50 abgestützt ist, montiert oder befestigt sind. Die Trägerelemente 6A bis 6D verlaufen in einer Längsrichtung vertikal oder senkrecht, d.h. parallel zur Gravitationskraft G.

[0066] In jedem der Trägerelemente 6A bis 6D ist ein zugehöriger Zuganker 7A bis 7B vertikal in der Längsrichtung des jeweiligen Trägerelements angeordnet, der unten an der Trägerplatte 6E befestigt ist und oben mittels einer zugehörigen, nicht näher bezeichneten Gegenmutter, vorzugsweise einer hydraulisch betätigten Gegenmutter, vorgespannt ist. Dabei wird unter die Hydraulikmutter vorzugsweise ein geteiltes Unterlagsringsegment gelegt, wenn die Hydraulikmutter im druckbeaufschlagten Zustand ist, und dann durch Entspannen des hydraulischen Druckes die Mutter auf das Unterlagsringsegment gepresst. Dadurch können die Trägerelemente 6A bis 6D unter eine bestimmte Zugspannung gesetzt und versteift werden. Dies führt zu einer Versteifung des Walzengerüstes der Walzmaschine 1.

[0067] Die Lagereinrichtung 16 ist über eine Antriebsspindel (oder: Verstellspindel) 26 von einem oberhalb angeordneten ersten Stellantrieb 22 höhenverstellbar entlang einer vertikalen, d.h. parallel zur Gravitationsrichtung G verlaufenden, Achse E und die Lagereinrichtung 17 ist über eine Antriebsspindel 27 von einem oberhalb angeordneten zweiten Stellantrieb 23 höhenverstellbar entlang einer vertikalen Achse F. Die Lagereinrichtung 18 ist über eine Antriebsspindel 36 von einem unterhalb angeordneten dritten Stellantrieb 32 höhenverstellbar entlang der vertikalen Achse E und die Lagereinrichtung 19 ist über eine Antriebsspindel 37 von einem unterhalb angeordneten vierten Stellantrieb 33 höhenverstellbar entlang der vertikalen Achse F.

[0068] Jeder Stellantrieb 22, 23, 32, 33 umfasst einen Antriebsmotor 24, 25, 34, 35, der über eine Antriebswelle 28, 29, 38, 39 und ein nicht näher bezeichnetes Scheckengetriebe mit hoher Untersetzung die Antriebsspindel 26, 27, 36, 37 und damit die Lagereinrichtung 16, 17, 18, 19 antreibt. Die maximalen Verstellwege oder Verstellhübe der Stellantriebe 22, 23, 32, 33 betragen typischerweise 50 mm bis 150 mm, die Verstellgenauigkeit oder Verstellschritte betragen typischerweise in Anpassung an die Wärmeausdehnungen in der Walzmaschine einige 1/100 mm. Die Antriebsmotoren 24, 25, 34, 35 können Getriebemotoren sein und/oder Drehstrom-Asynchronmotoren oder Synchronmotoren und/oder Permanentmagnetmotoren (z.B. Servomotoren) mit einer elektronischen Ansteuerung und werden für die hohe Verstellgenauigkeit beim Verstellen nur mit Stromimpulsen im Millisekundenbereich beaufschlagt.

[0069] Die beiden Lagereinrichtungen 16 und 18 sind für ihre Verstellbewegung über Führungen 8B des Trägerelements 6B und 8C des Trägerelements 6C in oder an den beiden Trägerelementen 6B und 6C vertikal geführt. Die beiden weiteren Lagereinrichtungen 17 und 19 sind entsprechend für ihre Verstellbewegung über Führungen 8A des Trägerelements 6A und 8D des Trägerelements 6D in oder an den beiden Trägerelementen 6A und 6D vertikal geführt.

[0070] Es sind somit Arbeitseinheiten aus jeweils einer Arbeitswalze 2 bzw. 3, zwei Halteeinrichtungen 12A und 12B bzw. 13A und 13B, zwei Lagereinrichtungen 16 und 17 bzw. 18 und 19 und einem Rotationsantrieb 42 bzw. 43 gebildet, die an jeweils zwei an der Trägereinrichtung 6 befestigten Stellantrieben 22 und 23 bzw. 32 und 33 höhenverstellbar aufgehängt sind und aufeinander zu oder voneinander weg sowie in oder an der Trägereinrichtung 6 geführt bewegbar sind.

[0071] Durch Verstellen der Lagereinrichtungen 16 und 17 - und damit der gesamten Arbeitseinheit einschließlich der zugehörigen Arbeitswalze 2 - mittels der Stellantriebe 22 und 23 in der gleichen Richtung und um den gleichen Betrag, also gleichzeitig um denselben Hubweg nach oben oder gleichzeitig um denselben Hubweg nach unten, wird die Drehachse A der ersten Arbeitswalze 2 parallel nach oben bzw. unten verschoben. Ebenso wird durch Verstellen der Lagereinrichtungen 18 und 19 und zugehörigen Arbeitseinheit mit Arbeitswalze 3 über die Stellantriebe 32 und 33 in der gleichen Richtung und um den gleichen Betrag die Drehachse B der zweiten Arbeitswalze 3 parallel nach oben bzw. unten verschoben.

[0072] Somit kann mittels der Stellantriebe 22 und 23 und/oder der Stellantriebe 32 und 33 der Walzenabstand W zwischen den Drehachsen A und B der beiden Arbeitswalzen 2 und 3 bzw. der Werkzeugabstand w variiert werden.

[0073] Im Betrieb der Walzmaschine unterscheidet man wenigstens drei Verfahrensschritte oder Prozessphasen. Die drei Prozessphasen bilden einen Arbeitszyklus. In einer Serienfertigung zum Erzeugen mehrerer umgeformter Werkstücke werden in der Regel mehrere solcher Arbeitszyklen hintereinander durchgeführt.

[0074] In einer ersten Prozessphase wird das Werkstück 10 zwischen den Walzen 2 und 3 positioniert. Das Werkstück 10 wird dazu gemäß FIG 3 mittels zweier Leitlineale oder Positionierteile 61 und 62 einer nur in FIG 3 dargestellten Positioniereinrichtung 60 in eine Position

auf der Mittelachse M zwischen den Arbeitswalzen 2 und 3 gebracht. Die beiden Positionierteile 61 und 62 sind entlang einer Positionierachse P senkrecht zur Mittelachse M beweglich, wie durch die Doppelpfeile angedeutet, insbesondere mittels Rollen. Die Positionierteile 61 und 62 können in einer langen Führung derart zurückgefahren werden, dass die Arbeitswalze 2 und/oder 3 gewechselt werden kann, ohne dass die Positionierteile 61 und 62 demontiert werden müssen.

[0075] In einer zweiten Prozessphase, der Umformphase, wird das Werkstück 10 von den Werkzeugen der Arbeitswalzen 2 und 3 erfasst und zwischen den drehenden Werkzeugen der Walzen umgeformt. In dieser Umformphase werden nun die Abstände w1, w2, w3 und w4 als Maß für die Abstände zwischen den Drehachsen A und B und der Mittelachse M gemessen.

[0076] In einer dritten Prozessphase wird das umgeformte Werkstück wieder aus dem Zwischenraum zwischen den Walzen entnommen oder ausgeworfen. Es werden nun die Abstände w1 und w2 sowie w3 und w4 insbesondere mit einem gemeinsamen Sollabstand verglichen, so dass also eine parallele Stellung der Drehachsen A und B angestrebt wird. Bei zu großer Abweichung eines der Abstände w1 bis w4 von dem Sollabstand werden die Drehachsen A und B in der beschriebenen Weise in ihrer Lage verändert, bis die Abweichung beseitigt oder innerhalb eines Toleranzbereichs liegt.

[0077] Alternativ oder zusätzlich können die Abstände w1, w2, w3 und w4 auch während der Umformphase gezielt gemäß einem vorgegebenen von der Winkelposition der Walze(n) abhängigen oder zeitlichen Verlauf verändert werden, um die Umformung des Werkstücks zu beeinflussen.

Bezugszeichenliste

[0078]

1	Walzmaschine
2,3	Arbeitswalze
6A bis 6D	Trägerelement
6E	Bodenplatte
7A bis 7D	Zuganker
8A bis 8D	Führung
10	Werkstück
12A, 12B	Halteeinrichtung
13A, 13B	Halteeinrichtung
16, 17, 18, 19	Lagereinrichtung
20, 21	Werkzeug
22, 23	Stellantrieb
24, 25	Getriebemotor
26, 27	Verstellspindel
28, 29	Antriebswelle
30, 31	Werkzeug
32, 33	Stellantrieb
34, 35	Getriebemotor
36, 37	Verstellspindel
38, 39	Antriebswelle
42, 43	Rotationsantrieb
44, 45	Rotationsantriebsmotor
46, 47	Rotationsantriebsgetriebe
50	Boden
51, 52	Abstandssensor
53, 54	Abstandssensor
55	Kontrolleinrichtung
60	Positioniereinrichtung
61, 62	Positionierteile

A, B	Drehachse
C, D	Antriebsachse
E, F	Achse
G	Gravitationskraft
M	Mittelachse
V	Verstellachse
P	Positionierachse
w	Werkzeugabstand
w1,w2	Abstand
w3,w4, W	Abstand

Patentansprüche

1. Verfahren zum Warmumformen eines metallischen Werkstücks,

a) bei dem das Werkstück (10) während wenigstens einer Umformphase zwischen Oberflächen oder Werkzeugen (20, 21, 30, 31) von zwei um jeweils eine Drehachse rotierenden Walzen (2, 3) umgeformt wird,
b) bei dem die relative Lage der Drehachsen (A, B) der Walzen zueinander während der oder wenigstens einer Umformphase auf eine Soll-Relativlage gesteuert, geregelt oder korrigiert wird, insbesondere mittels wenigstens einer Kontrolleinrichtung (55) und wenigstens eines wenigstens einer der Walzen zugeordneten und von der Kontrolleinrichtung angesteuerten Stellantriebes (22, 23, 32, 33),
c) bei dem die Soll-Relativlage während der Umformphase gemäß einem vorgegebenen, insbesondere von der Winkelposition oder Drehposition wenigstens einer Walze abhängigen oder von der Zeit abhängigen Verlauf geführt wird bzw. werden, der einem gewünschten Verlauf des beim Umformen des Werkstücks gewünschten Umformdruckes oder der Umformung des Werkstücks angepasst ist,
d) bei dem mit demselben wenigstens einen Werkzeug oder denselben Oberflächen der Walzen durch Einstellen unterschiedlicher Verläufe der Soll-Relativlage in unterschiedlichen Umformphasen unterschiedliche Umformungen derselben oder unterschiedlicher Werkstücke erzeugt werden, insbesondere durch Verringern des Abstandes der Drehachsen wäh-

rend zumindest eines Teils der Umformphase, und/oder Abweichungen beim Werkzeug von einer vorgegebenen Form durch Anpassen der Soll-Relativlage der Drehachsen der Walzen wenigstens annähernd ausgeglichen werden,
e) bei dem zur Steuerung, Regelung oder Korrektur der relativen Lage der Drehachsen der Walzen jeweils zwei Abstände (w1, w2, w3, w4) der Drehachsen (A, B) von jeder der beiden Walzen (2, 3) zu einer vorgegebenen Mittelachse (M) im zur Aufnahme des Werkstücks vorgesehenen Zwischenraum zwischen den Walzen oder Werkzeugen auf jeweils einen zugehörigen konstanten oder variablen Sollabstand gesteuert, geregelt oder korrigiert werden und/oder ermittelt werden und mit jeweils einem zugehörigen konstanten oder variablen Sollabstand verglichen werden und bei einer Abweichung von dem Sollabstand außerhalb eines vorgegebenen Toleranzbereiches auf den Sollabstand korrigiert werden,
f) wobei die Mittelachse innerhalb einer Bewegungsebene oder auf einer Bewegungsachse zweier zueinander beweglicher Teile einer Positioniereinrichtung zum Positionieren des Werkstücks liegt oder die Achse definiert, auf der das Werkstück positioniert wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem

a) die relative Lage der Drehachsen (A, B) der Walzen (2, 3) zueinander während der Umformphase, insbesondere bei einer vorgegebenen Drehwinkelstellung wenigstens einer der Walzen und/oder bei einer vorgegebenen Kraftbelastung der Walze(n), ermittelt wird,
b) die ermittelte relative Lage der Drehachsen mit der Soll-Relativlage verglichen wird und festgestellt wird, ob eine außerhalb eines vorgegebenen Toleranzbereiches liegende Abweichung der ermittelten relativen Lage der Drehachsen von der Soll-Relativlage vorliegt,
c) und, wenn eine solche außerhalb des Toleranzbereiches liegende Abweichung der ermittelten relativen Lage der Drehachsen von der Soll-Relativlage festgestellt wird, die relative Lage der Drehachsen der Walzen, insbesondere mittels des wenigstens einen Stellantriebs (22, 23, 32, 33), derart verändert oder korrigiert wird, dass die Abweichung wieder innerhalb des Toleranzbereiches liegt.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder Anspruch 2, bei dem

a) zur Steuerung, Regelung oder Korrektur der relativen Lage der Drehachsen (A, B) der Walzen (2, 3)

b) wenigstens eine Position wenigstens einer der Drehachsen der Walzen

b1) auf jeweils eine zugehörige konstante oder variable Sollposition gesteuert, geregelt oder korrigiert wird und/oder
b2) ermittelt wird und mit jeweils einer zugehörigen konstanten oder variablen Sollposition verglichen wird und bei Abweichung von der Sollposition außerhalb eines vorgegebenen Toleranzbereiches auf die Sollposition korrigiert wird,

c) wobei gegebenenfalls die Position(en) der Drehachse(n) der anderen Walze(n) unverändert oder ortsfest zur Umgebung bleibt oder angenommen wird bzw. bleiben oder angenommen werden.

4. Verfahren nach einem oder mehreren der vorhergehende Ansprüche, bei dem zur Steuerung, Regelung oder Korrektur der relativen Lage der Drehachsen (A, B) der Walzen (2, 3) jeweils wenigstens zwei Abstände der Drehachsen von zwei Walzen voneinander einerseits und zugehörige Sollabstände andererseits herangezogen werden, wobei diese Abstände vorzugsweise an, in Richtung der jeweiligen Drehachse gesehen, entgegengesetzten Seiten der Walzen, vorgesehen sind oder ermittelt werden.

5. Verfahren nach einem oder mehreren der vorhergehende Ansprüche, bei dem die Walzen (2, 3) in jeweils zwei Lagereinrichtungen (16, 17, 18, 19) rotierbar oder rotierend gelagert sind und zur Einstellung der relativen Lage der Drehachsen der Walzen zueinander eine der beiden Lagereinrichtungen oder beide Lagereinrichtungen wenigstens einer Walze über wenigstens einen Stellantrieb (22, 23, 32, 33) bewegt werden und/oder bei dem die Drehachse(n) der Walze(n) oder die Lagereinrichtung(en) der Walze(n) zur Steuerung, Regelung oder Korrektur der relativen Lage auf die Soll-Relativlage wenigstens teilweise in einer vorgegebenen Bewegungsrichtung linear bewegt wird bzw. werden, wobei die Bewegungsrichtung der linearen Bewegung vorzugsweise im Wesentlichen senkrecht zu den Drehachsen der Walzen und/oder im Wesentlichen parallel zur Schwerkraft (G) gerichtet ist oder wird, und/oder wenigstens teilweise gedreht oder gekippt wird bzw. werden.

6. Verfahren nach einem oder mehreren der vorhergehende Ansprüche, bei dem die Soll-Relativlage oder die Sollposition(en) oder der Sollabstand/die Sollabstände der Drehachsen (A, B) der Walzen (2, 3) abhängig von dem Material und/oder der Gestalt des umzuformenden Werkstück oder von der gewünschten Gestalt oder den gewünschten Abmessungen

des umgeformten Werkstücks eingestellt oder gewählt werden oder sind, wobei vorzugsweise die Gestalt des Werkstücks vor der Umformphase vermessen wird und die Soll-Relativlage, Sollposition(en) oder der Sollabstand/die Sollabstände entsprechend eingestellt wird bzw. werden.

7. Walzmaschine (1) zum Durchführen eines Verfahrens nach einem der vorhergehenden Ansprüche, mit

a) wenigstens zwei um jeweils eine Drehachse (A, B) rotierbaren oder rotierenden, insbesondere mit Werkzeugen (20, 21, 30, 31) bestückbaren oder bestückten, Walzen (2, 3)
b) wenigstens einem Rotationsantrieb (42, 43) zum Rotieren der Walzen um deren Drehachsen zumindest während einer Umformphase zum Umformen eines zwischen den Walzen anordenbaren oder angeordneten Werkstücks,
c) wenigstens einem Stellantrieb (22, 23, 32, 33) zum Einstellen der Position(en) der Drehachse(n) einer der Walzen oder beider Walzen,
d) einer mit jedem Stellantrieb in Wirkverbindung stehenden Kontrolleinrichtung (55) zum Steuern, Regeln oder Korrigieren der relativen Lage der Drehachsen der Walzen auf eine Soll-Relativlage mittels des oder der Stellantriebe(s),
e) einer Einrichtung zum Ermitteln der relativen Lage der Drehachsen der Walzen zueinander, insbesondere während der Umformphase,
f) wobei die Kontrolleinrichtung mit der Einrichtung zum Ermitteln der relativen Lage der Drehachsen in Wirkverbindung steht und

f1) die von dieser Einrichtung ermittelte relative Lage der Drehachsen mit der Soll-Relativlage vergleicht,
f2) feststellt, ob eine außerhalb eines vorgegebenen Toleranzbereiches liegende Abweichung der ermittelten relativen Lage der Drehachsen von der Soll-Relativlage vorliegt,
f3) und, wenn eine solche außerhalb des Toleranzbereiches liegende Abweichung der ermittelten relativen Lage der Drehachsen von der Soll-Relativlage vorliegt, die relative Lage der Drehachsen der Walzen, insbesondere mittels des wenigstens einen Stellantriebs, derart verändert, dass die Abweichung wieder innerhalb des Toleranzbereiches liegt,

g) wobei die Einrichtung zum Ermitteln der relativen Lage der Drehachsen der Walzen zueinander vier Abstandssensoren (51, 52, 53, 54) zum Messen der Abstände (w1, w2, w3, w4) der Drehachsen der Walzen jeweils zur Mittelachse als Maß für die Position(en) oder den Abstand der Drehachsen der Walzen umfasst.

8. Walzmaschine : (1) nach Anspruch 7 mit einer Positioniereinrichtung (60) mit zwei zueinander beweglichen Positionierteilen (61, 62) zum Positionieren des Werkstücks im Bereich einer vorgegebenen Mittelachse (M) zwischen den beiden Walzen.

9. Walzmaschine (1) nach Anspruch 7 oder Anspruch 8, bei der jeder Walze (2, 3) wenigstens ein zugehöriger Stellantrieb (22, 23, 32, 33) zugeordnet ist zum unabhängigen Einstellen der Positionen der Drehachsen (A, B) der Walzen, wobei die Stellantriebe vorzugsweise an voneinander abgewandten Seiten der Walzen angeordnet sind oder bei der den Walzen ein gemeinsamer Stellantrieb zugeordnet ist, der über jeweils ein Getriebe mit jeder der Walzen koppelbar oder gekoppelt ist, wobei die Getriebe vorzugsweise so ausgebildet sind, dass die Drehachsen beider Walzen beim Antrieb durch den gemeinsamen Stellantrieb gleichzeitig, vorzugsweise auch mit der gleichen Geschwindigkeit, auf eine zwischen den Walzen liegende Referenzposition, vorzugsweise die Mittelachse, zu oder von dieser weg bewegbar sind und/oder bei der wenigstens ein Stellantrieb wenigstens einen elektrischen Stellantriebsmotor und eine mit dem Stellantriebsmotor einerseits und der zugehörigen Walze andererseits koppelbare oder gekoppelte Kraftübertragungseinrichtung, die insbesondere wenigstens eine Antriebsspindel und/oder ein Schneckengetriebe umfasst, zum Übertragen der Antriebskraft oder des Antriebsdrehmoments des Stellantriebsmotors zur Bewegung der Walzen umfasst.

10. Walzmaschine (1) nach einem der Ansprüche 7 bis 9, die

a) für jede Walzen (2, 3) jeweils zwei an Stirnseiten der Walze mit der Walze, vorzugsweise lösbar, verbindbare oder verbundene und mit der Walze mitrotierbare oder mitrotierende Halteeinrichtungen (12A, 12B, 13A, 13B) und
b) für jede Halteeinrichtung jeweils eine Lagereinrichtung (16, 17, 18, 19) in der die Halteeinrichtung drehbar gelagert ist, umfasst,
c) wobei die Lagereinrichtungen mit den in ihnen gelagerten Halteeinrichtungen wenigstens einer Walze mit dem oder den dieser Walze zugeordneten Stellantrieb(en) (22, 23, 32, 33) gekoppelt oder koppelbar ist und über den oder die Stellantrieb(e) bewegbar sind oder bewegt werden zum Verändern der Position der Drehachse der zugehörigen Walze, wobei vorzugsweise jede Lagereinrichtung jeweils mit einem zugehörigen Stellantrieb verbunden ist, und/oder die

d) eine nicht mit den Walzen mitrotierende oder nicht mitrotierbare Trägereinrichtung umfasst, an der oder von der der oder die Stellantrieb(e) getragen oder gelagert ist bzw. sind,
e) wobei die Trägereinrichtung vorzugsweise Führungsbereiche zum Führen der Walzen oder der Lagereinrichtungen bei deren Bewegung aufweist und/oder wobei vorzugsweise die Trägereinrichtung vier, insbesondere säulenartige, Trägerelemente (6A, 6B, 6C, 6D) umfasst, wobei zwischen zwei der vier Trägerelementen eine der Lagereinrichtungen einer ersten der beiden Walzen und eine der Lagereinrichtungen der zweiten der beiden Walzen und zwischen den anderen zwei der vier Trägerelemente die andere Lagereinrichtung der ersten Walze und die andere Lagereinrichtung der zweiten Walze angeordnet und vorzugsweise beweglich geführt sind, wobei die Trägerelemente insbesondere mittels Zugankern (7A, 7B, 7C, 7D) und, vorzugsweise hydraulischen, Muttern vorgespannt sind.

11. Walzmaschine (1) nach einem oder mehreren der Ansprüche 7 bis 10, bei der in der Soll-Relativlage die Drehachsen (A, B) der Walzen (2, 3) im Wesentlichen parallel zueinander gerichtet sind und/oder im Wesentlichen, in Schwerkraftrichtung gesehen, übereinander angeordnet sind und/oder im Wesentlichen senkrecht zur Schwerkraftrichtung angeordnet sind.

12. Walzmaschine (1) nach Anspruch 7, bei der die Einrichtung zum Ermitteln der relativen Lage der Drehachsen (A, B) der Walzen (2, 3) zueinander wenigstens einen berührungslosen Sensor und/oder einen Ultraschallsensor und/oder einen optischen Sensor und/oder einen induktiven Sensor und/oder einen magnetischen Sensor umfasst.

13. Walzmaschine (1) nach einem oder mehreren der Ansprüche 7 bis 12, die als Profilquerwalzmaschinen oder Querkeilwalzmaschine ausgebildet ist und/oder bei der die Werkzeuge (20, 21, 30, 31) auf den Walzen im Querschnitt keilförmige oder dreieckförmige Profile oder Gestalten aufweisen und entlang des Umfangs in ihrer radialen Abmessung in einer Richtung zunehmen und/oder schräg zur Drehachse der zugehörigen Walze verlaufen.

Claims

1. Method for hot-forming a metallic workpiece,

a) in which the workpiece (10) during at least one forming phase is formed between surfaces or tools (20, 21, 30, 31) of two rollers (2, 3), each rotating about one rotation axis,
b) in which the relative mutual position of the rotation axes (A, B) of the rollers during the or at least one forming phase is controlled, regulated or corrected to a nominal relative position, in particular by means of at least one controller installation (55) and of at least one actuator (22, 23, 32, 33) which is assigned to at least one of the rollers and is actuated by the controller installation,
c) in which the nominal relative position during the forming phase is guided according to a predefined profile which in particular depends on the angular position or the rotational position of at least one roller or depends on the time, and which profile is adapted to a desired profile of the forming pressure desired when forming the workpiece, or to the forming of the workpiece,
d) in which by way of the same at least one tool or the same surfaces of the rollers, by setting dissimilar profiles of the nominal relative position in dissimilar forming phases, dissimilar forming of the same or of dissimilar workpieces is generated, in particular by reducing the spacing of the rotation axes during at least part of the forming phase, and/or deviations in the tool from a predefined shape are at least approximately equalized by adapting the nominal relative position of the rotation axes of the rollers,
e) in which for controlling, regulating or correcting the relative position of the rotation axes of the rollers, in each case two spacings (w1, w2, w3, w4) of the rotation axes (A, B) of each of the two rollers (2, 3) from a predefined central axis (M) in the intermediate space provided for receiving the workpiece between the rollers or the tools are controlled, regulated or corrected to in each case an associated constant or variable nominal spacing, and/or are determined and are each compared to an associated constant or variable nominal spacing and, in the case of any deviation from the nominal spacing outside a predefined tolerance range, are corrected to the nominal spacing,
f) wherein the central axis lies within a movement plane or on a movement axis of two mutually movable parts of a positioning installation for positioning the workpiece, or defines the axis on which the workpiece is positioned.

2. Method according to Claim 1, in which

a) the relative mutual position of the rotation axes (A, B) of the rollers (2, 3) is determined during the forming phase, in particular in the case of a predefined rotation-angle position of at least one of the rollers, and/or in the case of a predefined force load on the roller(s),

b) the determined relative position of the rotation axes is compared to the nominal relative position and it is established whether a deviation in the determined relative position of the rotation axes from the nominal relative position that is outside a predefined tolerance range is present,
c) and, when such a deviation in the determined relative position of the rotation axes from the nominal relative position that is outside the tolerance range is established, the relative position of the rotation axes of the rollers is modified or corrected in particular by means of the at least one actuator (22, 23, 32, 33) such that the deviation is again within the tolerance range.

3. Method according to Claim 1 or Claim 2, in which

a) for controlling, regulating or correcting the relative position of the rotation axes (A, B) of the rollers (2, 3)
b) at least one position of at least one of the rotation axes of the rollers

b1) is controlled, regulated or corrected to in each case an associated constant or variable nominal position, and/or
b2) is determined and in each case is compared to an associated constant or variable nominal position and, in the case of any deviation from the nominal position that is outside a predefined tolerance range, is corrected to the nominal position,

c) wherein optionally the position(s) of the rotation axis (axes) of the other roller(s) remain(s) or are/is assumed to be unmodified or locationally fixed in relation to the environment.

4. Method according to one or a plurality of the preceding claims, in which for controlling, regulating or correcting the relative position of the rotation axes (A, B) of the rollers (2, 3) in each case at least two mutual spacings of the rotation axes of two rollers are referenced, on the one hand, and associated nominal spacings are referenced, on the other hand, wherein these spacings are preferably provided or determined at opposite sides of the rollers when viewed in the direction of the respective rotation axis.

5. Method according to one or a plurality of the preceding claims, in which the rollers (2, 3) are each rotatably or rotatingly mounted in two mounting installations (16, 17, 18, 19), and for setting the relative mutual position of the rotation axes of the rollers one of the two mounting installations or both mounting installations of at least one roller is/are moved by at least one actuator (22, 23, 32, 33), and/or in which the rotation axis (axes) of the roller(s), or the mounting installation(s) of the roller(s), for controlling, regulating or correcting the relative position to the nominal relative position, is/are at least partially moved in a linear manner in a predefined movement direction, wherein the movement direction of the linear movement is preferably oriented so as to be substantially perpendicular to the rotation axes of the rollers and/or substantially parallel with the force of gravity (G), and/or is/are at least partially rotated or tilted.

6. Method according to one or a plurality of the preceding claims, in which the nominal relative position or the nominal position(s), or the nominal spacing(s) of the rotation axes (A, B) of the rollers (2, 3) is/are set or chosen in a manner dependent on the material and/or the shape of the workpiece to be formed, or on the desired shape or the desired dimensions of the formed workpiece, wherein the shape of the workpiece is preferably measured prior to the forming phase, and the nominal relative position, the nominal position(s) or the nominal spacing(s) is/are set accordingly.

7. Rolling machine (1) for carrying out a method according to one of the preceding claims, having

a) at least two rollers (2, 3), each rotatable or rotating about one rotation axis (A, B) and in particular being equipped with or being capable of being equipped with tools (20, 21, 30, 31),
b) at least one rotary drive (42, 43) for rotating the rollers about the rotation axes thereof at least during one forming phase for forming a workpiece which is disposable or disposed between the rollers,
c) at least one actuator (22, 23, 32, 33) for setting the position(s) of the rotation axis (axes) of one of the rollers or of both rollers,
d) a controller installation (55) which for controlling, regulating or correcting the relative position of the rotation axes of the rollers to a nominal relative position by means of the actuator(s) is operationally connected to each actuator,
e) an installation for determining the relative mutual position of the rotation axes of the rollers, in particular during the forming phase,
f) wherein the controller installation is operationally connected to the installation for determining the relative position of the rotation axes and

f1) compares the relative position of the rotation axes, as determined by said installation, to the nominal relative position,
f2) establishes whether any deviation in the determined relative position of the rotation axes from the nominal relative position that is outside a predefined tolerance range is

present,
f3) and, when such a deviation in the determined relative position of the rotation axes from the nominal relative position that is outside the tolerance range is present, in particular by means of the at least one actuator modifies the relative position of the rotation axes of the rollers in such a manner that the deviation is again within the tolerance range,

g) wherein the installation for determining the relative mutual position of the rotation axes of the rollers comprises four spacing sensors (51, 52, 53, 54) for measuring the spacings (w1, w2, w3, w4) of each of the rotation axes of the rollers from the central axis as a measure for the position(s) or the spacing of the rotation axes of the rollers.

8. Rolling machine (1) according to Claim 7, having a positioning installation (60) having two mutually movable positioning parts (61, 62) for positioning the workpiece in the region of a central axis (M) predefined between the two rollers.

9. Rolling machine (1) according to Claim 7 or Claim 8, in which each roller (2, 3) is assigned at least one associated actuator (22, 23, 32, 33) for independently setting the positions of the rotation axes (A, B) of the rollers, wherein the actuators are preferably disposed on sides of the rollers that face away from one another,
or
in which the rollers are assigned a common actuator which in each case is coupleable or coupled to each of the rollers by way of one gear box, wherein the gear boxes are preferably configured such that the rotation axes of both rollers when driven by the common actuator are simultaneously, preferably also at the same speed, movable toward or away from a reference position, preferably the central axis, between the rollers, and/or
in which at least one actuator comprises at least one electric actuator drive motor and a force-transmission installation, which is coupleable or coupled to the actuator drive motor, on the one hand, and to the associated roller, on the other hand, and which in particular comprises at least one drive spindle and/or one worm gear for transmitting the drive force or the drive torque of the actuator drive motor for moving the rollers.

10. Rolling machine (1) according to one of Claims 7 to 9, which

a) for each roller (2, 3) comprises two retaining installations (12A, 12B, 13A, 13B) which at end sides of the roller are preferably releasably connectable or connected to the roller and which are capable of conjointly rotating or conjointly rotate with the roller,
b) for each retaining installation comprises one mounting installation (16, 17, 18, 19) in which the retaining installation is rotatably mounted,
c) wherein the mounting installations, with the retaining installations mounted therein, of at least one roller are coupled or coupleable to the actuator(s) (22, 23, 32, 33) assigned to this roller, and by way of the actuator(s) are movable or are moved for modifying the position of the rotation axis of the associated roller, wherein each mounting installation is preferably connected to an associated actuator, and/or which
d) comprises a support installation which does not conjointly rotate or is not capable of conjointly rotating with the rollers, on which the actuator(s) is or are carried or mounted,
e) wherein the support installation preferably has guide regions for guiding the rollers or the mounting installations in the case of movement of the latter, and/or wherein the support installation preferably comprises four in particular column-type support elements (6A, 6B, 6C, 6D), wherein one of the mounting installations of a first of the two rollers and one of the mounting installations of the second of the two rollers are disposed and preferably guided in a movable manner between two of the four support elements, and the other mounting installation of the first roller and the other mounting installation of the second roller are disposed and preferably guided in a movable manner between the other two of the four support elements, wherein the support elements are biased in particular by means of tie rods (7A, 7B, 7C, 7D) and preferably hydraulic nuts.

11. Rolling machine (1) according to one or a plurality of Claims 7 to 10, in which the rotation axes (A, B) of the rollers (2, 3) in the nominal relative position are oriented so as to be substantially mutually parallel, and/or, when viewed in the direction of the force of gravity, are disposed so as to be substantially on top of one another, and/or are disposed so as to be substantially perpendicular to the direction of the force of gravity.

12. Rolling machine (1) according to Claim 7, in which the installation for determining the relative mutual position of the rotation axes (A, B) of the rollers (2, 3) comprises at least one non-contacting sensor and/or one ultrasonic sensor and/or one optical sensor and/or one inductive sensor and/or one magnetic sensor.

13. Rolling machine (1) according to one or a plurality of Claims 7 to 12, which is configured as a cross-profile rolling machine or as a cross-wedge rolling machine, and/or in which the tools (20, 21, 30, 31) on the rollers in the cross section have wedge-shaped or triangular profiles or shapes and in the radial dimension thereof along the circumference increase in one direction and/or run obliquely to the rotation axis of the associated roller.

Revendications

1. Procédé pour le formage à chaud d'une pièce métallique,

a) selon lequel la pièce (10) est formée pendant au moins une phase de formage entre des surfaces ou outils (20, 21, 30, 31) de deux rouleaux (2, 3) étant chacun en rotation autour d'un axe de rotation respectif,
b) selon lequel la position relative des axes de rotation (A, B) des rouleaux, l'un par rapport à l'autre, est commandé, régulée ou corrigée pendant la ou au moins une phase de formage, vers une position relative de consigne, notamment à l'aide d'au moins un dispositif de contrôle (55) et d'au moins un servomoteur (22, 23, 32, 33) associé à au moins un rouleau et asservi par le dispositif de contrôle,
c) selon lequel la position relative de consigne est guidée pendant la phase de formage selon un déroulement prédéterminé, notamment fonction de la position angulaire ou de la position de rotation d'au moins un rouleau ou fonction du temps, déroulement qui est adapté à un déroulement souhaité de la pression de formage souhaitée pendant le formage de la pièce ou qui est adapté au formage de la pièce,
d) selon lequel, avec le même au moins un outil ou les mêmes surfaces des rouleaux, différents formages d'une même pièce ou de différentes pièces peuvent être obtenus par réglage de différents déroulements de la position relative de consigne pendant différentes phases de formage, notamment en réduisant la distance des axes de rotation pendant au moins une partie de la phase de formage et/ou selon lequel des écarts de l'outil par rapport à une forme prédéterminée peuvent être compensées au moins approximativement par adaptation de la position relative de consigne des axes de rotation des rouleaux,
e) selon lequel, pour la commande, la régulation ou la correction de la position relative des axes de rotation des rouleaux, respectivement deux distances (w1, w2, w3, w4) des axes de rotation (A, B) de chacun des rouleaux (2, 3) par rapport à un axe médian (M) dans l'espace intermédiaire entre les rouleaux ou outils, destiné à la réception de la pièce, sont commandées, régulées ou corrigées pour atteindre une distance de consigne correspondante constante ou variable et/ou sont déterminées et sont comparées à une distance de consigne correspondante constante ou variable et sont corrigées, en cas d'écart de la distance de consigne au-delà d'une plage de tolérance prédéterminée, pour atteindre la distance de consigne,
f) selon lequel l'axe médian est situé à l'intérieur d'un plan de mouvement ou sur un axe de mouvement de deux parties, l'une vers l'autre, d'un dispositif de positionnement pour positionner la pièce, ou définit l'axe sur lequel la pièce est positionnée.

2. Procédé selon la revendication 1, selon lequel

a) la position relative des axes de rotation (A, B), l'un par rapport à l'autre, des rouleaux (2, 3) est déterminée pendant la phase de formage à une position d'angle de rotation prédéterminée d'au moins un des rouleaux et/ou à une charge en force prédéterminée du (ou des) rouleau(x),
b) la position relative déterminée des axes de rotation est comparée à la position relative de consigne et il est vérifié s'il y a un écart entre la position relative déterminée des axes de rotation et la position relative de consigne qui serait en dehors de la plage de tolérance,
c) et si un tel écart entre la position relative déterminée et la position relative de consigne en dehors de la plage de tolérance est constaté, la position relative des axes de rotation des rouleaux est modifiée ou corrigée de façon telle, notamment à l'aide dudit au moins un servomoteur (22, 23, 32, 33), que l'écart soit à nouveau à l'intérieur de la plage de tolérance.

3. Procédé selon la revendication 1 ou la revendication 2, selon lequel

a) pour la commande, la régulation ou la correction de la position relative des axes de rotation (A, B) des rouleaux (2, 3),
b) au moins une position d'au moins un des axes de rotation des rouleaux

b1) est commandée, régulée ou corrigée pour atteindre une position de consigne respectivement correspondante constante ou variable
et/ou
b2) est déterminée et est comparée avec la position de consigne correspondante constante ou variable et, en cas d'écart de la

position de consigne en dehors de la plage de tolérance prédéterminée, est corrigée pour atteindre la position de consigne,

c) le cas échéant, la (les) position(s) du (ou des) axe(s) de rotation de l'autre (ou des autres) rouleau(x) restant inchangée(s) ou sans déplacement par rapport à l'entourage ou est (ou sont) acceptée(s) ou sera (seront) acceptée(s).

4. Procédé selon une ou plusieurs des revendications précédentes, selon lequel, pour la commande, la régulation ou la correction de la position relative des axes de rotation (A, B) des rouleaux (2, 3), chaque fois au moins deux distances des axes de rotation de deux rouleaux l'un de l'autre, d'une part, et des distances de consigne, d'autre part, sont prises, ces distances étant prévues ou déterminées de préférence à des côtés opposés, vu dans la direction de l'axe de rotation respectif.

5. Procédé selon une ou plusieurs des revendications précédentes, selon lequel les rouleaux (2, 3) sont montés de façon à être aptes à être mis en rotation ou étant en rotation, dans deux dispositifs de palier respectifs (16, 17, 18, 19) et, pour l'ajustage de la position relative des axes de rotation, l'un par rapport à l'autre, des rouleaux, un des deux dispositifs de palier ou les deux dispositifs de palier d'au moins un des rouleaux est (ou sont) déplacé(s) à l'aide d'au moins un servomoteur (22, 23, 32, 33) et/ou selon lequel, pour la commande, la régulation ou la correction de la position relative pour atteindre la position relative de consigne, l'axe (ou les axes) de rotation du (ou des) rouleau(x) ou le(s) dispositif(s) de palier du (ou des) rouleau(x) est (ou sont) mû(s) au moins partiellement dans une direction de mouvement prédéterminée de manière linéaire, la direction de mouvement du mouvement linéaire étant de préférence sensiblement perpendiculaire aux axes de rotation des rouleaux et/ou est orientée sensiblement parallèle à la gravité et/ou est au moins partiellement tournée ou basculée.

6. Procédé selon une ou plusieurs des revendications précédentes, selon lequel la position relative de consigne ou la (ou les) position(s) de consigne ou la (ou les) distance(s) de consigne des axes de rotation (A, B) des rouleaux (2, 3) sont ajustées ou choisies en fonction du matériau et/ou de la forme de la pièce à former ou de la forme souhaitée ou des dimensions souhaitées de la pièce formée, de préférence, la forme de la pièce étant mesurée avant la phase de formage et la position relative de consigne, la (ou les) position(s) de consigne ou la (ou les) distance(s) de consigne étant ajustée(s) en conséquence.

7. Machine de laminage (1) pour la mise en oeuvre d'un procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, avec

a) au moins deux rouleaux (2, 3) aptes à être mis en rotation ou étant en rotation autour d'un axe de rotation respectif (A, B), notamment aptes à être pourvus ou étant pourvus d'outils (20, 21 , 30, 31),
b) au moins un entraînement en rotation (42, 43) pour mettre les rouleaux en rotation autour de leurs axes de rotation pendant au moins une phase de formage pour former une pièce apte à être disposée ou étant disposée entre les rouleaux,
c) au moins un servomoteur (22, 23, 32, 33) pour ajuster la (ou les) position(s) de l'axe (ou des axes) de rotation d'un des rouleaux ou des deux rouleaux,
d) un dispositif de contrôle (55) en liaison active avec chaque servomoteur pour commander, réguler ou corriger la position relative des axes de rotation des rouleaux à l'aide du (ou des) servomoteur(s) pour atteindre à position relative de consigne,
e) un dispositif pour déterminer la position relative des axes de rotation, l'un par rapport à l'autre, des rouleaux, notamment pendant la phase de formage,
f) le dispositif de contrôle étant en liaison active avec le dispositif pour déterminer la position relative des axes de rotation et

f1) comparant la position relative des axes de rotation déterminée par ledit dispositif avec la position relative de consigne,
f2) vérifiant s'il y a un écart entre la position relative déterminée des axes de rotation et la position relative de consigne qui serait en dehors de la plage de tolérance,
f3) et si un tel écart entre la position relative déterminée et la position relative de consigne en dehors de la plage de tolérance est constaté, modifiant la position relative des axes de rotation des rouleaux, notamment à l'aide dudit au moins un servomoteur, de façon telle que l'écart soit à nouveau à l'intérieur de la plage de tolérance,

g) le dispositif pour déterminer la position relative des axes de rotation, l'un par rapport à l'autre, des rouleaux comprenant quatre capteurs de distance (51, 52, 53, 54) pour mesurer les distances (w1, w2, w3, w4) des axes de rotation des rouleaux respectivement par rapport à l'axe médian comme mesure pour la (ou les) position(s) ou pour la distance des axes de rotation des rouleaux.

8. Machine de laminage (1) selon la revendication 7, avec un dispositif de positionnement (60) avec deux éléments de positionnement (61, 62), mobiles l'un par rapport à l'autre, pour positionner la pièce dans la zone d'un axe médian (M) entre les deux rouleaux.

9. Machine de laminage (1) selon la revendication 7 ou la revendication 8, dans laquelle à chaque rouleau (2, 3) est associé au moins un servomoteur correspondant (22, 23, 32, 33) pour un ajustage indépendant des positions des axes de rotation (A, B) des rouleaux, les servomoteurs étant disposés de préférence à des côtés opposés, l'un par rapport à l'autre, des rouleaux ou
dans laquelle est associé aux rouleaux un servomoteur commun qui est apte à être accouplé ou qui est accouplé à chacun des rouleaux via une transmission respective, la transmission étant conformée de préférence de manière telle que les axes de rotation des deux rouleaux soient déplaçables, lors d'un entraînement par le servomoteur commun, simultanément, de préférence aussi avec la même vitesse, en direction d'une position de référence située entre les rouleaux, de préférence l'axe médian, ou en s'éloignant de celle-ci,
et/ou
dans laquelle au moins un servomoteur comprend au moins un moteur électrique de servomoteur et un dispositif de transmission d'effort apte à être accouplé ou étant accouplé au moteur de servomoteur, d'une part, et au rouleau correspondant, d'autre part, qui comporte notamment au moins un axe d'entraînement et/ou un engrenage à vis sans fin, pour transmettre l'effort d'entraînement ou le couple d'entraînement du moteur de servomoteur pour le déplacement des rouleaux.

10. Machine de laminage (1) selon l'une quelconque des revendications 7 à 9, qui comprend

a) pour chaque rouleau (2, 3) deux dispositifs de montage (12A, 12B, 13A, 13B) disposés respectivement sur des côtés frontaux du rouleau et étant aptes à être attachés ou étant attachés, de préférence de manière amovible, au rouleau et étant apte à tourner ou tournant avec celui-ci, et
b) pour chaque dispositif de montage un dispositif de palier respectif (16, 17, 18, 19) dans lequel le dispositif de montage est monté tournant,
c) les dispositifs de palier avec les dispositifs de montage d'au moins un rouleau montés dans les premiers étant aptes à être accouplés ou étant accouplés à un servomoteur (ou aux servomoteurs) (22, 23, 32, 33) associé(s) à ce rouleau et étant aptes à être mûs ou étant mûs à l'aide du (ou des) servomoteur(s) pour une modification de la position de l'axe de rotation du rouleau correspondant, de préférence, chaque dispositif de palier étant relié à un servomoteur respectif, et/ou
d) qui comprend un dispositif de support qui n'est pas apte à être en rotation ou qui n'est pas en rotation ensemble avec les rouleaux, sur lequel ou par lequel le (ou les) servomoteur(s) est (ou sont) porté(s),
e) le dispositif de support comprenant de préférence des zones de guidage pour guider les rouleaux ou les dispositifs de palier lors de leurs mouvements, le dispositif de support comprenant de préférence quatre éléments de support (6A, 6B, 6C, 6D) ayant notamment la forme de colonnes, un des dispositifs de palier d'un premier des deux rouleaux et un des dispositifs de palier du second des deux rouleaux étant disposés et guidés, de préférence de manière mobile, entre deux des quatre éléments de support et l'autre des dispositifs de palier du premier rouleau et l'autre dispositif de palier du second rouleau étant disposés et guidés, de préférence de manière mobile, entre les deux autres des quatre éléments de support, les éléments de support étant précontraints notamment à l'aide de tirants d'ancrage (7A, 7B, 7C, 7D) et d'écrous de préférence hydrauliques.

11. Machine de laminage (1) selon une ou plusieurs des revendications 7 à 10, dans laquelle, en position relative de consigne, les axes de rotation (A, B) des rouleaux (2, 3) sont orientés sensiblement parallèlement l'un à l'autre et/ou sont disposés, vu dans la direction de la gravité, sensiblement l'un au-dessus de l'autre et/ou sont disposés perpendiculairement à la direction de la gravité.

12. Machine de laminage (1) selon la revendication 7, dans laquelle le dispositif pour déterminer la position relative, de l'un par rapport à l'autre, des axes de rotation (A, B) des rouleaux (2, 3) comprend au moins un capteur sans contact et/ou un capteur d'ultrasons et/ou un capteur optique et/ou un capteur inductif et/ou un capteur magnétique.

13. Machine de laminage (1) selon une ou plusieurs des revendications 7 à 12, qui est conformée comme machine de laminage transversale à profil ou à coin et/ou dans laquelle les outils (20, 21, 30 31) sur les rouleaux présentent, en section transversale, des profils ou formes en forme de coin ou de triangle et dont les dimensions radiales le long de leur pourtour augmentent dans une direction et/ou qui s'étendent en oblique par rapport à l'axe de rotation du rouleau correspondant.

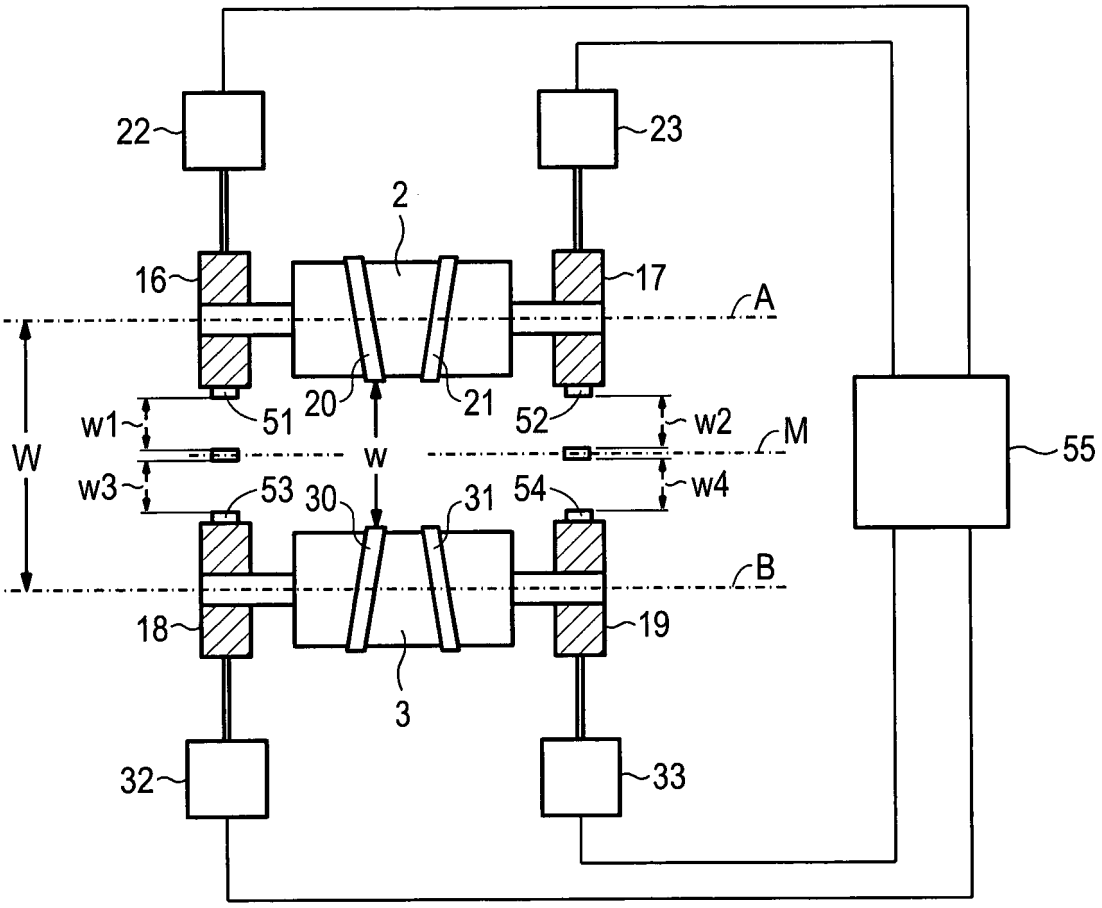


FIG 1

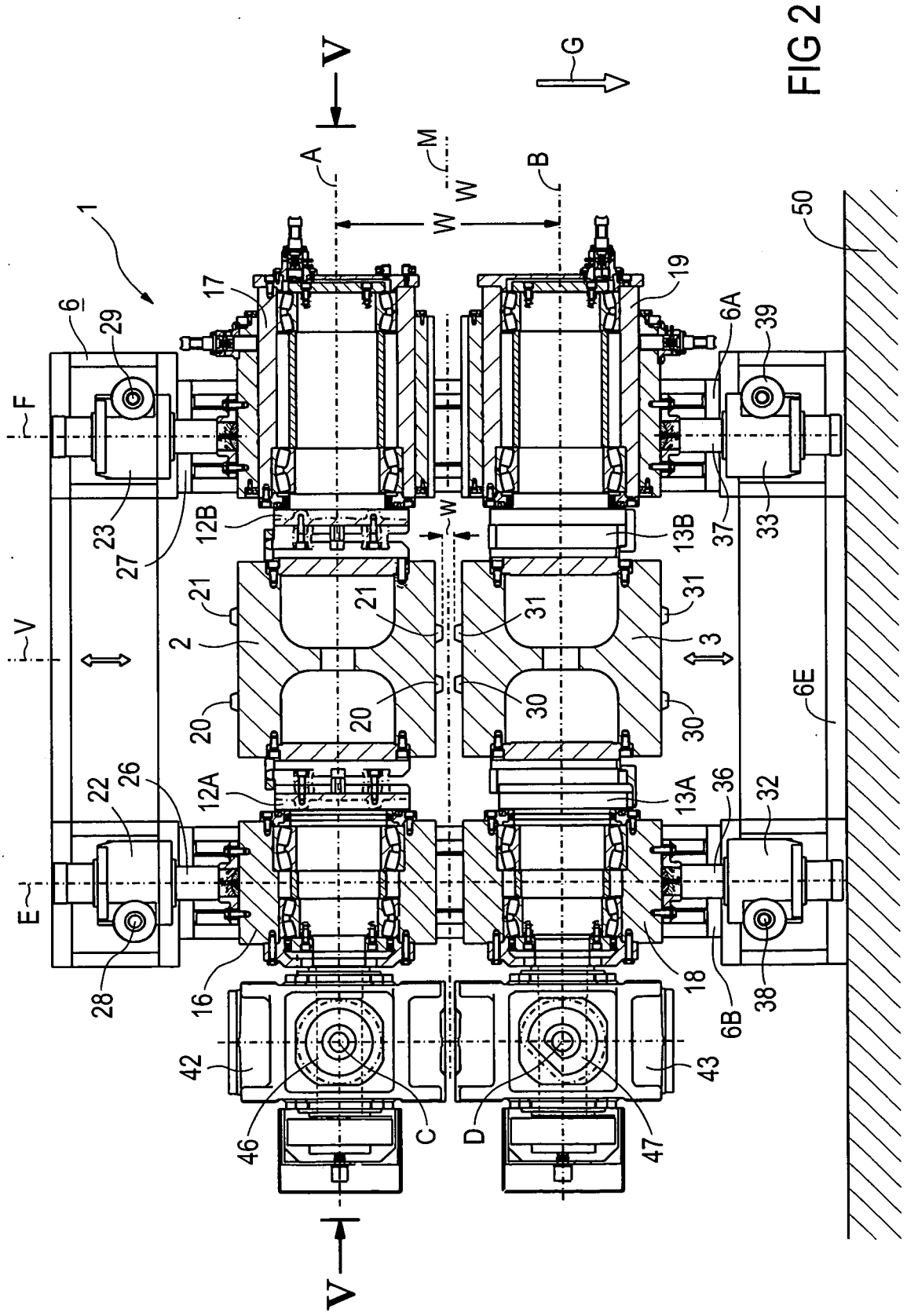

V
G
A
M
W
W
B
1
50
6
29
17
19
6A
39
F
23
27
12B
W
13B
37
33
21
21
31
31
2
3
V
20
20
30
30
6E
22
26
12A
13A
36
32
E
28
16
18
6B
38
42
43
46
C
D
47
V

FIG 2

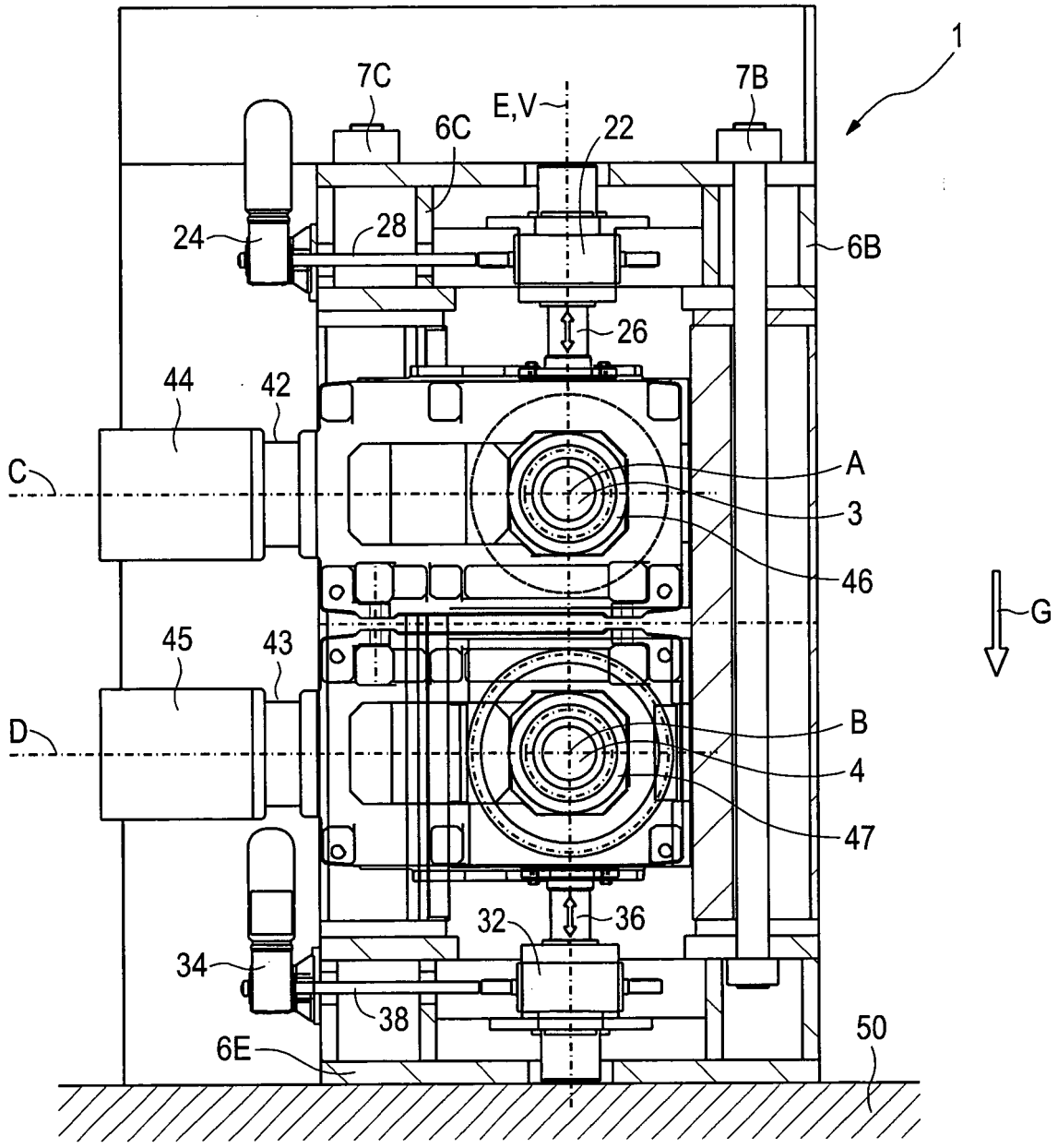

1
7C
7B
E,V
6C
22
24
28
6B
26
44
42
C
A
3
46
G
45
43
D
B
4
47
32
36
34
38
50
6E

FIG 3

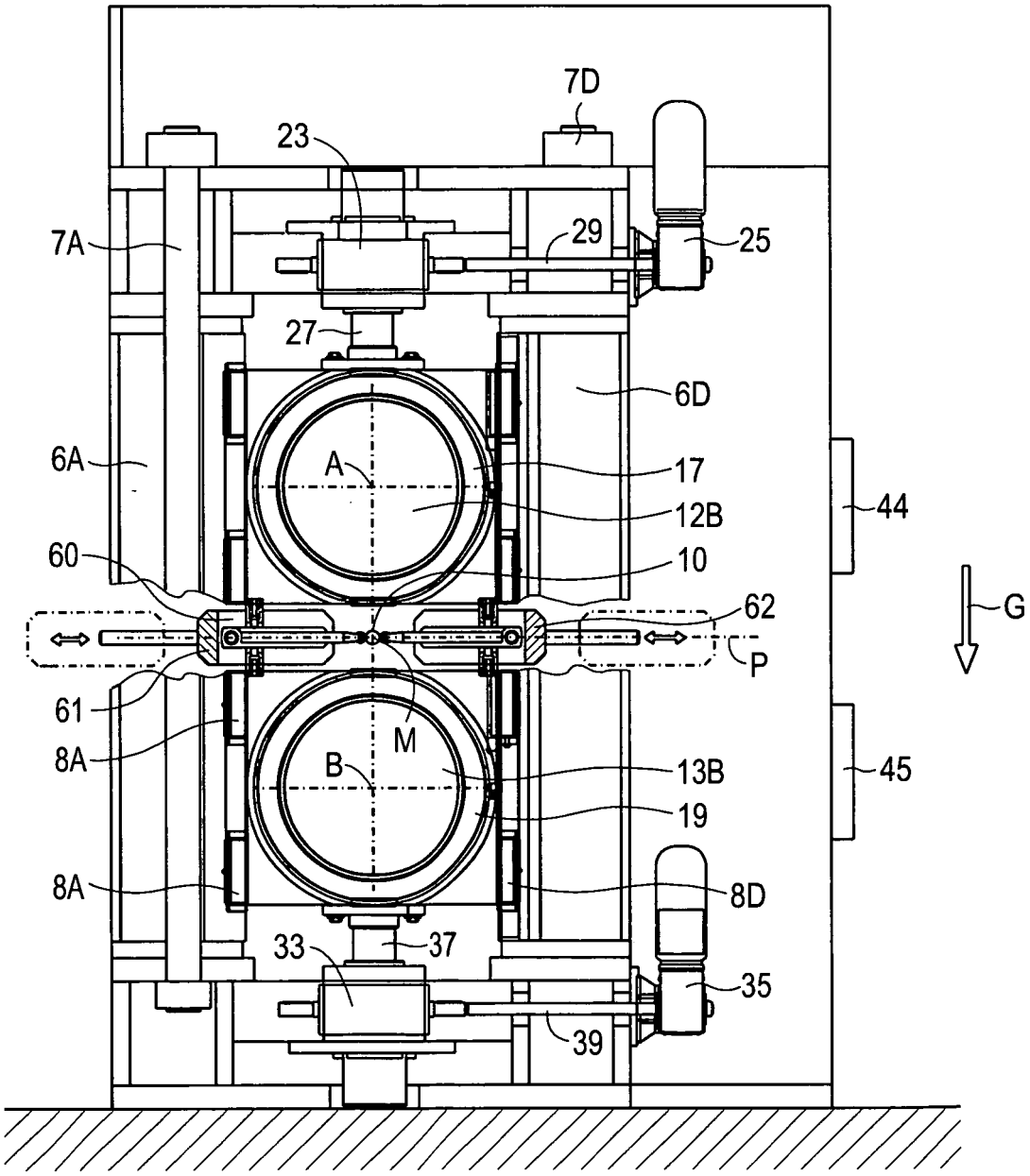

7D
23
7A
29
25
27
6D
6A
A
17
12B
44
60
10
62
G
P
61
M
8A
B
13B
45
19
8A
8D
33
37
35
39

FIG 4

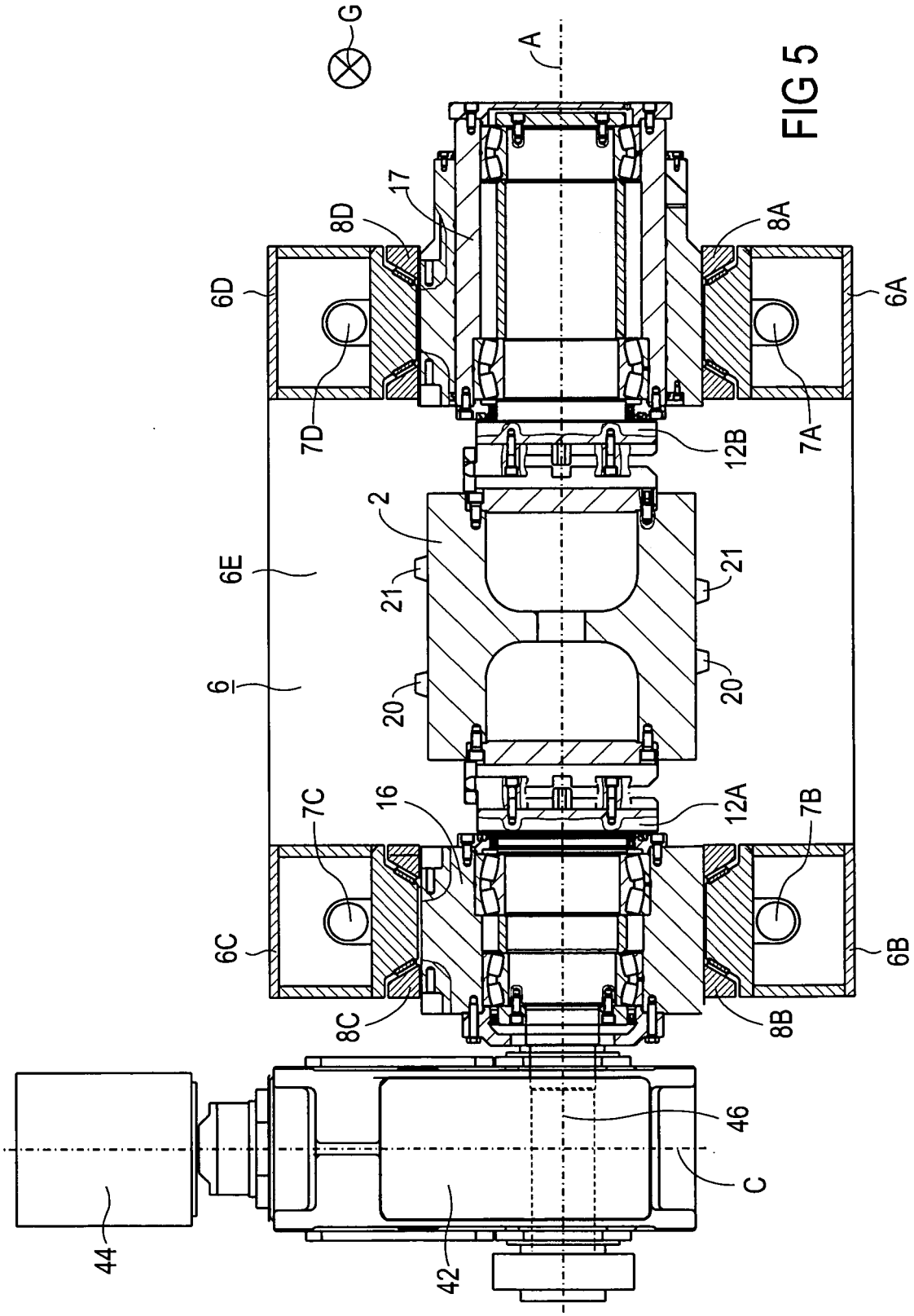

G
A
17
8D
8A
6D
6A
7D
7A
12B
2
6E
21
21
6
20
20
7C
16
12A
7B
6C
6B
8C
8B
46
C
44
42

FIG 5

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

- DE 1477088 C **[0008]**
- EP 1256399 A1 **[0009]**
- RU 2106223 C1 **[0010]**
- DE 10019175 A1 **[0011]**